

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議
ILC計画の見直しを受けたこれまでの議論のまとめ

平成30年7月4日

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議

目次

1. 検討経緯と本まとめの位置付け	1
2. これまでの検討結果の概要	4
(1) 科学的意義	4
(2) コスト及び技術的成立性の検証	5
(3) 人材の確保・育成方策の検証	6
(4) 体制及びマネジメントの在り方の検証	7
(5) 国際協力	8
(6) 国内外における大型加速器施設の事例	10
3. ILC 計画の見直しを受けたこれまでの議論のまとめ	12

これまでの検討結果 (詳細版)	17
(1) 科学的意義	17
(2) コスト及び技術的成立性の検証	35
(3) 人材の確保・育成方策の検証	53
(4) 体制及びマネジメントの在り方の検証	63

参考資料

○ 国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議委員名簿	89
○ 素粒子原子核物理作業部会名簿	90
○ 技術設計報告書 (TDR) 検証作業部会名簿	91
○ 人材の確保・育成方策の検証作業部会名簿	92
○ 体制及びマネジメントの在り方検証作業部会名簿	93
○ 国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議について	94
○ 検討経緯	95
○ ICFA Statement on the ILC Operating at 250 GeV as a Higgs Boson Factory (付日本語訳)	101
○ Conclusions on the 250 GeV ILC as a Higgs Factory proposed by the Japanese HEP community (付日本語訳)	103
○ 素粒子原子核物理作業部会へのリニアコライダー国際推進委員会 (LCB) からの 回答	105

- 欧州 XFEL（欧州 X 線自由電子レーザー）、FAIR（反陽子・イオン研究施設）概要・106
- ILC に関する国際的な研究者組織・・・・・・・・・・・・・・・・・・108

別添資料

- 自然法則の統一的理解のための課題と研究動向・・・・・・・・・・111
- 国際リニアコライダー（ILC）計画に関する経済的波及効果の再計算結果報告書・119
- 「国際リニアコライダー（ILC）計画に関する経済的波及効果の再計算結果」報告書
に関する有識者会議としての留意点・・・・・・・・・・・・・・・・・・138

1. 検討経緯と本まとめの位置付け

(1) 背景

- 国際リニアコライダー（International Linear Collider、以下「ILC」という）計画は、当初、全長約 30km の線形加速器により、500GeV の高エネルギーで電子と陽電子の衝突実験を行う計画で、質量の起源とされる「ヒッグス粒子」の性質の詳細な解明や、標準理論を超える新たな粒子の発見により、素粒子物理学が新たな段階に進展することで宇宙創成の謎の解明につながると期待されていた。
- ILC 計画については、素粒子物理学分野の国際コミュニティにより、グローバル・プロジェクトとして設計活動が進められ、2013 年 6 月に技術設計報告書(Technical Design Report、以下「TDR」という)が発表された。ILC に関する国際コミュニティにおいては、ILC を日本に建設することを提案しているほか、国内においても、ILC の建設により国際的な学術研究都市を生み出すことを期待し、ILC の我が国への誘致を推進する動きがある。
- このような背景を踏まえ、文部科学省において、ILC 計画に関する検討を行うこととなった。

(2) 日本学術会議の所見（平成 25 年 9 月）を受けた文部科学省における検討経緯

- 平成 25 年 5 月、文部科学省から ILC 計画の学術的意義や課題等について日本学術会議に審議を依頼した。当該依頼への回答として日本学術会議がまとめた「国際リニアコライダー計画に関する所見」（平成 25 年 9 月）では、「素粒子物理学としての学術的意義は認められる。その一方で、(中略) LHC*との関係も含め、本計画に必要な巨額の投資に見合う、より明確で説得力のある説明がなされることが望まれる」とした上で、「本格実施を現時点において認めることは時期尚早」であり、「ILC 計画の実施の可否判断に向けた諸課題の検討を行うために必要な調査等の経費を政府においても措置し、2~3 年をかけて当該分野以外の有識者及び関係政府機関を含めて集中的な調査・検討を進めること」と提言された。

※大型ハドロン衝突型加速器 (Large Hadron Collider、以下「LHC」という)

- 文部科学省ではこの提言を受け、平成 26 年 5 月に省内に国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議（以下「有識者会議」という）を設置し、ILC に関する諸課題の検討を行うことを決定した。
- 平成 26 年 5 月に開催した第 1 回有識者会議において、二つの作業部会（素粒子原子核物理作業部会、技術設計報告書 (TDR) 検証作業部会) の設置を決定し、巨額の投資に見合う科学的な意義に関する検討及び TDR についてのコスト面や技術面の課題等の検討を実施し

た。平成 27 年 3 月まで、素粒子原子核物理作業部会については 8 回、技術設計報告書 (TDR) 検証作業部会については 6 回開催し、作業部会としての報告を取りまとめた。

- このほか、文部科学省は、平成 26 年度の委託調査事業として、「国際リニアコライダー (ILC) 計画に関する技術的・経済的波及効果及び世界各国における素粒子・原子核物理学分野における技術面を含む研究動向に関する調査分析」を実施した。
- 平成 27 年 4 月に開催した第 3 回有識者会議において、二つの作業部会から報告が行われるとともに、ILC 計画に関する技術的・経済的波及効果等に関する委託調査事業の結果について報告され、第 4 回有識者会議において、「これまでの議論のまとめ」(平成 27 年 6 月 25 日)(以下「前回まとめ」という)を取りまとめた。

(3) 「前回まとめ」以降の検討経過

- 前述の第 4 回有識者会議においては、「前回まとめ」で指摘された今後の課題や日本学術会議の所見を踏まえ、人材の確保・育成方策検証作業部会の設置を決定した。同作業部会では、ILC 計画における人材に係る課題について 6 回にわたり議論し、第 5 回有識者会議において「人材の確保・育成方策の検証に関する報告書」(平成 28 年 7 月 7 日)を取りまとめた。
- さらに、平成 29 年 2 月に開催された第 6 回有識者会議においては、体制及びマネジメントの在り方検証作業部会の設置を決定した。同作業部会では、国際研究機関の体制及びマネジメントや周辺環境整備の検証、仮に国際研究機関を日本に設置する場合の国内体制の在り方について 6 回にわたり議論し、第 6 回有識者会議において「体制及びマネジメントの在り方の検証に関する報告書」(平成 29 年 7 月 28 日)を取りまとめた。
- その後、ILC に関する国際的な研究者組織の一つであるリニアコライダー・コラボレーション (LCC) でまとめられた ILC 計画の見直し案が、リニアコライダー国際推進委員会 (LCB) における審議¹を経て、国際将来加速器委員会 (ICFA) において承認²され、平成 29 年 11 月に公表された。この見直しにおいては、2017 年までの欧州合同原子核研究機関 (CERN) における衝突エネルギー 13TeV の LHC 実験結果を踏まえた上で建設に必要なコストを引き下げることとも考慮して、ILC の衝突エネルギーを 500GeV から 250GeV とする提案(以下「250GeV ILC」という)に変更された。

¹ 「Conclusions on the 250 GeV ILC as a Higgs Factory proposed by the Japanese HEP community」(Linear Collider Board, 8 November 2017, Rev 1)

² 「ICFA Statement on the ILC Operating at 250 GeV as a Higgs Boson Factory」(Ottawa, November 2017)

○ この ILC 計画の見直しを受け、平成 29 年 12 月の第 8 回有識者会議において、250GeV ILC の科学的意義について再検証するため素粒子原子核物理作業部会、コストの算出方法や技術的成立性などについて再検証するため技術設計報告書（TDR）検証作業部会の再設置を決定した。両作業部会では、最新の知見を踏まえて再度検証が必要となった部分について各 5 回にわたり議論し、平成 30 年 5 月の第 9 回有識者会議において作業部会からの報告が行われた。

○ このほか、文部科学省は、有識者会議及び作業部会における検証に資するよう、以下の委託調査を実施した。

- ・「ILC 計画に関する技術的実現可能性及び加速器製作における技術的課題に関する調査分析」（平成 28 年 2 月）
- ・「大型国際共同プロジェクト等の国際協力事例に関する調査分析」（平成 29 年 3 月）
- ・「ILC 計画に関する規制・リスク等に関する調査分析」（平成 30 年 2 月）
- ・「国際大型加速器計画のコスト削減に関する調査分析」（平成 30 年 2 月）

（４）本まとめの位置付け

○ 上記の経緯を踏まえ、「前回まとめ」以降、特に LHC の実験結果や ILC 計画の見直しを受け、科学的意義について再検証するための素粒子原子核物理作業部会やコストの算出方法や技術的成立性などについて再検証するための技術設計報告書（TDR）検証作業部会における検証結果等の報告がなされた。これを受けて、有識者会議として、ILC 計画の全体像を可能な限り明確に示すため、ここに「ILC 計画の見直しを受けたこれまでの議論のまとめ」（以下「本まとめ」という）として取りまとめるものである。

2. これまでの検討結果の概要

有識者会議やその下に設置した作業部会を通じて検証を行った科学的意義、コスト及び技術的成立性、人材の確保・育成方策、体制及びマネジメント、国際協力について、「前回まとめ」を踏まえつつ、現時点における ILC 計画の全体像として、これまでの検討結果を取りまとめた。その概要は以下の通り。

(1) 科学的意義

- 2017 年末までの LHC の実験結果としては、ヒッグス粒子の発見以降様々な成果はあるものの、標準理論を超える新粒子（強い相互作用をする超対称性粒子の可能性のある粒子）や新現象（暗黒物質や余剰次元）の兆候は捉えられていない。さらに、LHC において 13TeV による II 期計画が続く 2018 年末までに新粒子や新現象が観測される可能性は低いことが判明している。
- その結果を踏まえて、国際的な研究者組織が、ヒッグス粒子の精密測定的重要性から、ILC は当初計画の 500GeV から衝突エネルギーを下げて 250GeV でヒッグスファクトリーとして運転を行うように見直したことを受けて、有識者会議では 250GeV ILC の科学的意義について検証した。
- 250GeV ILC による実験が最も優位性を有するのは、ヒッグス粒子と他の素粒子の結合定数の精密測定であり、これにより標準理論からのズレに素粒子ごとのパターンが見い出されれば、今後の素粒子物理学が進む方向性に示唆を与える可能性がある。例えば、暗黒物質の正体やヒッグス粒子が真の素粒子かどうかなど、現在の標準理論では説明が困難な課題に対し、解明の端緒を与える可能性がある。
- 衝突エネルギー 250GeV ではヒッグス粒子の生成断面積が最大化されることに加え、LHC で新粒子の兆候が観測されず、250GeV ILC のヒッグス粒子の精密測定に有効場理論が利用できることが明らかになったことから、ヒッグス粒子の精密測定の実現可能性がより明確になった。
- 一方、500GeV から 250GeV へと衝突エネルギーを下げたことにより、トップクォークの精密測定については、衝突エネルギー 350GeV が必要であることから、250GeV ILC では実験ができなくなった。

- また、新粒子の探索については、2017 年末までの LHC の実験結果で新粒子が発見されなかったことから、LHC では探索が困難なため ILC で直接測定することが期待されていた新粒子（強い相互作用をしない超対称性粒子）が ILC で発見される可能性は低くなった。
- なお、大きな質量欠損を伴う現象の観測等の間接的な方法※による暗黒物質や余剰次元等の探索については、250GeV ILC においてもその意義は余り下がらない。
 ※ヒッグス粒子のインビジブル崩壊や一光子現象、標準理論粒子の対生成における輻射補正等の測定

(2) コスト及び技術的成立性の検証

- ILC 計画のコストについては、有識者会議で聴取した見直し後（250GeV ILC）の本体建設費と測定器関係経費は 7,355～8,033 億円（本体建設費 6,350～7,028 億円、測定器関係経費 1,005 億円）※と算定された。これに加えてコストの見積りの精度に関する不定性相当経費（約 25%）による追加的な経費が発生する可能性がある。
 ※見直し前（500GeV ILC）の本体建設費と測定器関係経費は 1 兆 912 億円（本体建設費 9,907 億円、測定器関係経費 1,005 億円）
- また、年間運転経費は 366～392 億円※と算定され、その他付随経費として、準備経費 233 億円が新たに算定されたが、具体的に算定されておらず新たに計上が必要となる経費（具体的な立地に関わる経費等）が存在している。
 ※見直し前（500GeV ILC）の年間運転経費は 491 億円
- さらに、コンティンジェンシー（予期せぬ出費のための予備費：プロジェクト経費（本体及び測定器建設経費＋運転経費）の約 10%）及び実験終了後の解体経費（年間運転経費の 2 年分程度）が新たに項目として明示された。
- 上記のコストの見積りは、研究者コミュニティにより見込まれている経費を取りまとめたものであり、コスト面でのリスクへの対応として、250GeV ILC への見直し、さらには超伝導加速空洞など研究開発等によりコスト削減が見込まれるなど「前回まとめ」から一定の進捗がみられる一方、技術リスク、工事期間延長リスク、市場リスクなど有識者会議が指摘する「コストのリスク要因や技術上の課題」等に伴う追加的な経費が発生するリスクへの十分な留意が必要である。
- 技術的な課題については、「前回まとめ」において性能実証が不十分と指摘されたビームダンプや陽電子源、電子源、ビーム制御、ダンピングリングの入出射システム等については

いまだ課題が多く、特にビームダンプについては、ビーム窓の耐久性や交換作業技術、耐震性能等を含め、準備期間においてダンプシステムとして技術を完成させる必要がある。

- さらに、今回の検証では、土木・建築、放射線防護、地震対策、湧水対策、環境影響の観点から法的な規制や想定されるリスクについて指摘しており、これらの指摘に対しても十分な対応を行う必要がある。

(3) 人材の確保・育成方策の検証

- 技術設計報告書（TDR）における ILC 加速器建設にかかる人材構想について、250GeV ILC への計画の見直し後、建設期間 9 年間に必要となる人材数は、建設関係約 830 人、据付関係約 380 人（3～9 年次の 7 年間の平均）※とされている。

※見直し前（500GeV ILC）は、建設関係約 1,100 人、据付関係約 480 人

- このような大規模な国際協力プロジェクトを実施するにあたっては、相当量の人材を国内外から結集させる必要があるが、現状の国内の人員では明らかに質・量とも不足しており、海外から組織的に研究者が参加するシステムの整備が不可欠となる。その際、CERN が LHC 建設の際に導入したプロジェクト・アソシエイトという仕組み※も参考にすべきである。

※外部機関からの参加者は契約終了後に所属機関へ戻り、CERN では雇用等に責任はない。高いブランド力をもつ CERN での経験は、他の国際機関やプロジェクト等に参加が求められるなどニーズが高い。

- また、大規模プロジェクトのマネジメントができる人材の育成・確保が必要となるとともに、加速器を中心とするシステム全体を俯瞰して見られる専門家を着実に育成・確保すること等が望ましい。

- このため、国内外の既存施設の改修や機器のアップグレード等の機会をとらえ、積極的に若手人材を投入するとともに、若手にマネジメントについても経験させ、リーダーとしてプロジェクトを牽引する人材の育成が重要である。

- 国際協力における相互の分担について、海外パートナーと綿密に調整を図ることが前提であり、加えて海外研究機関における給与や勤務条件等の調整のみならず、住環境、家族への生活支援等を含めて、地元地域の協力を得つつ総合的に環境を整備していくことが重要であり、そのための検討が必要である。

(4) 体制及びマネジメントの在り方の検証

- 研究者コミュニティの想定では、各国政府了解の下、研究機関間の合意に基づき多国籍のプレ研究所を設立し、最終的な工学設計や参加国間の役割分担等に係る検討を 4 年間実施し、その後、条約に基づく国際研究機関である ILC 研究所に移行し、9 年程度の建設期間を経て、国際共同実験グループによる実験を開始する、とされている。
- プレ研究所の本部は高エネルギー加速器研究機構 (KEK) に置くことが想定されているが、KEK からリソースをプレ研究所へ移行する時期と範囲については、国内外の研究者等も含めた議論を行う必要がある。その際、現在の KEK における研究計画の完遂を阻害しないことが重要である。
- ILC 研究所については、複数国による協力が不可欠な設備整備や長期にわたる国家レベルでの関与が必要であり、条約による国家間の合意に基づき設立・運営することは妥当である。その際、世界的に認められた高いマネジメント能力を有する研究者をトップとして執行部に配置することが重要である。
- ILC の建設では、現物拠出による設備分担が想定されているが、各国・地域の状況に応じた多様な工程管理が必要となり、スケジュールの遅延やコストの増加を招く可能性があるため、仕様変更等に係るルールや権限の範囲等をあらかじめ明確に設定するとともに、様々な不確実性に対応するための資金を適切に確保することが重要である。
- ILC 立地地域の ILC 関連人口については、現在、情報通信ネットワークが発達し、各国でもデータ解析ができることから、ILC 研究所の建設終了後に減少していく可能性がある。なお、CERN の関連人口は増加しているが、ジュネーブという国際都市に建設されたこととの相乗効果があることを考慮する必要がある。
- ILC 研究所の周辺環境整備については、多岐にわたる生活環境要件及び社会基盤要件が想定されているが、公共施設や公共サービス等が必要となるものもあるため、ILC サイトの立地自治体等による支援が不可欠である。
- 我が国の大学による ILC 国際共同実験への参画については、国内コンソーシアムを構築し、検出器製作やデータ解析の拠点を設置することは、我が国の大学の存在感を高め、大学の国際化の推進に有効である。

- KEK の財政規模を維持したまま、別途 ILC 研究所を新設・運営することは困難であり、我が国の高エネルギー物理学研究者コミュニティにおいても、選択と集中を考慮した将来計画の合意形成が必要である。
- 産業界の ILC への参画については、ILC の超伝導加速器技術の産業への波及効果は、現状では不透明な部分もあり、企業と研究所が協働し産業界へスピニングアウトを図る必要がある。また、ILC を研究者だけでマネジメントすることは不可能であり、産業界からも人材を広く求め、研究所と企業が連携したマネジメント体制を築くべきである。

(5) 国際協力

- ILC は巨額の経費を要する大規模な学術の国際共同研究計画であり、一国のみで実現することはできず、国際的な協力により実施することが必要不可欠である。国際協力においては参加国による費用分担を前提とすべきであることから、各参加国が ILC 計画に対して応分の負担をする意思があるのかを見極めることが重要である。
- 「前回まとめ」においては、「欧米の素粒子物理学分野の戦略においても、日本が ILC 計画を進めることに対する期待が記載されているが、世界各国における素粒子・原子核物理学分野の将来構想等の調査・分析の結果、各国の現行の計画や予算は ILC については明確な位置づけはまだほとんどなされていないため、ILC を巡る国際動向を踏まえて検討を進めることが必要である。」とされていた。
- 国際的な研究者組織においては、平成 29 年 11 月に ILC 計画の見直しを公表した際に、250GeV ILC を日本に建設することを推奨するとともに、経費分担についても、最近の同様の国際プロジェクトの例（欧州 XFEL と FAIR を例示）では、ホスト国が主要な費用負担[※]を行っており、自ずと、土木建設やその他のインフラの建設コストはホスト国が責任を持ち、加速器建設については適切な費用分担がなされることが期待される旨を表明している（原文は P103 参照）。
 - ※欧州 XFEL のホスト国負担は 58%、FAIR のホスト国負担は 69%（両プロジェクトの詳細は、(6) 国内外における大型加速器施設の事例参照）
- 両プロジェクトを例示した LGB に対してその意図を確認したところ、ILC 推進議論を進めるために関連するとされた部分は、①ホスト国の負担する割合が高く、②まず施設を相当額の拠出をしてホストしたい意思があると宣言し、国際協力の立ち上げとプロジェクト推進のイニシアティブを取ったとのことであり、現状において ILC 建設を立ち上げるには、ホスト誘致国が国際協力の話し合いを立ち上げるイニシアティブを取る必要があり、その際に

ホスト国として相応なレベルの貢献を考えているとの示唆があることが望ましい、との判断に基づくものであるとの回答があった（原文はP105 参照）。

- 上記のように、国際的な研究者組織からは、計画見直し前と比べてホスト国の負担割合が高くなりそれ以外の国の負担割合が低くなることを前提として、我が国が ILC 計画をホストする意思があると宣言し、国際協力のイニシアティブをとることが期待されているが、我が国が参加している科学技術及び学術の大型国際プロジェクトの前例*と比べてもホスト国の負担割合が高くなっており、我が国の厳しい財政状況の下では、現実的かつ持続可能な国際経費分担である必要がある。

※「体制及びマネジメントの在り方検証作業部会」でヒアリングを行った事例における国際経費分担

ITER（国際熱核融合実験炉計画）：ホスト極である欧州が45.46%、その他の6参加極が9.09%

CERN：加盟国の直近3年間における平均純国民所得（NNI）に基づく経費分担

ALMA（アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計計画）：日本、米国、欧州の三者が対等な経費分担を前提に調整を図り、結果として日本が25%、米国と欧州が37.5%

- ILCに関する国際的な研究者組織の支持の下、ILCは本格的な学術の国際共同プロジェクトとして検討されてきたものであり、ホスト国以外の参加国からの十分な貢献を確保するとともに、ホスト国に権限と負担が過度に集中しないようにするため、ホスト国とその他の参加国とのバランスに留意が必要である。
- 他方、行政機関間においては、平成28年5月より文部科学省と米国エネルギー省（DOE）との間でILCに関する意見交換を実施しており、大幅なコスト削減を目指すことが重要との共通認識から、KEKとフェルミ国立加速器研究所（FNAL）の間で日米共同研究を開始している。
- また、欧州との間においても、文部科学省は、平成30年3月に仏国高等教育・研究・イノベーション省（MESRI）、同年5月に独国連邦教育研究省（BMBF）との間でILCに関する意見交換を実施した。その際、両国に共通して以下の趣旨の指摘があった。
 - ・ 欧州における次期素粒子物理戦略（2020年5月開始予定）にILC計画が掲載されることは影響力はあるものの、科学的な視点からの文書であるため、それにより仏独政府からILC計画への予算拠出が決定されるわけではない。
 - ・ 仏独とも、大規模プロジェクトの予算決定プロセスには日本と同様の仕組みがあり、国内の科学コミュニティ全体による評価に基づき、行政レベルでの優先順位付けを経て意思決定が行われる。ILC計画への仏独政府からの拠出の可否についても、このプロセスにおいて十分な時間をかけて審議する必要がある。

- 最終的には各国政府間の交渉で国際経費分担が決定されることになるが、各国政府レベルの計画や予算において、ILCについての明確な位置付けは現状ではほとんどなされていない。各国政府による具体的な参画及び経費分担についての明確な見通しを得ることが重要であり、その際、各国内において、サイエンスカウンシル等によるプロジェクトの承認を経た上で自国政府の資金確保に向けた主体的な議論の進展がなければ、各国政府間の合意を得られないことに留意する必要がある。
- ILC 計画実施について、時宜を得た判断が行われない場合には、ILC の国際的な求心力が失われる可能性があることに留意が必要である。

(6) 国内外における大型加速器施設の事例

- 国内において過去に整備された加速器施設において、最も経費を要した大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の建設費は約 1,500 億円*であった。その他の事例では、大型放射光施設 (SPring-8) が約 1,100 億円*、電子・陽電子衝突型加速器 (KEKB) が約 378 億円**であった。これらに対して ILC の建設経費は巨額であり、より精緻なコスト見積りと、投資に見合う科学的意義の確認が必要である。

* J-PARC、SPring-8 : 建設時のビームラインを含む、人件費は含まれていない

**KEKB : 既存のトンネルを活用、人件費は含まれていない

- 海外における大型加速器施設として、現時点で世界最大の加速器は CERN の LHC であり、LHC 建設のために追加で必要となった費用は約 5,000 億円*であった。
*既存のトンネルを活用、人件費は含まれていない

- また、(5) 国際協力、において、LGB より最近の同様の国際プロジェクトの例とされたドイツにある欧州 XFEL と FAIR の概要は以下のとおり。

① 欧州 X 線自由電子レーザー (E-XFEL)

- ・建設費は 12 億 2,000 万ユーロ (約 1,670 億円)。負担割合はドイツ 58%、ロシア 27%、その他各 1~3% (10 カ国)
- ・2003 年、ドイツ政府は、ドイツ電子シンクロトン研究所 (DESY) から提案のあった XFEL について、建設費の半分を負担する用意があることを表明し、政府レベルでの国際交渉が開始された。
- ・当初、建設費は欧州各国からの貢献表明は各国 1~3% に留まっていたが、ロシアが 2 億 5,000 万ユーロ (342 億円) の貢献を表明。2009 年に国際プロジェクトとして条約が調印され建設が開始された。

- ・その後、加速器建設等によるコスト増加が明らかになったが、当初計画したものを建設した。完成が1年遅れた影響もあって建設コストは条約調印時から約13%増加した。
- ・同計画に携わった研究者の述懐として、以下の点が指摘されている。
 - ▶ 加速器建設のみならず土木建設の費用についても国際分担が行われたが、土木建設はドイツが全責任を持つ体制の方が手続きの煩雑性を回避できたはずである。

② 反陽子・イオン研究施設 (FAIR)

- ・建設費は12億6,200万ユーロ（約1,730億円）。負担割合はドイツ69%、ロシア17%、その他各0.5~3.5%（7カ国）
- ・2003年、ドイツ政府は、FAIRについて建設費の4分の1は外国負担とすることを成立条件と決定し、以降、政府レベルでの国際交渉が開始された。
- ・当初、欧州各国からの貢献表明は各国0.5~3.5%に留まっていたが、ロシアが1億8,000万ユーロ（246億円）の貢献を表明。2010年に国際プロジェクトとして条約が調印され建設が開始された。
- ・その後、建設地の軟弱地盤への対応や東日本大震災を踏まえた放射線安全基準対策等によるコスト増加が明らかになり、2014年にドイツ政府は建設を中断するとともに外部評価により計画を見直し、2017年に再度起工式を実施して2025年の完成を目指しているが、協定調印時から完成は8年遅れ、コストは約23%増加している。
- ・上記外部評価に携わった研究者の述懐として、以下の点が指摘されている。
 - ▶ プロジェクトマネジメントが機能しておらず、プロジェクト内の異なるグループや階層間のコミュニケーションが欠けていた。
 - ▶ コストの増加や計画の遅れの主な原因は、土木建築（ドイツが全負担）の混乱であり、加速器や測定器等の技術的な面は、それよりは良い状態であった。
 - ▶ 科学的な競争力は、計画の大幅な遅れによって明らかに低下している。

○ LHC と同時期に米国で計画されたが中止となった大型加速器として超伝導超大型衝突型加速器（SSC）がある。本計画に携わった研究者の述懐によれば、中止となった主要な要因として以下が挙げられており、ILC計画のような大型の計画を検討する上で参考になると考えられる。

- ① 米国内の予算が緊縮財政に転換されたこと
- ② 設計変更等により経費が増加したこと（45億ドルから110億ドルへ増加）
- ③ 波及効果が誇張されており、反発を招いたこと
- ④ 何もないグリーンフィールドが建設地とされたこと等、建設地の選定が後に様々な問題を生じさせたこと

3. ILC 計画の見直しを受けたこれまでの議論のまとめ

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り、そのためには、力の統一、超対称性、その他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であり、現在、様々なアプローチによる取組がなされている（別添「自然法則の統一的理解のための課題と研究動向」参照）。

ILC 計画は、ヒッグス粒子の性質の詳細な解明や更なる新粒子の発見等により、現在の標準理論を超える物理を探索し、新しい物理の解明に貢献することが期待されている計画であり、日本学術会議における「国際リニアコライダー計画に関する所見」（平成 25 年 9 月）を契機として、文部科学省は有識者会議を設置し、ILC 計画（見直し前の 500GeV ILC）の検証を進め、「前回まとめ」（平成 27 年 6 月）において、以下の提言を行った。

（「前回まとめ」における提言）

提言 1 ILC 計画は巨額の投資が必要であり、一国のみで実現することはできず、国際的な経費分担が必要不可欠な計画である。巨額の投資に見合う科学的成果が得られるべきであるとの観点から、標準理論を超える新展開のために、ヒッグス粒子及びトップクォークの精密測定のみならず、新粒子の発見の可能性についても見通しを得るべき

提言 2 ILC の性能、得られる成果等については、2017 年末までの計画として実施されている LHC での実験結果に基づき見極めることが必要であることから、LHC の動向を注視し、分析・評価すべき。併せて、技術面での課題の解決やコスト面でのリスクの低減について、明確にすることが必要

提言 3 提言 1 及び提言 2 に関する事項を含めて計画の全体像を明確に示しつつ、国民及び科学コミュニティの理解を得ることが必要

「前回まとめ」以降、LHC の実験結果を踏まえた国際的な研究者組織による ILC 計画の見直しが行われたことを受け、有識者会議として「前回まとめ」における提言を踏まえ、見直し後の ILC 計画（250GeV ILC）について、研究者コミュニティからの聴取や調査分析を通じて様々な観点から調査・検討を行い、現時点における ILC 計画の全体像を可能な限り明確に示すため、これまでの議論を以下のとおり取りまとめた。

科学的意義

- 2017 年末までの LHC の実験では、標準理論を超える新粒子や新現象の兆候は捉えられていない。さらに、LHC においてⅡ期計画が続く 2018 年末までに新粒子や新現象が観測される可能性は低いことが判明している。
- この結果を踏まえて見直された 250GeV ILC においては、生成断面積の最大化など科学的に最も優位性を有し、かつ重要なのはヒッグス粒子の精密測定であり、これにより標準理論からのズレに素粒子ごとのパターンが見い出されれば、ヒッグス粒子が真の素粒子かどうかなど、現在の標準理論では説明が困難な課題に対し、解明の端緒を与え、今後の素粒子物理学が進む方向性に示唆を与える可能性がある。
- 他方、先に述べた LHC 実験の結果から、LHC では探索が困難なため ILC で直接測定することが期待されていた新粒子の発見の可能性は低くなった。また、500GeV ILC から 250GeV ILC へと衝突エネルギーを下げてヒッグスファクトリーとしたことにより、衝突エネルギー 350GeV が必要なトップクォークの精密測定については、実施できなくなった。
- なお、大きな質量欠損を伴う現象の観測等の間接的な方法による暗黒物質等の探索については、250GeV ILC においてもその意義は余り下がらない。

コスト及び技術的成立性の検証

- ILC 計画のコストについては、計画の見直しにより加速器本体及びトンネルを含む土木・建築等を対象としたコスト削減が図られたが、引き続き巨額の投資が必要であり、一国のみで実現することはできず、国際的な経費分担が必要不可欠な計画である。
- コスト削減に向けた研究開発の成果による効果が見込まれている一方で、コストのリスク要因や技術上の課題等により、研究者コミュニティにより見込まれている経費に追加的な経費が発生するリスクに十分な留意が必要である。
- 技術的な課題については、ビームダンプや陽電子源、電子源、ビーム制御、ダンピングリングの入出射システム等の性能実証が不十分と指摘されており、準備期間において技術として完成させる必要がある。

国際協力

- ILCに関する国際的な研究者組織からは、計画見直し前と比べて加速器建設のコスト削減が図られた一方、ホスト国の負担割合が高くなりそれ以外の国の負担割合が低くなることを前提として、我が国がILC計画をホストする意思があると宣言し、国際協力のイニシアティブをとることが期待されているが、我が国が参加している大型国際プロジェクトの前例と比べてもホスト国の負担割合が高くなっており、我が国の厳しい財政状況の下では、現実的かつ持続可能な国際経費分担である必要がある。
- ILCに関する国際的な研究者組織の支持の下、ILCは本格的な学術の国際共同プロジェクトとして検討されてきたものであり、国際経費分担についても、ホスト国以外の参加国からの十分な貢献を確保するとともに、ホスト国に権限と負担が過度に集中しないようにするためのホスト国とその他の参加国とのバランスに留意が必要である。
- 最終的には各国政府間の交渉で国際経費分担が決定されることになるが、各国政府レベルの計画や予算において、ILCについての明確な位置付けは現状ではほとんどなされていない。各国政府による具体的な参画及び経費分担についての明確な見通しを得ることが重要であり、その際、各国内において、サイエンスカウンスル等によるプロジェクトの承認を経た上で自国政府の資金確保に向けた主体的な議論の進展がなければ、各国政府間の合意は得られないことに留意する必要がある。
- また、国際協力を前提として、人材の確保・育成や体制及びマネジメントに係る諸課題を指摘しているが、これら諸課題の解決について明確な見通しが得られなければ、計画に大きな支障をきたすリスクがあることに十分留意する必要がある。

国民及び科学コミュニティの理解

- 有識者会議においては、日本学術会議による「国際リニアコライダー計画に関する所見」（平成25年9月）を受けて、ILCの見直し前の計画（500GeV ILC）及び平成29年11月に見直された計画（250GeV ILC）について様々な観点から調査・検討を行い、科学的意義、コスト及び技術的成立性、人材の確保・育成、体制及びマネジメント、国際協力などILC計画の全体像をできる限り明確にした。
- ILC計画の実施の可否を判断する際には、それが巨額の投資を必要とすることから、学術全体への影響の可能性や我が国の中長期的な財政状況を踏まえつつ、ILC計画による成果等について広く国民及び科学コミュニティの理解・支持を得ることができかどうかことが重要

であり、まずは見直し後の ILC 計画の全体像について、国民及び国内外の科学コミュニティに周知・共有されることが肝要である。

- また、日本学術会議の所見において「日本学術会議は、上記の調査・検討を踏まえて改めて学術の立場から見解を取りまとめることにより、政府における最終的判断に資する用意がある」とされていることから、我が国の科学コミュニティの代表機関である日本学術会議による見解の重要性に鑑み、ILC 計画について、本まとめが活用され、日本学術会議において改めて審議がなされることに期待する。

(謝辞)

これまでの有識者会議及び作業部会の運営にあたり、ヒアリングの実施や資料作成等について多くの方から貴重なご意見やご協力を頂きました。皆様に感謝申し上げます。

これまでの検討結果（詳細版）

（１）科学的意義

ILCの科学的意義

有識者会議においては、ILCの科学的意義を検証するため、素粒子原子核物理作業部会を設置した。当作業部会は、平成26年6月以降8回にわたり、国際リニアコライダー（ILC）計画の目指す研究内容と、その内容が巨額の投資に見合った科学的意義を有するかについて検証・議論し、平成27年3月に報告をまとめた（以下、「前回報告」という）。同報告を踏まえて、国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議（以下、「有識者会議」という）は、平成27年6月に「これまでの議論のまとめ」を公表した。その際は、ILCは衝突エネルギー500GeV（GeV=10億電子ボルト¹）の電子・陽電子衝突型加速器と想定して議論を行った。

その後、ILCに関する国際的な研究者組織の一つであるリニアコライダー・コラボレーション（以下、「LCC」という）でまとめられたILC計画の見直し案²が、リニアコライダー国際推進委員会（以下、「LCB」という）における審議³を経て、国際将来加速器委員会（以下、「ICFA」という）において承認⁴され、平成29年11月に公表された。この見直しにおいては、2017年までの13TeV LHC実験の結果を踏まえた上で建設に必要なコストを引き下げることも考慮して、ILC計画は衝突エネルギーを500GeVから250GeVとする提案（以下、「250GeV ILC」という）に変更された。この公表を受けて平成29年12月に開催された有識者会議において、250GeV ILCの科学的意義について検証し、留意すべき点について専門的見地から検討を行うため、当作業部会が再度設置された。今回の当作業部会では、特に前回報告において最新の知見を踏まえて再度検証が必要となった部分について、平成30年1月以降5回にわたり議論し、検証を行った。本内容は、当作業部会からの報告を踏まえ、有識者会議として取りまとめたものである。

1. 欧州合同原子核研究機関（CERN）における実験結果について

- 前回報告及び「これまでの議論のまとめ」においては、ILCの性能、得られる成果等については、欧州合同原子核研究機関（以下、「CERN」という）が設置する大型ハドロン衝突型加速器（以下、「LHC」という）におけるエネルギー増強後の13TeV LHCによるⅡ期実験の結果に基づき見極めることが必要とされている。

- LHCの実験スケジュールについて、13TeVによるⅡ期実験は当初2015年から2017年

¹ 電子ボルト(eV): エネルギーの単位。電子ひとつが1ボルトの電圧で加速されたときに得るエネルギーの量。

² 「Physics Case for the 250 GeV Stage of the International Linear Collider」(LCC Physics Working Group / October, 2017), 「The International Linear Collider Machine Staging Report 2017」(Linear Collider Collaboration / October, 2017)

³ 「Conclusions on the 250 GeV ILC as a Higgs Factory proposed by the Japanese HEP community」(Linear Collider Board, 8 November 2017, Rev 1)

⁴ 「ICFA Statement on the ILC Operating at 250 GeV as a Higgs Boson Factory」(Ottawa, November 2017)

とされてきたが、その後 2018 年まで延長されている。当作業部会において 2017 年末までの LHC における実験結果を確認したところ、ヒッグス粒子の発見以降様々な成果はあるものの、標準理論を超える新粒子（強い相互作用をする超対称性粒子の可能性のある粒子）・新現象（暗黒物質や余剰次元）の兆候は捉えられていない。

- さらに、これまでの実験結果から、LHC において、Ⅱ期実験が続く 2018 年末までに新粒子や新現象が観測される可能性は低いことが判明しており、前回報告において示されている以下のシナリオについては、(1)(2)は該当せず、(3) 13TeV LHC で新粒子や新現象が観測されない場合となった。その結果を踏まえて、国際研究者コミュニティは、ヒッグス粒子の精密測定的重要性から、ILC は当初計画の 500GeV から衝突エネルギーを下げた 250GeV でヒッグスファクトリーとして運転を行うように見直したことから、その内容については修正を要する。(→3.)

前回報告 6. (1) ~ (3) 【抜粋】

6. 13TeV LHC の成果を踏まえた ILC 等のシナリオ

13TeV LHC での成果を踏まえたシナリオに応じ ILC 計画で実施する場合の今後の戦略方針は以下のとおり。

(1) 13TeV 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

方針：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。LHC において、強い相互作用をする新粒子が割合軽い⁵場合や 250GeV 以下の質量をもつ新粒子に崩壊しているらしいとの示唆がある場合には、ILC においてこの新粒子を発見し、詳細解明を行うことが期待される。そうでない場合は、エネルギーアップグレードがゆくゆくは必要となる。

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。ILC で新粒子が発見された場合にも、大きな研究の進展が期待される。

⁵ ILC で発見される可能性のある最も軽い新粒子の質量は、典型的な超対称性理論では強い相互作用をする超対称性粒子の概ね 1/7 以下とされている。ただし、理論的には不定性が大きいという意見もあることに留意が必要。

(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が観測(発見)された場合

方針: LHC で発見された新現象の性質を ILC で精査し、ヒッグス粒子やトップクォークの精密測定とあわせて、標準理論を超える物理を研究する。

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

(3) 13TeV 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(超対称性理論、複合ヒッグス理論等)を探索する。また ILC は LHC では検出が困難なタイプの新粒子にも感度があるため、これらの新粒子の探索も行う。LHC で未発見の原因を精査し、ILC で発見できる新粒子を探索するとともに、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物理のエネルギースケールが明らかになる。新粒子が発見された場合にも、大きな研究の進展が期待される。

2. 250GeV ILC の科学的意義について

○ 国際研究者コミュニティにおいて、ILC 計画の衝突エネルギーを 500GeV から 250GeV に下げる見直しが行われた。これにより、加速器の建設コストを引き下げ、ILC 計画の目標について焦点を絞ったものにすることができる、と報告されている。

○ 前回報告においては、ILC の目指す科学的意義を以下のとおり整理していた。

(1) ヒッグス粒子やトップクォークの詳細研究によるヒッグス機構の全容解明で標準理論を超える物理を探索

(2) 超対称性粒子などの新物理の探索、及び発見された場合その詳細研究⁶

(3) その他(暗黒物質や余剰次元)

○ (1) について、250GeV ILC による実験が最も優位性を有するのは、ヒッグス粒子

⁶ 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どの程度まで解明し得るか等の点にも留意が必要。

と素粒子の結合定数の精密測定である。ヒッグス粒子は現在知られている強い相互作用及び電弱相互作用による力を感じない新粒子とも結合し得る性質があり、暗黒物質や通常の実験では検出不可能な粒子とも相互作用すると考えられる。結合定数を高い精度で測定し、標準理論からのズレに素粒子ごとのパターンが見いだされれば、新しい物理の性質に関する情報が得られる。その結果が、今後の素粒子物理学が進む方向性に示唆を与える可能性がある。例えば、暗黒物質の正体やヒッグス粒子が真の素粒子か複合粒子であるかどうかなど、現在の標準理論では説明が困難な課題に対し、ヒッグス粒子の結合定数の精密測定が、その解明の端緒を与える可能性がある。

- また、衝突エネルギー250GeV でヒッグス粒子の生成断面積が最大化されることに加え、13TeV LHC で新粒子の兆候が観測されず 250GeV ILC でのヒッグス粒子の精密測定に有効場理論が利用できることが明らかになった⁷ことから、ヒッグス粒子の精密測定の実現可能性がより明確になった。
- 一方、500GeV ILC から 250GeV ILC へと衝突エネルギーを下げたことにより、前回報告において、ILC 計画における重要な課題の一つとして挙げていたヒッグス粒子の三点結合（一つのヒッグス粒子から二つのヒッグス粒子ができる反応）の測定は、250GeV ILC ではできなくなる⁸。また、トップクォークの精密測定についても、衝突エネルギー350GeV が必要であることから、250GeV ILC では実験が不可能となる⁹。
- （2）については、前述の 2017 年末までの LHC における実験結果から、強い相互作用をする超対称性粒子については 1.5TeV~2TeV 以下に存在する可能性が極めて低いと考えられる。したがって、強い相互作用をする超対称性粒子としない超対称性粒子の理論的な対応から、LHC では探索が困難なため ILC で直接測定することが期待されていた、強い相互作用をしない超対称性粒子¹⁰については、当初計画の 500GeV ILC で発見できる可能性は低く、見直し後の 250GeV ILC では更に低い。
- 一般に電子・陽電子衝突実験は LHC に代表される陽子・陽子衝突実験では検出が困難

⁷ 結合定数の精密測定に必要なヒッグス粒子の全崩壊幅の決定は、250GeV ILC では困難と考えられていたが、新粒子が直接生成されないエネルギー領域では、全崩壊幅の決定に有効場理論に基づく近似計算が十分な精度で適用できることが判明した。

⁸ 仮に三点結合定数の標準理論からのズレが予想を超えて大きい場合は、250GeV ILC でヒッグス粒子と Z 粒子等との結合定数の精密測定により、その効果が観測される可能性がある。

⁹ LHC の将来計画である HL-LHC におけるトップクォークの質量測定精度は標準理論における真空の安定性の検証が可能なまでに向上すると考えられるため、ILC において衝突エネルギーを 350GeV にまで上げてトップクォークの質量を精密に測定する物理的な意義は下がる。

¹⁰ LHC で発見された新粒子が強い相互作用をする超対称性粒子の場合、ILC で発見される可能性がある最も軽い新粒子の質量は、典型的な超対称性理論では強い相互作用をする超対称性粒子の概ね 1/7 以下とされている。ただし、理論的には不定性が大きいという意見もあることに留意が必要。

なタイプの新粒子にも感度があるが、新粒子が 250GeV ILC で直接生成される可能性は低い¹ため、主にヒッグス粒子の結合定数の精密測定や輻射補正¹¹の測定等の間接的な方法を用いて探索する。

- (3)については、ヒッグス粒子のインビジブル崩壊や一光子事象、標準理論粒子の対生成における輻射補正等を測定することで暗黒物質や余剰次元等の存在を見極める間接的な方法¹²をとるので、250GeV ILC においてもその意義は余り下がらない。

3. 13TeV LHC の結果を踏まえた 250GeV ILC のシナリオ及び留意点

- 科学的意義の観点から、13TeV LHC の結果を踏まえた 250GeV ILC のシナリオは以下のとおり。

13TeV LHC の結果を踏まえた 250GeV ILC のシナリオ（科学的意義の観点）

方針：ヒッグス粒子と他の素粒子の結合定数を精密測定し、標準理論を超える物理の解明の端緒となる事象を探索する。また、主に間接的な方法による暗黒物質や余剰次元等の探索も行う。

効果：ヒッグス粒子と他の素粒子との結合定数の精密測定において、標準理論からのズレが観測された場合は、そのズレの素粒子ごと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そのエネルギースケールが明らかになる。
また、暗黒物質や余剰次元等が観測された場合も研究の大きな進展が期待される。

- 他方、13TeV LHC の結果から、ILC では新粒子の直接探索による発見の可能性は低い。更に 500GeV ILC から 250GeV ILC への見直しにより、トップクォークの精密測定は実施できないことに留意する必要がある。
- 上記シナリオの妥当性については、技術設計報告書（TDR）検証作業部会において示される 250GeV ILC のコスト見積り等も併せて検討されるべきものである。

¹¹ 量子力学の不確定性原理によると、非常に短い時間内では高いエネルギー状態になることができるため、まれにしか起こらない超高エネルギー状態を経由する崩壊を観測することにより、重い粒子の影響を低いエネルギーでも調べることができる。

¹² 電子・陽電子衝突では衝突のエネルギーが正確に決まっているため、暗黒物質や余剰次元に関連する粒子に関しては、生成された側と反対側に放出された粒子を計測することで欠損エネルギーと欠損運動量を算出する等の方法により、その粒子の質量を決めることができる場合がある。

LHCの13TeV運転の成果に応じた500GeV ILCのビジョン

別添1

13TeV LHCでの実験結果を踏まえた500GeV ILCでの研究の科学的意義及び国際的な求心力の変化	13TeV LHCの実験結果による変化						備考
	ILCの科学的意義			ILCの国際的な求心力			
	上がる	変わらない	下がる	上がる	変わらない	下がる	
1. 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の探索							LHCで発見がある場合、精密測定で如何なる物理かを特定する必要があり、標準理論からのズレが見えないリスクも下がるため、意義は変わらない、または更に高まるとの両論がある。求心力はLHCと2分。
LHCで新粒子の発見があった場合							LHCで発見がない場合、ILCしか他に手段がないとして、科学的意義は更に高まる、または変わらないとの両論がある。LHCへの求心力が低下した場合は、標準理論を超える物理へのアプローチで、ILCでの精密測定に対する求心力が高まる。
LHCで新粒子の発見がない場合							
2. 超対称性粒子などの標準理論を超える新粒子の直接探索による新物理の研究							
LHCで新粒子の発見があったが、対応する新粒子がILCで直接見える可能性が低い場合							ILCで見える可能性が低い場合は、エネルギーアップグレードがゆくゆくは必要となる。エネルギーアップグレードによって新粒子が直接見える可能性が高い場合は、ILCが一定程度の求心力を有するとの意見もある。
LHCで新粒子の発見があり、対応する新粒子がILCで直接見える可能性が高い場合							新粒子の素性を解明する上で、非常に大きな科学的意義があり、国際的な求心力も高まる。
LHCで新粒子の発見がない場合							ILCで探索可能な新粒子が存在する質量領域が現在より狭まる。しかし、ILCにおける新粒子の探索については手がかりがほとんどないことから、ILCでも新粒子の発見が可能との意見があるほか、ILCがLHCとは異なるタイプの新粒子に敏感であるため、相対的に求心力がある、または高まるとの両論がある。

(1)LHCで発見された新粒子が強い相互作用をする超対称性粒子の場合、ILCで発見される可能性がある最も軽い新粒子の質量は、典型的な超対称性理論では強い相互作用をする超対称性粒子の概ね1/7以下とされている。ただし、理論的には不定性が大きいという意見もあることに留意が必要。

(2)LHCで探索可能な新粒子の質量の上限は、2 TeV (2000 GeV)。500 GeV ILCで直接探索可能な新粒子の質量の上限は250 GeV。(8TeV ILCでの実験の結果、1 TeV以下では強い相互作用をする新粒子の発見なし。)

500GeV ILC(当初計画)と250GeV ILC(見直し後)の科学的意義の比較

別添2

500GeV ILC(当初計画)で期待されていた成果 [前回報告書とりまとめ(2015年3月)時点]		LHCの13TeV運転の結果を踏まえて 250GeV ILC(見直し後)に期待される成果			備考 (科学的意義の変化の理由)
解明される物理 (ILCにおける重要度順)	実験における観測量	探索・検証の可能性 (参考) 500GeV	科学的意義の変化		
		250 GeV	上がった	変わらない	下がった
(1) ヒッグス粒子精密測定による新たな物理の探索	ヒッグス粒子結合定数の測定 ・クォーク(トップ以外) ・荷電レプトン ・ゲージボソン	可能	可能		
(2) 新粒子直接探索	超対称性粒子探索 拡張ヒッグス粒子探索	可能性低い			可能性更に低い
(3) 間接的方法による暗黒物質や余剰次元等の探索	モノジェット、一光子放出事象等のエネルギー・質量欠損事象	可能		可能	
(4) 標準理論における真空安定性の検証	トップクォーク質量精密測定	可能			不可能

・LHC実験の結果、標準理論を超える物理を探る手段として、ILCにおけるヒッグス粒子の精密測定は科学的意義は高まった。

・ヒッグス粒子の精密測定により、標準理論を超える新物理の探索が可能であり、250GeVでヒッグス粒子の生成断面積が最大になる。

・結合定数の精密測定に必要なヒッグス粒子の全崩壊幅は、新粒子が直接生成されないエネルギー領域では、有効場理論を用いて決定できることが判明した。

・ヒッグス粒子の三点結合の測定は250GeVでは不可能だが、仮に三点結合定数の標準理論からのズレが大きい場合は、ヒッグス粒子とZ粒子等との結合定数の精密測定により、その効果が観測される可能性がある。

・LHC13TeVでの探索で新粒子が発見されなかったことから、理論的に対応する新粒子がILCで発見される可能性が低くなった。

・ヒッグス粒子のインビジブル崩壊や一光子事象、標準理論粒子の対生成における輻射補正の測定等の間接的な方法で暗黒物質や余剰次元等の探索が可能である。

・トップクォークの質量をILCで精密に測定するためには、350GeV以上のエネルギーが必要であるが、LHC実験でのトップクォーク質量の最終的な測定精度は、標準理論の真空安定性の検証が可能な程度に向上すると考えられるので、ILCでのトップクォークの質量測定の物理的意義は下がる。

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 (前回報告)

当作業部会は、国際リニアコライダー (ILC) 計画の目指す研究内容と、その内容が巨額の投資に見合った科学的意義を有するかについて検証を行い、その意義を整理するため、平成 26 年 6 月以降、8 回に渡り議論を行った。この議論においては、主に以下の 3 つの観点を中心に議論を行った。これらの議論の結果について、主要事項を以下に示す。

- (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 (大型陽子加速器 (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

なお、当作業部会では、ILC について衝突エネルギー 500GeV (GeV=10 億電子ボルト¹) の電子・陽電子衝突型加速器と想定して議論を行い、必要に応じてエネルギーアップグレードされた ILC についても議論を行った。

1. 科学的意義 (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)

○素粒子物理学の歴史と現状

素粒子物理学は物質の内部構造とそこに働く根源的な力の法則を研究する学問である。その発展により、近年では宇宙の誕生や進化などの理解においても素粒子物理学の重要性が認識されるようになった。

○素粒子物理学は 20 世紀の後半以降加速器の進歩と共に新たな粒子や現象が発見され、それを手がかりに理論的研究と更なる実験を重ねることで大きな発展を遂げた。特に 1970 年代以降、陽子・(反)陽子衝突型加速器と電子・陽電子衝突型加速器によって多くの発見と測定がなされてきた。20 世紀中には物質を構成するクォークとレプトン及びそれらの間に働く強い力、弱い力、電磁力を媒介するゲージ粒子からなる素粒子の標準理論の枠組みの正しさはほぼ確固たるものとなり、そして 2012 年には素粒子に質量を与えるヒッグス粒子が発見されて標準理論の枠組みを構成する全ての要素が実験的に確認された。

○ヒッグス粒子は今まで知られていたクォークやレプトン、及び相互作用を媒介するゲージ粒子とは全く違う粒子であり、今後ヒッグス粒子の全容を解明していく必要がある。それと共に、宇宙の暗黒物質の存在や様々な理論的研究から、標準理論が素粒子の世界を記述する究極の理論でないことも広く認識されるようになった。従って現在の素粒子物理学の大きな流れは標準理論を超える物理がどのようなものであるかを探ることで

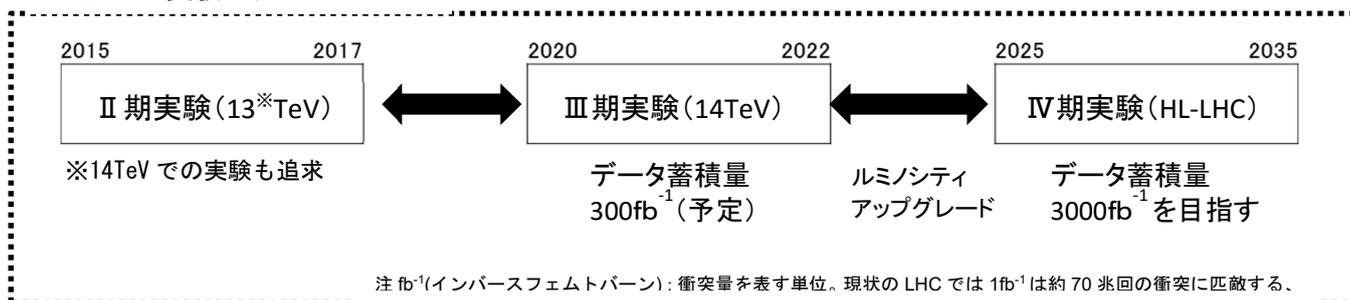
¹ 電子ボルト (eV) : エネルギーの単位。電子ひとつが 1 ボルトの電圧で加速されたときに得るエネルギーの量。1eV=1.6×10⁻¹⁹J

ある。

○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、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。

○特に、電弱相互作用のエネルギースケール（数百 GeV）と、これより 10 桁以上高いと推定されていて、素粒子間に働く強い力、弱い力、電磁力が統一されると期待される大統一のエネルギースケール、あるいは重力が重要になるプランクスケールという非常に大きなエネルギースケールとの違いを無理なく理解するには TeV (TeV=1 兆電子ボルト) のエネルギースケールに超対称性などの新たな物理が必要であると広く認識されている。また暗黒物質もこの新たな物理と関連した粒子である可能性が広く議論されている。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電子・陽電子衝突型加速器 (KEKB) や大強度陽子加速器施設 (J-PARC) などでの間接的な探索や非加速器実験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



○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 の目指す研究は超対称性など、TeV のエネルギースケールにあると予想される素粒子の標準理論を超える新物理の探索と解明で、非常に重要である。その内容は以下のとおりである。

- (1) ヒッグス粒子やトップクォークの詳細研究によるヒッグス機構の全容解明で標準理論を超える物理を探索
- (2) 超対称性粒子などの新物理の探索、及び発見された場合その詳細研究²

² 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どの程度まで解明し得るか等の点にも留意が必要。

(3) その他 (暗黒物質や余剰次元)

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)

・ <u>本体建設費</u>	9,907 億円 (TDR 記載項目)	
(内訳)		
土木建築	1,600 億円 (工事費)	} 8.309 億円
加速器本体	6,709 億円 (超伝導加速空洞・設備費等)	
労務費	1,598 億円 (=22,892 千人時相当)	
・ <u>測定器関係経費</u>	1,005 億円 (TDR 記載項目)	
(内訳)		
測定器本体	766 億円	
労務費	239 億円 (=3,651 千人時相当)	

○年間運転経費 491 億円 (TDR 記載項目)

(内訳)	
光熱水料、保守	390 億円
労務費	101 億円 (=850 人/年相当)

○TDR では国際協力によるコストシェアリングを行うこととされている

3. 過去の加速器整備での建設費の実例

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。

※J-PARC 1,524 億円

 この他、大型放射光施設 (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

○大型陽子加速器 (LHC)

・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) の LHC (CERN での既存加速器に追加し、大型電子・陽電子衝突型加速器 (LEP) のトンネルを利用する形で設置。LHC のために追加で必要となった費用は、加速器および実験装置の建設費として約 5,000 億円、ただし人件費は除く)。

・LHC は欧州の国際機関である 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、インド等が協力。

- ・ LHC は建設開始時に過去の加速器実験（欧州・LEP 等）における実験データと標準理論（あるいは超対称性理論）に基づき、ヒッグス粒子発見能力について見通しをもって実験が開始された。ただし実験開始前に他の実験で発見される可能性はあった。また LHC のヒッグス粒子探索の結果が（発見のあるなしにかかわらず）標準理論の根幹に大きな影響を与えると考えられていた。

○超伝導超大型衝突型加速器（SSC）

- ・ 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 がある。
- ・ 本計画は、米国の国家事業として開始されたが、その後中止に追い込まれた。部会において聴取したところでは、様々な要因がある中で、以下のような点を挙げる意見があった。
 - A) 米国内の予算が緊縮財政に転換されたこと
 - B) 国際プロジェクトでなかったこと
 - C) 設計変更等による経費の増加（45 億ドル→110 億ドル）
 - D) SSC の波及効果が誇張されており、反発を招いたこと
 - E) 建設地の選定が後に様々な問題を生じさせたこと

4. 技術設計報告書（TDR）で示された ILC で実施できる研究

○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 では以下の研究が実施できる。

- ・ ヒッグス粒子の崩壊分岐比の詳細測定や 3 点結合の測定等を通して真空の相転移の起源をはじめとするヒッグス粒子・ヒッグス機構の全容解明やトップクォークも含めた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」等の新粒子探索も重要な課題（ただし、強い相互作用をする超対称性粒子の探索はエネルギー増強後の LHC でも実施予定であり、発見が期待されるのは主に 2015～17 年頃）
- ・ 暗黒物質や、余剰次元等の探索

5. 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は、ILC で期待される成果を最大化する観点から、2015 年から始まる LHC の衝突エネルギー 13TeV の実験（13 TeV LHC）における強い相互作用をする超対称性粒子等の探索結果を踏まえて明確化すべき。
- 4. に掲げられた実験内容について、最適な戦略見通しに沿った研究計画を遂行するにあたり、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国際計画であり、国際協力を前提に立案がなされてきたこと、また我が国の財政状況も鑑みると我が国がホスト国として負担をする範囲には限度があることから、ILCにかかる経費について、国際協力による応分の経費分担を前提とすべき。

○ILC 計画の投資額の規模に鑑みると、実施の可否を判断する際には、他の学問分野コミュニティの理解・協力を得ることが重要であり、計画推進の判断がなされた場合は、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を含む他の学問分野の研究に影響を及ぼすことがないような特別な予算措置が望まれる。

○ILC 計画実施について、時宜を得た判断が行われなない場合には、国際的な求心力が失われる可能性があるため、不必要な判断の遅延を招かないように、体制の整備や事前の準備が重要。

○計画実施の可否は、上記の留意点を踏まえて判断すべきである。

6. 13 TeV LHC の成果を踏まえた ILC 等のシナリオ

13 TeV 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とおり。

(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

方針：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。LHCにおいて、強い相互作用をする新粒子が割合軽い³場合や250GeV以下の質量をもつ新粒子に崩壊しているらしいとの示唆がある場合には、ILCにおいてこの新粒子を発見し、詳細解明を行うことが期待される。そうでない場合は、エネルギーアップグレードがゆくゆくは必要となる。

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。ILCで新粒子が発見された場合にも、大きな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が観測（発見）された場合

方針：LHCで発見された新現象の性質をILCで精査し、ヒッグス粒子やトップクォークの精密測定とあわせて、標準理論を超える物理を研究する。

効果：暗黒物質の初観測や余剰次元の探索の足がかりの観測により、大きな発見と

³ ILCで発見される可能性がある最も軽い新粒子の質量は、典型的な超対称性理論では強い相互作用をする超対称性粒子の概ね1/7以下とされている。ただし、理論的には不定性が大きいという意見もあることに留意が必要。

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

方針：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（超対称性理論、複合ヒッグス理論等）を探索する。また ILC は LHC では検出が困難なタイプの新粒子にも感度があるため、これらの新粒子の探索も行う。LHC で未発見の原因を精査し、ILC で発見できる新粒子を探索するとともに、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物理のエネルギースケールが明らかになる。新粒子が発見された場合にも、大きな研究の進展が期待される。

LHCの13TeV運転の成果に応じた500GeV ILCのビジョン

13TeV LHCでの実験結果を踏まえた500GeV ILCでの研究の科学的意義及び国際的な求心力の変化	13TeV LHCの実験結果による変化						備考
	ILCの科学的意義			ILCの国際的な求心力			
	上がる	変わらない	下がる	上がる	変わらない	下がる	
1. 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の探索							LHCで発見がある場合、精密測定で如何なる物理かを特定する必要があり、標準理論からのズレが見えないリスクも下がらるため、意義は変わらない、または更に高まるとの両論がある。求心力はLHCと2分。
LHCで新粒子の発見があった場合							LHCで発見がない場合、ILCか他に手段がないとして、科学的意義は更に高まる、または変わらないとの両論がある。LHCへの求心力が低下した場合は、標準理論を超える物理へのアプローチで、ILCでの精密測定に対する求心力が高まる。
LHCで新粒子の発見がない場合							
2. 超対称性粒子などの標準理論を超える新粒子の直接探索による新物理の研究							
LHCで新粒子の発見があったが、対応する新粒子がILCで直接見える可能性が低い場合							ILCで見える可能性が低い場合は、エネルギーアップグレードがゆくゆくは必要となる。エネルギーアップグレードによって新粒子が直接見える可能性が高い場合は、ILCが一定程度の求心力を有するとの意見もある。
LHCで新粒子の発見があり、対応する新粒子がILCで直接見える可能性が高い場合							新粒子の素性を解明する上で、非常に大きな科学的意義があり、国際的な求心力も高まる。
LHCで新粒子の発見がない場合							ILCで探索可能な新粒子が存在する質量領域が現在より狭まる。しかし、ILCにおける新粒子の探索については手がかりがほとんどないことから、ILCでも新粒子の発見が可能との意見があるほか、ILCがLHCとは異なるタイプの新粒子に敏感であるため、相対的に求心力がある、または高まるとの両論がある。

(1) LHCで発見された新粒子が強い相互作用をする超対称性粒子の場合、ILCで発見される可能性がある最も軽い新粒子の質量は、典型的な超対称性理論では強い相互作用をする超対称性粒子の概ね1/7以下とされている。ただし、理論的には不定性が大きいという意見もあることに留意が必要。

(2) LHCで探索可能な新粒子の質量の上限は、2 TeV (2000 GeV)。500 GeV ILCで直接探索可能な新粒子の質量の上限は250 GeV。(8TeV LHCでの実験の結果、1 TeV以下では強い相互作用をする新粒子の発見なし。)

計画見直し前の500GeV ILCを対象とした「これまでの議論のまとめ」(H27.6.25)より抜粋

(2) コスト及び技術的成立性の検証

コスト及び技術的成立性の検証

有識者会議においては、ILCのコスト及び技術的成立性を検証するため、技術設計報告書（TDR）検証作業部会を設置した。当作業部会は、平成26年6月以降6回にわたり、国際リニアコライダー（ILC）計画の技術設計報告書（TDR）におけるコストの算出方法や技術的成立性などについて検証・議論し、平成27年3月に報告（以下、「前回報告」という）をまとめた。同報告を踏まえて、国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議（以下、「有識者会議」という）は、平成27年6月に「これまでの議論のまとめ」を公表した。その際は、ILCは衝突エネルギー500GeV（GeV=10億電子ボルト¹）の電子・陽電子衝突型加速器と想定して議論を行った。

その後、ILCに関する国際的な研究者組織の一つであるリニアコライダー・コラボレーション（以下、「LCC」という）でまとめられたILC計画の見直し案^{2・3}が、リニアコライダー国際推進委員会（以下、「LCB」という）における審議⁴を経て、国際将来加速器委員会（以下、「ICFA」という）において承認⁵され、平成29年11月に公表された。この見直しは、欧州合同原子核研究機関（CERN）におけるLHC実験の結果及びLCCにおけるILCに関するコスト削減への取組を踏まえて実施され、衝突エネルギーを250GeVとする提案（以下、「250GeV ILC」という）に変更された。この公表を受けて平成29年12月に開催された有識者会議において、ILC計画の見直しについて、特にコストの算出方法や技術的成立性などについて検証し、留意すべき点について専門的見地から検討を行うため、当作業部会が再度設置された。今回の当作業部会では、特に前回報告において再度検証が必要となった部分について、平成30年1月以降5回にわたり議論し、検証を行った。本内容は、当作業部会からの報告を踏まえ、有識者会議として取りまとめたものである。

1. 当作業部会で聴取したILC計画の見直しの概要

(1) 国際研究者コミュニティによる見直し案について

- LCCが作成したマシンステージングレポート²では、段階的实施を可能とするものとして再定義し、その第一段階を250GeV ILCの加速器とそのためのトンネルとした。これが同レポートにおけるOption A（今回の検証の対象）とされている。

¹ 電子ボルト（eV）：エネルギーの単位。電子ひとつが1ボルトの電圧で加速されたときに得るエネルギーの量。1eVは、質量 1.782×10^{-33} gに相当する。

² 「The International Linear Collider Machine Staging Report 2017」(Linear Collider Collaboration / October, 2017)

³ 「Physics Case for the 250 GeV Stage of the International Linear Collider」(LCC Physics Working Group / October, 2017)

⁴ 「Conclusions on the 250 GeV ILC as a Higgs Factory proposed by the Japanese HEP community」(Linear Collider Board, 8 November 2017, Rev 1)

⁵ 「ICFA Statement on the ILC Operating at 250 GeV as a Higgs Boson Factory」(Ottawa, November 2017)

- 同レポートでは、この他に 250GeV ILC の加速器を将来的に 350GeV まで拡張するための簡素化トンネルから構成されるのが Option B、同様に 500GeV までの簡素化トンネルから構成されるのが Option C とされているが、LCB 及び ICFA の声明ではヒッグスファクトリーとしての 250GeV ILC を提案しているため、Option B 及び Option C は今回の検証の対象外である。

(2) 研究開発を踏まえたコスト削減について

- ILC 計画の見直しにおけるコスト計算では、現在実施されている、あるいは将来実施予定のコスト削減に向けた研究開発（以下、「コスト削減 R&D」という）の成果について、最大限の効果を見込んだものが Option A' とされている。

(3) 土木・建築等について

- トンネルの長さが 33.5km (500GeV) から 20.5km (250GeV、OptionA・A') となる。加速器の運転中はトンネル内に立ち入らない等のアクセス制限を高めることにより、電源側とビーム側を分けるトンネル中央の垂直遮蔽壁を厚さ 3.5m から 1.5m とし、トンネル断面を幅 11m から 9.5m に縮小してトンネルに係る建設コストを抑制した、とされている。

- 今回の見直しでは、加速器本体のほかに土木・建築等も対象となっている。大きな変更点は、TDR では地上から地下へはアクセストンネル経由であったが、見直し後は、衝突点での物理実験・測定器の組み込みが立坑経由とされている。これにより、クレーンによる測定器・機器の地下トンネルへの垂直搬入が可能となり作業効率が向上する、とされている。

(4) 労務費について

- 装置全体が縮小されることにより、建設における必要人員も見直された。TDR では建設期に 22,892 千人時が必要とされたのに対し、見直し後は 17,165 千人時とされている。

2. 当作業部会で聴取した見直し後の ILC 計画 (250GeV ILC) の見積りの概要

- 見直し後の ILC 計画 (250GeV ILC) のコストについて、本体及び測定器建設経費は 7,355~8,033 億円 (本体建設費 6,350~7,028 億円、測定器関係経費 1,005 億円) と算定され、これに加えて不定性相当経費及び 3. で述べるコストのリスク要因や技術上の課題等による追加的な経費が発生する可能性がある。
- 不定性相当経費は、本体及び測定器建設経費の約 25%が見込まれているが、これはコスト見積りの精度に関するもののみが対象であり、技術リスク、工事期間の延長リス

ク、市場リスク等に伴うコスト増加分は含まれないことに留意が必要である。

- 年間運転経費は 366～392 億円と算定された。また、その他付随経費として、準備経費 233 億円が新たに算定されたが、具体的に算定されておらず新たに計上が必要となる経費（具体的な立地に関わる経費等）が存在している。
- さらに、コンティンジェンシー（予期せぬ出費のための予備費：プロジェクト経費（本体及び測定器建設経費＋運転経費）の約 10%）及び実験終了後の解体経費（年間運転経費の 2 年分程度）が新たに項目として追加された。

今回、当作業部会で聴取した見直し後の ILC 計画の見積りの内訳は以下のとおり。

（前提条件）

仮想通貨「ILCU」を置いて設定。ILCU は 2012 年 1 月現在の購買力平価を基に、1ILCU = 1 米ドルを基準としている。

国際入札を考慮して「1 ユーロ = 115 円、1 ドル = 100 円」を仮定して日本円へ換算した金額は以下の通り。

算出に当たり、前回報告から大きな物価変動はなかったが、土木・建築に係る工事費については、震災復旧・復興や東京五輪開催に向けた準備の関係等から近年高騰傾向にあり、TDR ベースでの見積額と近年の状況を反映し、幅のある見積額として表記した。また、加速器本体及び運転経費についても、コスト削減 R&D の成否により変動するため、幅のある見積額として表記した。為替変動については、比較を容易にするため前回報告と同じレートを用いた。労務費は TDR 上では人時で換算されているものを金額へ換算している。

※500GeV ILC（当初計画）と 250GeV ILC（見直し後）のコストの比較については別紙参照。

（1）本体建設費 6,350～7,028 億円（TDR 記載項目）

（内訳）

土木建築	1,110～1,290 億円（工事費）	} 5,152～ 5,830 億円
加速器本体	4,042～4,540 億円（超伝導加速空洞・設備費等）	
労務費	1,198 億円（=17,165 千人時（TDR では金額換算はされていない））	

（2）測定器関係経費 1,005 億円（TDR 記載項目）

（内訳）

測定器本体	766 億円
労務費	239 億円（=3,651 千人時（TDR では金額換算はされていない））

（3）不定性相当経費 （1）＋（2）の約 25%（TDR 記載項目）

※不定性：コスト見積りの精度に関するもののみを指し、技術リスク、工事期間の延長リスク、市場リスク等に伴うコスト増加分は含まれない。

- (4) 年間運転経費 366～392 億円 (TDR 記載項目)
(内訳)
光熱水料、保守 290～316 億円
労務費 76 億円 (=638 人／年 (TDR では金額換算はされていない))

- (5) その他付随経費 (TDR 未記載項目)
・ 準備経費 233 億円 (設計費用のほか、研究開発、環境調査、人材養成、技術移転、管理・事務の関連経費等)
・ TDR で具体的な経費が算定されていないものは、土地取得経費、海外研究者の生活環境の整備、アクセス道路、建設廃棄物処理、湧水処理設備、電力引込みや受変電設備の ES 事業⁶化、低圧電源設備、ライフライン等のインフラ、計算機センター等の経費

- (6) コンティンジェンシー プロジェクト経費 (本体及び測定器建設経費+運転経費⁷) の約 10% (PIP⁸記載項目)

※予期せぬ出費のための予備費。

- (7) 実験終了後の解体経費 年間運転経費の 2 年分程度 (TDR 未記載項目)
※建設時に組み込み・据付けしたものを解体するための経費。加速器機器は再利用を前提とする。地上に保管用建物確保、又は新たに整備し、再利用の可能性を保持する。

上記 (1) ～ (7) は、研究者コミュニティにより見込まれている経費を取りまとめたものであるが、これに加えて、3. で述べるコストのリスク要因や技術上の課題等による追加的な経費が発生するリスクに十分な留意が必要である。

3. コストのリスク要因や技術上の課題

前回報告においては、「建設開始までには準備期間 (4 年程度) を設け、技術的課題の解決及び必要な人材を養成することが必要であること」を前提として、諸課題を指摘した。

これを受けて、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) は準備期間における技術課題、

⁶ エネルギーサービス事業。施設が必要とする電力等のエネルギーについて、施設整備及びその後の運転管理を外部委託する事業。初期導入費用の低減、所要経費の平準化を図ることができる。

⁷ 「(4) 年間運転経費」×運転年数の額 (PIP では 20 年以上の運転が想定されている)。

⁸ 「プロジェクト実施計画 (Revised ILC Project Implementation Planning, Revision C)」(2015 年 7 月 LCB)

組織・体制、人材及びその育成プラン策定のベースとなる KEK-ILC アクションプラン（2016年1月）を策定し、同プランに基づき、本準備期間⁹（4年程度）に本格的な精査、技術実証を進めることとされており、そのために必要となる準備経費（一部国際協力を含む）は233億円と見積もられている。

また、以下に示す加速器の技術、トンネル建設、地震対策などに関する諸課題は、準備期間中の実証や実地でのトンネル建設等が開始されてから、その状況を踏まえて改めて仕様等を見直し、最適化を図る必要があるものも多い。それによる当初の費用の見積りからの増加を抑えるため、これまで研究者コミュニティにおいては様々な検討がなされ、また本作業部会においても議論が深められてきたところであるが、その性格上事前に具体的に算定することは難しい。そのため、以下においてはそれらにより見込まれる費用を基本的に明示せず記述しているが、状況によっては大きな費用の増加につながる可能性も否定できないことに留意が必要である。

（1）前回報告で指摘した課題への対応状況及び追加の指摘事項

前回報告で指摘した課題のうち、幾つかの課題では検討が進捗しているものの、多くの課題については、引き続き本準備期間に本格的な検討を行うとされている。今回の本作業部会で聴取した主な対応状況及びそれらに関連する新たな指摘事項は以下のとおり。

①コスト面でのリスクに関する課題

○ 超伝導加速空洞のコスト削減に向けて、日米共同研究により「低コスト・ニオブ材料の活用による超伝導高周波空洞材料の低価格化」¹⁰及び「低損失・高電界実現のための超伝導高周波空洞の表面処理」¹¹のコスト削減 R&D を進めている。

○ 前回報告で指摘した大量の高純度・高品位のニオブの必要性については、今回の見直しで加速空洞が1万8,000台から9,000台に変更されたことに加え、コスト削減 R&D によりニオブ材料をインゴットから直接スライスする工法を検討しており、これにより生産効率が向上した場合には、ILC で必要とする品質及び調達規模に見通しが得られる可能性が高まる。

○ 前回報告で指摘した見積りから漏れている項目のリストアップについては、「2.

⁹ KEK-ILC アクションプランでは「予備準備期間」、「本準備期間」、「本建設期間」の3つの段階を想定しており、「本準備期間」は ILC 準備のための相当額の予算が措置されて進める準備期間とされている。

¹⁰ 超伝導加速空洞のニオブ材料精錬過程における純度及び残留抵抗比を最適化することにより、精錬コストを低減させる。また、インゴットから空洞用ディスク材を直接スライスして、従来の鍛造、圧延、機械研磨工程を省くことにより、コスト削減に資する。これにより 250GeV ILC では1~2%の削減効果が期待できる。

¹¹ 米国フェルミ国立加速器研究所で開発された手法。超伝導加速空洞を熱処理する工程で一定圧力の窒素を導入し、加速勾配を向上させ、低損失を実現することで、空洞等の台数削減や空洞を冷却する冷凍機コストの削減に資する。これにより 250GeV ILC では2~5%の削減効果が期待できる。

(5) その他付随経費」に「具体的な経費が算定されていないもの」として、新たに建設廃棄物処理、湧水処理設備、電力引込みや受変電設備のES事業化、低圧電源設備の経費を追加した。

- 前回報告で指摘した不測の事態発生やコスト増への対応策については、LCBがまとめたPIPにおいて想定されているコンティンジェンシー(予期せぬ出費のための予備費:プロジェクト経費(本体及び測定器建設経費+運転経費)の約10%)を2.(6)に追加した。
- また、実験終了後の解体経費についても、今回新たに2.(7)に追加した。KEKによる検討では、年間運転経費の2年分程度と見積もられているが、今後さらに精度を高めるとともに、見積りを超過した場合も含め、この費用の国際分担の在り方についても検討すべきである。
- さらに、長期にわたる大型プロジェクトであるため、人材の高齢化に対するリスクや、関連する企業の事業撤退のリスク、これらに伴うコストアップについても留意が必要である。

②技術面での実現可能性に関する課題

- 前回報告以降、2017年9月からILGの10分の1規模の欧州X線自由電子レーザー(E-XFEL)がユーザー運転を開始したことにより、ILGが求める超伝導加速技術は技術的成立性が見通しが向上したが、一方で、コストがE-XFELのTDRでの計画に対し、完成時の本体建設費(準備及びコミッショニングは除く)は約10%増加している。コストアップの要因を検証し、本準備期間でのILGのコスト精査に反映させるべきである。
- 前回報告で指摘した性能実証が不十分な構成機器であるビームダンプや陽電子源、電子源、ビーム制御、ダンピングリングの入出射システム等については、いまだ課題が多い。
- 特に、ビームダンプについては、衝突エネルギーが500GeVから250GeVになったことで、設計の尤度は増加したものの、ハイパワーのビームを定常的かつ高い信頼性をもって受け続けられる窓の耐久性や窓の定期的な交換作業技術、耐震性能等を含め、本準備期間においてダンプシステムとして技術を完成させる必要がある。
- また、陽電子源で想定されているヘリカルアンジュレータ方式では、アンジュレータから放射されたガンマ線を照射して陽電子を生成するターゲットの熱負荷対策や、不具合の生じた放射化しているターゲットの交換方式などがまだ開発途上の技術で

あり、開発コストも含めて技術の選択を行うべきである。

- ILC は、巨大かつ複雑な加速器システムであり、長期間の安定な運転に耐えうる性能が求められていることを踏まえ、本準備期間において技術実証のめどをつけることが肝要である。

③建設・運転・マネジメントにおける人材確保に関する課題

人材確保に関する課題については、前回報告以降、本作業部会とは別に専門の作業部会を設置して更に検討を深め、国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議において、平成 28 年 7 月に「人材の確保・育成方策の検証に関する報告書」を取りまとめている。

(2) 今回の当作業部会において特に抽出して検証した事項

前回報告で指摘された課題に対する検証に加え、今回の当作業部会においては以下の事項を抽出して検証を行った。その際、仮に国内に ILC を建設・運用する際に検討すべき法的な規制や過去の事例を参照しつつ想定される様々なリスク等について、外部委託により実施した調査分析結果も活用した^{1 2}。

①土木・建築（地下空間全般、衝突実験ホール、アクセストンネル・立坑）

- 掘削工事においては、大量の掘削残土が発生することになるため、早い段階でその有効利用を含めた処理方法や処理場所の確保をしておく必要がある。特に、掘削残土に重金属等が含まれる場合には、その処理方法等についても検討し、関連機関との事前協議を進めておく必要がある。

- 坑口部は地表部分に造ることになるため、工事中や運用中に周辺環境に与える影響は大きい。そのため、工事対象となる坑口周辺や掘削残土の捨場等において、事前の環境調査を適切に行い、法面崩壊や土砂災害の対策を行う必要がある。

- トンネルの中央遮蔽壁の厚さを 3.5m から 1.5m に縮小したことにより、加速器ビーム運転中にはメンテナンス等のために高周波電源サイドに立ち入ることはできなくなったため、運営上の支障にならない工夫が必要である。

②放射線防護

- トンネル周辺の土壌や地下水に、ビームラインからの放射化の影響を与えないために、ビーム損失は小さいという前提でトンネル壁は厚さ 30cm のコンクリートで覆うことでよいとしているが、この場合には、ビーム損失が前提を超えないように加速器

^{1 2} 「国際リニアコライダー（ILC）計画に関する規制・リスク等調査分析」（平成 30 年 2 月 株式会社野村総合研究所）

機器や制御システムの信頼性をあげること、信頼性の高いビーム損失モニタを装備するなどの配慮が重要である。

- 現時点では、実験終了時の施設の取扱いについての検討が深まっていないが、今後、ビームダンプをはじめとする放射化された実験装置や空洞等について、実験終了後も含めた長期にわたる維持管理方法の検討が必要である。その際、廃棄物の処理を含め、より科学的な説明に努め、地域住民の理解を得ることが必要である。

③地震対策

- 地下構造物の耐震設計に関して、明確に規定されている法・規制等は存在しない。しかし、衝突実験ホールとその周辺は、一般見学者も出入りする可能性があることから、地上建築構造物に適用されている建築基準法等に即した耐震設計が求められる可能性がある。また、適用されない場合においても、管轄自治体との協議結果によっては、同様な耐震に関する基準類が準用される可能性があることに留意が必要である。
- 他方、施設設備については、土木学会により示されたガイドライン¹³を踏まえた耐震性能の確保を基本方針として位置付けている。また、近年の大規模地震によるトンネルの損傷事例も鑑み、覆工コンクリートの損傷・剝落などを防止する観点から、耐震補強の導入を想定しており、これらの対策を確実に行うことが重要である。
- ILC 施設はトンネル全長が長大であるため、個々の施設・設備が設置される地盤は均質堅固な岩盤とは限らず、部分的に断層・弱層等に近接する場合や、地震で湧水量が急増する可能性なども否定できないため、現地の詳細な調査・試験を行い、その結果を踏まえた地下構造物の設計を行う必要がある。
- 特にメインライナックトンネルにおいては、全長にわたり所要の性能レベルの地震時安定性が確保されるとともに、排水、給排気、照明、通行、通信等の基本的機能が常に維持されるよう設計を行う必要がある。
- いまだ耐震性能の具体的な検討に至っていない一部の施設設備については、詳細な検討が必要である。

④湧水対策

- 空洞掘削時に遭遇する地山状況は事前の調査では把握しきれないことも多い。このため、施工中に岩盤剝落や大量湧水などの変状現象に遭遇した場合は、建設工事の費用や工期に大きく影響するリスクがある。

¹³ 「国際リニアコライダー施設（ILC）の土木工事に関するガイドライン」（2014年3月 土木学会 岩盤力学委員会 国際リニアコライダー施設（ILC）の土木工事に関する標準示方書策定小委員会）

- 特に、湧水に重金属等が混じっている場合には、そのまま流すことはできないので、当該区間を特定して他の湧水とは分離し、個別に処理する設備及びコストがかかることに留意が必要である。
- 現在の見積りは、地下水が一様に染み出す前提での設計に基づいているが、花こう岩地盤における地下水の流れ方は一様ではなく、局所に偏在しているため、水量が局所的に増える可能性がある。それに対応するために新たな処理システムと設置工事費が必要となるリスクがある。

⑤環境影響

- ILC 施設は、大部分が地下空間に設置されるため、地上施設に比べて、環境影響評価法に規定されている環境アセスメントの適用範囲が狭くなる可能性がある。他方で、ILC 施設は、建設や運用面で環境に与える影響が大きいことから、法令を遵守するだけでなく、十分な環境アセスメントの実施や社会への説明責任を果たすことが重要である。
- ILC 施設の立地は、近傍に活断層がない固い花崗岩が続いていることを条件として検討されている。しかし、地下空間の建設に伴い、周辺の地下水が集まることもあり、地質条件次第では、広範囲にわたって地下水位が低下する現象が生じる可能性がある。このため、建設工事前後や途中段階において、植生や生態系、小川・沢等の水量などを入念に調査して、工事の影響を把握することも必要である。
- 環境アセスメントは通常 3～5 年程度は必要であるが、想定していなかった問題に遭遇することも多々あるため、さらに長い期間を要する可能性にも留意する必要がある。

本部署で聴取したILC計画の見積りの概要 (500GeV ILC / 250GeV ILC比較表)

別紙

項目	250GeV ILC (見直し後)	
	Option A (ヒッグスファクトリーとしての250GeV ILC)	Option A' (左記にコスト削減R & Dの効果を最大限見込んだもの)
500GeV ILC (当初計画)	本部署で聴取した見積り額	

(※) (1) ~ (7) は、研究者コミュニティにより見込まれている経費を取りまとめたものであるが、これに対して、本部署における検証の結果、報告書において、「コストのリスク要因や技術上の課題」を指摘しており、今後、追加的な経費が発生するリスクに十分な留意が必要である。

本体及び測定器建設経費	(1) 本体建設費 (2) 測定器関係経費	1兆912億円	7,355~8,033億円	7,853億円~8,033億円	7,355億円~7,535億円
(3) 不定性相当経費及び上記(※)の「コストのリスク要因や技術上の課題」による追加的な経費が発生する可能性あり					
(1) 本体建設費 (TDR記載項目) 【見直し】	9,907億円	6,350~7,028億円	6,848億円~7,028億円	6,350億円~6,530億円	
土木建築	8,309億円	1,600億円	1,110~1,290億円	1,110億円~1,290億円	
加速器本体		6,709億円	4,042~4,540億円	4,042億円	
労務費	1,598億円	1,198億円	1,198億円	1,198億円	
(2) 測定器関係経費 (TDR記載項目) 【変更なし】	1,005億円	1,005億円	1,005億円	1,005億円	
測定器本体	766億円	766億円	766億円	766億円	
労務費	239億円	239億円	239億円	239億円	
(3) 不定性相当経費 (TDR記載項目) 【変更なし】	(1)+(2)の約25%	(1)+(2)の約25%	(1)+(2)の約25%	(1)+(2)の約25%	
	* 不定性：コスト見積りの精度に關するもののみを指し、技術リスク、工事期間の延長リスク、市場リスク等に伴うコスト増加分は含まれない。				

(4) 年間運転経費 (TDR記載項目) 【見直し】	491億円	366~392億円	392億円	366億円
光熱水料、保守	390億円	290~316億円	316億円	290億円
労務費	101億円	76億円	76億円	76億円
(5) その他付随経費 (TDR未記載項目)				
準備経費 (設計費用のほか、研究開発、環境調査、人材養成、技術移転、管理・事務の関連経費(労務費含む)等) 具体的に算定されていないものの計上が必要となる経費 土地取得経費、海外研究者の生活環境の整備、アクセス 道路、ライフライン等のインフラ、計算機センター等	算定なし	【新たに算定】 233億円	233億円	233億円
	算定なし	算定なし	算定なし	算定なし
		【新たに追加】 建設廃棄物処理、湧水処理設備、電力引き込みや受変電設備のE S事業化、低圧電源設備		
		(6) コンテナエンジニア プロジェクト経費(本体及び測定器建設経費 + 運転経費*)の約10% (PIP記載項目)		
		【新たに追加】 予期せぬ出費のための予備費。 * 年間運転経費 × 運転年数の額。		
		(7) 実験終了後の解体経費 年間運転経費の2年分程度		
		【新たに追加】 加速器機器は再利用を前提とし、地上に原管井建物確保、又は新たに整備し、再利用の可能性を保持		

国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議
技術設計報告書 (TDR) 検証作業部会報告 (前回報告)

当作業部会は、国際リニアコライダー (ILC) 計画の技術設計報告書 (TDR) におけるコストの算出方法や技術的成立性などについて検証を行い、その課題を抽出するため、平成 26 年 5 月以降、6 回に渡り議論を行った。この議論においては、TDR が現時点における参加極で見積られたコストを取りまとめて作成されたものであること、また、人材の確保は予測で組み立てられていること等を前提としている。これらの議論の結果について、主要事項を以下に示す。

1. 本部会で聴取した ILC 計画の見積りの概要

(前提条件)

仮想通貨「ILCU」を置いて設定。ILCU は 2012 年 1 月現在の購買力平価を基に、1ILCU = 1 米ドルを基準としている。

国際入札を考慮して「1 ユーロ = 115 円、1 ドル = 100 円」を仮定して日本円へ換算した金額は以下の通り。

また、労務費は TDR 上では人時で換算されているものを金額へ換算している。

(1) 本体建設費 9,907 億円 (TDR 記載項目)

(内訳)

土木建築	1,600 億円 (工事費)	}	8,309 億円
加速器本体	6,709 億円 (超伝導加速空洞・設備費等)		
労務費	1,598 億円 (=22,892 千人時 (TDR では金額換算はされていない))		

(2) 測定器関係経費 1,005 億円 (TDR 記載項目)

(内訳)

測定器本体	766 億円
労務費	239 億円 (=3,651 千人時 (TDR では金額換算はされていない))

(3) その他付随経費 (TDR 未記載項目)

- ・ 準備経費 (設計費用のほか、人材養成・技術移転関連経費等)
- ・ 土地取得経費
- ・ 上記の他、海外研究者の生活環境の整備、アクセス道路、ライフライン等のインフラ、計算機センター等の経費

(4) 不定性相当経費 建設経費の約 25% (TDR 記載項目)

不定性：コスト見積りの精度に関するもののみを指し、技術リスク、工事期間の延長リスク、市場リスク等に伴うコスト増加分は含まれない。

- (5) 年間運転経費 491 億円 (TDR 記載項目)
(内訳)
光熱水料、保守 390 億円
労務費 101 億円 (=850 人/年 (TDR では金額換算はされていない))

なお、実験終了後の解体経費に関しては、現時点で算定されていない。

(参考)

TDR に記載された性能をアップグレードした場合の追加コストは以下のとおり。

- ・シナリオ A (500GeV (GeV=10 億電子ボルト¹) のエネルギーは変えず高輝度化) 590 億円
- ・シナリオ B (1TeV (TeV=1 兆電子ボルト) へエネルギー増強：現行の技術) 7,543 億円
- ・シナリオ C (1TeV へエネルギー増強：技術的進歩のある場合) 6,148 億円

- ◆TDR のコスト見積りでは、加速空洞や高周波加速装置などの大量調達が必要なコンポーネントに関する性能保証について、製作を請け負った企業ではなく、発注者である中核研究所がその責任を負うという「構造仕様」による発注を前提としている。これは、一般に、品質保証について、受注者側が責任を負う「性能仕様」による場合に比して、見積額が抑えられる。そのため、準備段階から発注者側に優れた技術者・研究者を確保・育成する取り組みが不可欠となる。

2. 技術設計報告書上のコストのリスク要因や技術上の課題

ILC 計画の検討に際しての前提は以下のとおり (TDR 及び本部会でのヒアリングによる)

- ① 国際協力によるコストシェアリングを行うこと
- ② 建設開始までには準備期間 (4 年程度) を設け、技術的課題の解決及び必要な人材を養成することが必要であること

この前提を踏まえ、本作業部会においてこれまでに指摘されたコスト面でのリスク要因や技術上の主な課題は以下の通り。

(1) コスト面でのリスクに関する課題

- ① 豊富な実績を有する海外企業の見積りが多く採用されるなど、現時点での最適な状況を選択した見積りとなっており、国内企業での調達を考慮した場合、実際にかかる費用が TDR の見積りを超過する恐れがあるなど、結果として見積りに余裕が少ないことに留意が必要。

¹ 電子ボルト (eV) : エネルギーの単位。電子ひとつが1ボルトの電圧で加速されたときに得るエネルギーの量。1eV=1.6×10⁻¹⁹J

- ② 本計画では大量の加速空洞が必要である。加速空洞の製作には、高純度・高品位のニオブが必要となるが、その供給元が限られること、及び、目標加速勾配が達成できない場合には大きなコストアップにつながるおそれがあり、留意が必要。超伝導加速空洞・クライオモジュールの一式のコスト予想では、欧州 X 線自由電子レーザー (XFEL) の実績製作コストと比較して 72% と低く見積もられているが、今後、各地域での状況を踏まえつつ、量産化に伴うさらなる製作コストの低減、システム技術の検証が必要。
- ③ TDR の見積りの前提とは異なって、参加国がそれぞれ自国で構成品等の製作を分担する場合のコスト増（複数メーカーに製作が分散される）を考慮すべきである。また、海外メーカーから調達した機器に関するメンテナンス保守を我が国で実施できない場合、保守費用が増大するおそれがあり、留意が必要。
- ④ トンネル工事等、建設前の地盤等を含めた立地条件に関する調査やトンネルへの環境水の流入などインフラ工事における不測の事態発生リスク検討、対応策、現在の見積りから漏れている項目、および想定外項目のリストアップとコスト増への対応策の検討が必要。
- ⑤ 国際的な枠組みを構築する上では、その枠組みに応じた事務管理コストが必要となってくる。特に新たな国際研究機関を設置する場合、研究機関で技術者等の人材の雇用を行う（海外の研究機関の多くは建設に関する人材の多くを機関が雇用）等により、追加の費用が必要となるため、実際に必要な人件費が TDR で試算された人件費（全体建設コストの 1/5）を超過するおそれがあり、留意が必要。

(2) 技術面での実現可能性に関する課題

- ① TDR で示された、過去の実績値における性能が実機量産品でも達成されるという前提での設計となっており、設計に尤度が少ない。また、輸送時には衝撃や温度変化による性能劣化及び輸送手段の事故等による不測の損害の発生が問題となるので、製作個数に余裕が欲しい。建設開始までの準備期間で、目標性能を安定に実現させること（歩留りの改善を含めて）、製造技術の確立、メーカーへの製造技術移転及び量産体制の確保の他、日本における技術蓄積等が重要。
- ② 小規模なシステムでの技術蓄積実績があったとしても、スケールの異なる大規模システムを検討する際は技術面、コスト面での不確実性が大きくなることから、ILC につながる技術を駆使して実施される XFEL の進捗状況及び蓄積された実績を踏まえた技術的成立性に関する見通しが重要。

- ③ 建設を分担する複数の拠点間の品質保証等の協調方策の検討。特に国際的に統一した品質管理など、複数の拠点で分散して同じ品質のコンポーネントを製作するための性能再現化技術の確立について見通しを得ることが必要。一般に、異なる機関で製作された部品を組み上げて一つの構成品に組み上げる際には取り合いでの課題が増加するため、各国が部品製作を分担する場合は、システムとして組み上げる際の整合性などに関する技術的検証が必要。
- ④ 運転の信頼性確保や要求性能の定常的維持の観点から、性能実証が不十分な構成機器、例えば、ビームダンプや電子源、陽電子源などが見受けられる。これらの構成機器に関し、所期の目標性能を明確化すると共に、目標達成に向けた現実的な研究開発・性能実証の工程表を策定することが必要。

(3) 建設・運転・マネジメントにおける人材確保に関する課題

- ① 建設時に必要となる技術者の確保方策について見通しを得ることが必要。特に大規模な精密機器の製造では、製作や搬入された個々の部品に多少の不具合があったとしても、中核研究所において適切に対応して所定の性能を有する装置に組み上げることができる高いレベルの技術力を有した人材を多数確保することが必要。
- ② 短期間での要素機器製作プロセスの大規模化に伴う人的・技術的課題の検証が必要。具体的には、加速空洞等の構成品の大量製造に対応可能な多くの人材を確保する見通し(約1万6千個の加速空洞を6~7年で組立てることが必要)、及び建設監督を行う日本の研究者の確保及び育成方策に関する見通しを得ることが必要。
- ③ 調達やシステム組み上げ時に必要な体制が確立できるかについて、十分に明確な見通しが必要。特に各極分担で加速器を製作する際に、中核となる研究所の役割が重要になる。技術開発などの準備段階においても、事務的な協力体制を構築することが必要。
- ④ ILC を加速器システムとして熟知し、実現に向けた研究開発を的確に推進できるプロジェクトリーダーを置くことが必要。国際研究機関の少ない我が国において、国際機関の組織構成や、マネジメント人材をどのように確保するのかの検証が必要。国際機関の組織の在り方を踏まえたマネジメントを行う人材の登用の仕組みについて検討が必要。

3. 実施の可否判断における留意点

(1) 国際協力のあり方

- ① In Kind による貢献の際、ホスト国の企業が受注できない場合の対応について、検討が必要。
- ② 国際協力の在り方としては、安全面での法規をはじめ、調達の際に遵守する法令や関税の取扱いをホスト国に合わせることにについてあらかじめ合意することが必要。その際、条約による法的枠組みを構築するか、機関間の協定による枠組みを構築するか、さらには国際研究機関を設置するかで必要となる組織が大きく異なることに留意が必要。

(2) その他

- ① 我が国においては他の学術分野への影響を最小限に抑える観点から我が国の負担額には限度があることに留意すべき。ことに、巨額の経費が必要な長期計画であることに鑑み、現在試算されている総コストがさらに膨らんだ場合の対応に関する枠組みの検討が必要。
- ② 国際的なコミュニティから協力が得られるか、また、ILC を重要課題として積極的に取り組んでいるかに関する各国の動向を見定めることが必要。
- ③ 加速器性能の高度化につながる技術開発の成果を最大限取り入れる努力を継続し、全体システムの合理化を図るとともに、機器の信頼性、安定性を高めることが肝要。

(3) 人材の確保・育成方策の検証

人材の確保・育成方策の検証

有識者会議においては、人材の確保・育成方策を検証するため、人材の確保・育成方策検証作業部会を設置した。当作業部会は、国際リニアコライダー（ILC）計画の建設及び運転等に必要となる人材の確保・育成方策について検証し、同計画における課題を具体的に検証するためこれまでの大型加速器等に係る人材確保や国内外の状況等について、平成 27 年 11 月以降、6 回に渡り議論を行った。

有識者会議においては、当作業部会からの報告を踏まえ、平成 28 年 7 月に報告を取りまとめた。その後、平成 29 年 11 月に ILC 計画の見直しが行われた。本内容は、上記報告をもとに有識者会議において見直しに伴う更新を行い、改めて取りまとめたものである。

1. 人材の確保・育成方策検証作業部会で聴取した ILC 計画の人材確保・育成に関する概要

○ 国際リニアコライダー（ILC）計画の技術設計報告書（Technical Design Report、以下「TDR」という。）における加速器建設にかかる人材構想について、概要は以下のとおり。

- ・建設期間 9 年間に必要となる人材数年平均として、建設関係 830 人、据付関係 378 人[※]が必要（詳細については別紙を参照）。

※ 3～9 年次の 7 年間の平均

- ・建設関係は、主に ILC 計画の推進主体が直接雇用（直接の業務委託を含む）し、加速器及び加速要素設計、製造監督、納入された要素の性能評価、加速器全体の組立て・調整など、研究所が直接責任を負う業務のための人材を指す。据付関係は、主に加速器の構成機器を地上から地下トンネルに搬入・据付するための通常の役務作業のための人材を指す。
- ・TDR では、世界各地域の相当の規模を有する素粒子・原子核研究所が国際的に連携し、適切なバランスで分担・貢献することを前提としている。
- ・TDR 後の検討[※]では、建設開始前の準備期間を 4 年と設定し、その間に 282 人（建設期間に必要となる年平均約 830 人の約 34%）を建設段階のコアメンバーとなる人材として育成することを想定している。

※ 高エネルギー加速器研究機構が中心となり検討した「KEK-ILC アクションプラン」

（平成 28 年 1 月、平成 30 年 1 月補遺追加）

2. 大型加速器プロジェクトを巡る人材確保・育成の状況

（1）国内の状況

① 大学、研究所等

- 我が国では、これまで大型の加速器プロジェクトの建設・運営に際して必要となる人材については、職場内訓練（On the Job Training、以下「OJT」という。）によって育成されてきた経緯がある。
- 具体的には、1970年代のKEK-PS、1980年代のTRISTANなどによって、構想、設計、製造、組立て、建設、運転調整、これらに係る関係機関・関係企業との連携、それら全体をシステムとして理解し監督する人材等が育成され、その後の大型加速器プロジェクトが開始される際も経験を活かし、分野の進展を支えてきた。
- しかしながら、近年は、研究の進展に伴い計画が長期・大規模化してきているため、若手の人材が大型加速器を建設するプロジェクトに参加する機会が減少しており、OJTによる育成の機会が少なくなっている。
- また、既存施設の運用や改修、要素技術開発だけでは、大規模システムである加速器に係る全体的なマネジメントという点で研鑽を十分に積むことができず、今後、徐々に全体を俯瞰して加速器をシステムとして扱うことのできる人材が枯渇していくことも懸念される。
- さらに、大学等においては、加速器を専門とする研究室が減少してきている。素粒子・原子核実験など関連する他の分野の人材をリクルートして加速器の専門家に育て上げるというキャリアパスはあるが、加速器研究者と類似の技術分野の研究者との人事交流は余り盛んではないという状況にある。

② 企業等

- 加速器の製造には広範な要素技術が必要であり、電磁場解析、高周波技術、構造・強度解析、断熱設計、精密機械加工、表面処理技術、高 cleanliness 溶接、精密据付けなど、これだけの要素技術が要求される製品は他に余りなく、一通り経験させることで企業にとっては人材育成の良い機会となる。
- 加速器に関する製品の特質は、製品（ハードウェア）自体が研究対象になっていることであり、企業の担当者が研究者と綿密なコミュニケーションを取ることで計画通りの製品を実現できる。このような担当者を育成するためには、プロトタイプ段階から開発や試験を研究者と一緒に経験させることが重要である。
- ILC計画のような大規模なプロジェクトに対応するためには、十分な準備期間と具体的な見通しのもとに、計画的に人材を育成していく必要がある。

- 企業において、加速器に中心的に携わる人材を確保・育成するためには、具体的にいつ頃からどのような作業が開始されるかといったプロジェクトの見通しが明確になることが重要であり、企業はそれに対応して人材の確保やプロジェクト終了後の人材活用等の計画を立てる。
- 企業では、加速器だけを専門とする人材は非常に限られており、加速器プロジェクト工事の繁忙に対応して、社内の類似技術分野の部門との間で人員を融通している。
- 現在は、国内で大型加速器プロジェクトの将来的な計画が見えないため、海外の複数の加速器プロジェクトに参入することにより、国際対応力の強化と人材・技術の維持を図っている。また、人材の新規採用については、技術の伝承において断絶を起こさないように、できるだけ継続的に採用するようにしている。
- なお、加速器の場合、一般の機械製品と比較すると特殊な材料、部品が多いが、プロジェクトが進むにつれて、作業の効率化、品質管理等の工夫を行うことで量産効果を出すことができる。このため、量産が軌道に乗ると設計作業には大人数を必要としないが、一方で、想定外の品質、費用、工程上の問題が発生した場合に原因究明や対応策の立案を行うための相当数のエンジニアは必要である。

(2) 海外の状況

- 海外においても OJT により人材が育成されるが、我が国に比べると人材の流動性が高く、官民あるいは研究分野の壁を越え、人材が循環している。
- これにより、欧米においては現状必要な人材は育成・確保できているが、これから新たに国際協力で大型計画が開始される場合は、人材を確保するための見通しが必要である。
- 欧州合同原子核研究機関（European Organization for Nuclear Research、以下「CERN」という。）の正職員には任期付き（5 年任期）と任期なしの 2 種類があり、任期付き職員の内 50%以下が任期なしのコアスタッフとなり昇任していく仕組みになっている。また、大型ハドロン衝突型加速器（以下「LHC」という。）の建設の際は、CERN の研究者・技術者だけでなく外部の参加機関からも貢献してもらうスキームとしてプロジェクト・アソシエイトというシステムを導入した。

- 外部の参加機関からの出向スタッフは、事前の契約により自身の役割が終了した段階で所属機関に戻る事となる。その合意の上で CERN に出向しており、CERN ではその後の雇用等に責任はない。さらに、任期付き職員の多くは、幅広い分野から集められた技術者、応用科学者であり、高いブランド力を持つ CERN でのプロジェクトに従事した後は、他の国際機関やプロジェクト等に参加が求められるなどニーズも高く、特に問題も生じていない。

(3) ILC との関係

- ILC 計画のような大規模な国際協力プロジェクトを実施するに当たっては、相当量の人材を国内外から結集させる必要がある。このため、海外から組織的に研究者が参加するシステムの整備が不可欠となる。CERN が LHC 建設の際に導入したプロジェクト・アソシエイトという仕組みは極めて効果的に機能しており、ILC においても参考にすべきである。
- ILC 計画の建設では平均して年約 830 の人員が必要であるが、ピーク時には約 1,200 人の体制を作る必要がある。
- 現状、国内では、新たな要素技術開発や既存施設・設備の改修等を行う人材は確保できているが、ILC 計画との関連で大規模に人材が必要となった場合は、現在の育成状況では不足することが想定される。
- また、ILC 計画の建設全体において、加速器に関する技術開発が重要となるフェーズは前半であり、建設が進むにつれて開発の要素は少なくなっていく。必要となる人材については、建設のフェーズに応じて変化することに留意が必要である。
- 今後、我が国として加速器プロジェクトを継続して遂行していくためには、持続的に人材を育成・確保していくことが必要であり、ILC 計画の実施の可否によらず、加速器分野の人的基盤の強化が必要である。
- また、ILC 計画のような国際協力プロジェクトを実施するに当たっては、少人数の加速器の専門家が役割を分担しつつ相互に助け合いながら進めるという我が国の従来のなやり方だけでなく、各技術分野に高い専門性を持つ技術者をプロジェクトの実施に際して適材適所で動員・配置し全体を統括する海外の手法をも取り込み、両者が融合したような新たな手法も検討する必要がある。
- 加えて、プロジェクトの大規模化に伴ってより複雑なマネジメントが求められることが想定されるため、技術開発やエンジニアリング、全体システムとしての工程管理など、複層

的にマネジメントを行えるような体制を構築することが必要と考えられる。したがって、複層化するマネジメントのそれぞれの階層に応じて中核となる人材を育成していくことにも留意すべきである。

3. 今後の課題と当面の対応方策

(1) 国内での人材育成

- ILC 計画のような大規模なプロジェクトを実施するに当たっては、現状の国内の人員では明らかに質・量ともに不足する。国際的な合意に基づく適切な分担を定めた上で、戦略的・計画的に必要な人材を育成していくことが不可欠となる。
- 特に、我が国が主導的な役割を果たす場合は、大規模プロジェクトのマネジメントができる人材の育成・確保が必要である。この際、LHC の建設・運用時における事例も参照しつつ、リスク要因を抽出・分析し必要な対応方策を検討・実施するリスクマネジメントの観点も重要となるものと考えられる。
- また、加速器分野の人材の必要量は ILC 計画のような大規模計画により一時的には増えても、増員分の一部は恒常的なものではないので、計画終了後を想定し、育成した人材のキャリアパス（国内の展開のみならず、海外での活躍も含む。）をあらかじめ考えておくことが求められる。
- その際、加速器というシステム全体を俯瞰して見られる加速器の専門家を着実に育成・確保するとともに、各技術分野で高い専門性を有する技術者をプロジェクトに動員することにより、必要な人材量の変動に柔軟に対応できるような体制を整えることが望ましい。
- 例えば、現在でも既存施設の改修や機器の大規模なアップグレードなどは行われており、そのような機会を捉え、現場経験を踏めるよう積極的に若手人材を投入し、育成することが考えられる。
- また、新たな加速器の建設計画が実現する場合には、国を挙げて若手人材の育成の場としても活用すべきである。その際には、システム全体を統括するようなポストに若手を登用し、マネジメントについても経験させ、リーダーとしてプロジェクトを牽引していくような人材を育成することも重要である。

- 加えて、規模の大小を問わず、国内の加速器施設間の連携を促進するネットワークを構築することで加速器分野の人材の交流を活性化し、どこかで加速器の建設が行われるときに、そのネットワークから人材を集中的に投入し、多くの人に建設の経験を積ませることができるようにする仕組みの導入を図ることも考えられる。例えば、次に加速器関連のプロジェクトが動き出す際、従来の併任や兼任に加え、クロスアポイントメントなどの雇用形態も活用し、プロジェクトの推進主体である組織にも正式に所属する形で責任を持ってプロジェクトに関与できるような体制を構築するなどの方策が考えられる。
- 人材育成に当たっては、海外における加速器施設の建設・改修の際に、上記のネットワークも生かしつつ積極的に若手人材を派遣し、その場を活用して経験を積ませることも検討すべきである。
- このほか、システムとしての加速器に必要とされる各技術分野の技術者との交流を積極的に進め、少数の加速器の専門家だけがプロジェクトを担う体制から関係する技術分野の多様な技術者も加わってシステム全体を支える体制へと、人材の裾野を広げていくことも重要である。また、過去に大型加速器プロジェクトを中心となって進めてきたシニア世代にもできるだけ現場に入り活躍してもらおうとともに、その共同作業を通じてこれからを担う若い世代に経験や技術が伝承されることが期待される。
- なお、ILC計画のような個別のプロジェクトに対応するための準備としての人材育成については、具体的なスケジュールが明らかになった時点でいつまでにどれだけといった目標を設定することとなる。一方で、我が国が将来にわたって持続的に加速器プロジェクトを推進していくために必要な人的基盤の整備としての人材育成の取組については、取り組み可能なものから順次取り組んでいくことが望ましい。

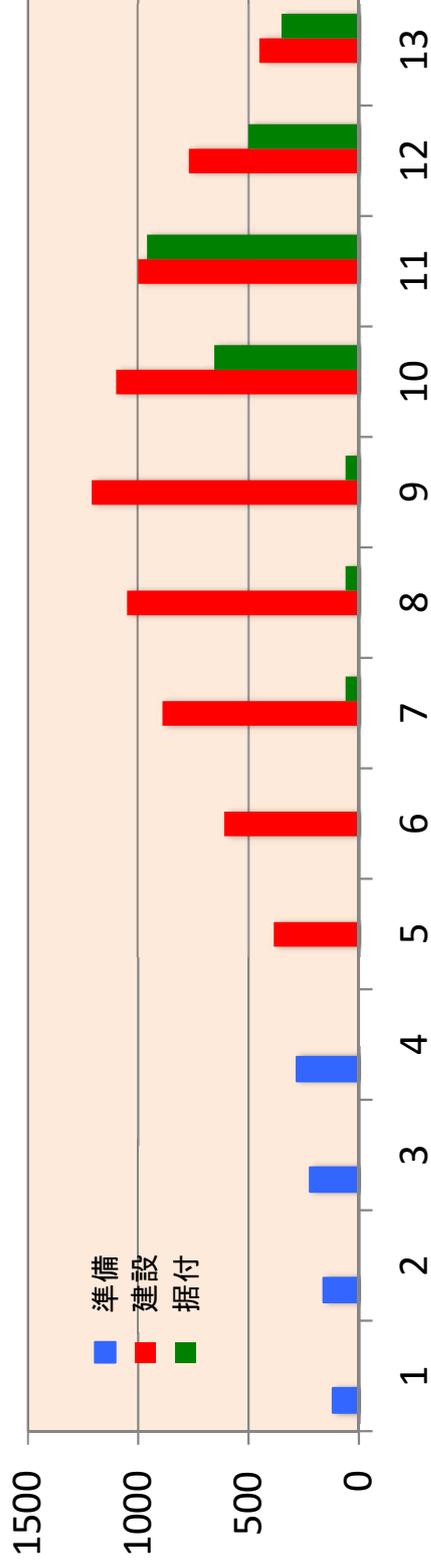
(2) 海外からの人材供給

- ILC計画に必要な人材については、国際協力における相互の分担について海外パートナーと綿密に調整を図ることが前提となる。海外からの供給量については、実行可能な計画となるよう先方からの供給可能量や供給可能時期を踏まえた上での調整が重要である。
- 加えて、海外の研究者・技術者が参画することを想定すると、海外研究機関における給与や勤務条件等（特に、給与・処遇面での格差）の調整のみならず、住環境、各種の生活サポート、家族への生活支援等を含めて、地元地域の協力も得つつ総合的に環境を整備していくことが重要であり、そのための検討が必要である。

ILC 加速器建設に必要な人材見積り

準備期間(4年)～建設期間(9年) ILC-500 → ILC-250

Stage	準備期間				建設期間									積算 [人年]
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
準備	118	161	222	282										
TDR					TDR, ILC-500 建設期平均: ~ 1,100人									
建設					410	922	1208	1350	1589	1480	1374	1106	679	10,118
据付							80	80	80	768	1140	683	522	3,353
合計					410	922	1288	1430	1669	2248	2514	1789	1201	13,471
ILC-250					ILC-250: 建設期平均: ~ 830人									
建設					385	610	890	1050	1210	1100	1000	770	450	7,465
据付							60	60	60	655	960	500	350	2,645
合計					385	610	950	1110	1270	1755	1960	1270	800	10,110



(4) 体制及びマネジメントの在り方の検証

体制及びマネジメントの在り方の検証

有識者会議においては、体制及びマネジメントの在り方を検証するため、体制及びマネジメントの在り方検証作業部会を設置した。当作業部会は、ILC 計画において、研究者コミュニティが想定している国際研究機関に係る体制及びマネジメント、並びに周辺環境整備について検証を行い、併せて仮に国際研究機関を日本に設置する場合の国内における実施体制の在り方について検討を行うため、平成 29 年 3 月以降、計 6 回にわたり議論を行った。

有識者会議においては、当作業部会からの報告を踏まえ、平成 29 年 7 月に報告を取りまとめた。その後、平成 29 年 11 月に ILC 計画の見直しが行われた。本内容は、上記報告をもとに有識者会議において見直しに伴う更新を行い、改めて取りまとめたものである。

1. 体制及びマネジメントの在り方検証作業部会で聴取したこれまでの研究者コミュニティにおける検討の概要

(1) 国際研究機関に係る体制及びマネジメント

ILC 計画における国際研究機関に係る体制及びマネジメントに関しては、ILC に関する国際的な研究者組織 (P103 参照) の一つであるリニアコライダー国際推進委員会 (Linear Collider Board。以下「LCB」という。) により、以下の報告がまとめられている。

- 「プロジェクト実施計画 (Revised ILC Project Implementation Planning, Revision C)」(2015 年 7 月 LCB。以下「PIP」という。)

特に、プロジェクトを開始する前の準備段階における対応については、PIP に加えて、以下の報告がまとめられている。

- 「プロジェクトデザインガイドライン (Project Design Guideline toward ILC)」(2012 年 9 月 ILCSC[※]。以下「PDG」という。)

※The International Linear Collider Steering Committee、LCB の前身

- 「KEK-ILC アクションプラン」(2016 年 1 月 高エネルギー加速器研究機構 (以下「KEK」という。))

これらの報告において想定されている ILC 計画の全体スケジュール及び計画の各段階における体制及びマネジメントの概要は以下のとおり。

【全体スケジュール】

各国政府了解の下、研究機関間の合意 (MOU[※]等) に基づき多国籍の①プレ研究所 (Pre-Lab) を設立し、最終的な工学設計や参加国間の役割分担等に係る検討を 4 年間実施。その後、条約に基づく国際研究機関である②ILC 研究所 (ILC Laboratory) に移行し、9 年程度の建設期間^{※※}を経て、③国際共同実験グループによる実験を開始し、20 年以上運転する。

※ MOU : Memorandum of Understanding、覚書

※※PIP では、建設期間を約 8 年と記述しているが、正確には、国際設計チーム (Global Design Effort: GDE) が

作成した技術設計報告書（Technical Design Report。以下「TDR」という。）において、トンネルへの組込み・調整を含む建設期間を9年間、その後の試運転を1年間行い、物理実験データ取得開始は11年目からを想定している。

① プレ研究所（Pre-Lab）

○ PDG においては、ILC 準備組織の体制及びマネジメントについて、法的基盤、雇用形態、物資調達方法の観点から5つのモデル（M1～M5）が検討され、多くの詳細な課題を解決する必要はあるものの、研究機関間の合意に基づく M4 の枠組みで開始したのち、条約に基づく多国籍研究所（M3 または M5）へ発展させることが想定されている。

M1：条約に基づく組織＋資金拠出（In Cash）による物資・人材確保（CERN[※]様モデル）

※CERN：European Organization for Nuclear Research、欧州合同原子核研究機関

M2：有限責任会社＋資金拠出（In Cash）と現物拠出（In Kind）[※]による物資・人材確保（European XFEL^{※※}様モデル）

※ 現物拠出（In Kind）には物品提供だけではなく、役務提供も含む。

※※European XFEL：European X-ray Free Electron Laser、ドイツにあるX線自由電子レーザー施設

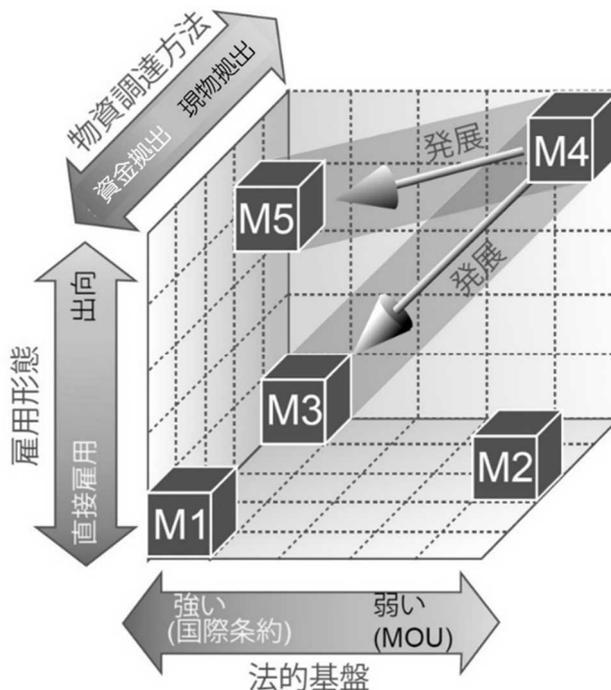
M3：条約に基づく組織＋現物拠出（In Kind）による物資確保＋中心組織は直接雇用（ITER[※]様モデル）

※ITER：国際熱核融合実験炉計画

M4：研究機関の合意（MOU等）に基づく組織＋現物拠出（In Kind）による物資確保＋中心組織は参加研究機関からの出向（多国籍研究所モデル）

M5：M4から、法的根拠を発展させた条約に基づく多国籍研究所モデル

図表：ILC 組織運営の移行概念



（出典）PDG

○ 仮に ILC のホスト国を日本が担う場合、KEK-ILC アクションプランにおいては、ILC 準備組織であるプレ研究所は、研究機関間の合意（MOU 等）に基づく多国籍研究所として設立され、その本部を KEK に置き、最終的な工学設計や参加国間の役割分担等に係る検討を 4 年間実施することが想定されている。

○ さらに、同アクションプランにおいては、プレ研究所は 200 人規模で、そのうち 20～40%は外国からの貢献が期待されており、超伝導加速空洞の量産技術の実証及び計画統括、品質管理、性能評価等の機能強化のための人材を養成することが必要とされている。

② ILC 研究所（ILC Laboratory）

○ PIP においては、ILC 研究所（830 人規模[※]）に係る体制及びマネジメントについて、以下のとおり想定されている。

[※]TDR に ILC の建設期間に必要となる人数が記載されており、その年平均は約 830 人。

【法的位置づけ】

- ・国レベルで条約を締結し、付加価値税や関税が課せられない等の特権、ホスト国の明確な権利と義務、廃止措置までの手順と責任等を明記する。
- ・条約に基づき、参加国は契約期間を建設 9 年程度、運転 20 年以上とし、10 年間は脱退を禁止する。11 年目以降に脱退する場合も 2 年前の通告を必要とする。

【トップ（執行部）マネジメント】

- ・理事会（Council）は、最終意思決定機関であり、参加国の代表者は各 2 名で多数決が基本であるが、財務案件には、貢献規模等に応じた投票権が設定される。また、委員には、所属政府から適時の判断を可能とする十分な地位が付与される。
- ・所長（Director General）は、理事会によって公募・選考され、重要な権限を付託されるとともに組織全体の経営責任を有する。
- ・経営陣（Directorate）は、理事会によって選考され、所長の下で財務と管理を執行する。

【プロジェクトマネジメント】

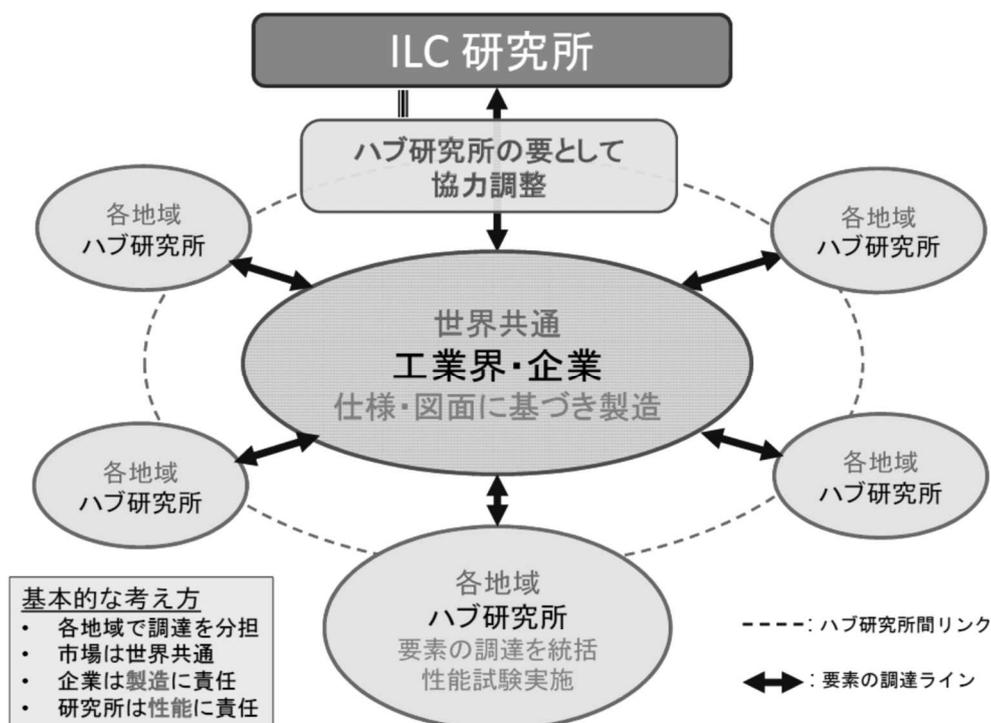
- ・中央プロジェクトチーム（Central Project Team）は、サイトを踏まえた設備配置を含む設計に責任を有し、参加国により現物拠出（In Kind）される機器の仕様を決定する。

- ・参加国は、割り当てられた現物拠出（In Kind）による貢献に係るコスト全体及び合意された納入スケジュールに責任を有する。

【加速器の製造体制】

- ・現物拠出（In Kind）による国際協力による分担が想定される加速器システム・要素の製造は、各地域においてハブ研究所（Hub Laboratory）が統括し、国際競争入札による企業との契約に基づき実施する。
- ・国際競争入札に応募して落札した企業は、契約において示された基本構造仕様及び図面に基づく製造（Build-to-Print）に責任を有し、工業生産における国際的に標準化された完成検査基準に合格することを納入条件とする。
- ・ハブ研究所（または研究共同体）は、総合性能試験を実施し、電場勾配や共振特性等の主要な性能達成に責任を持つ。
- ・ハブ研究所が一貫した試作及び技術検証能力を有し、基盤となる製造技術実証を行った上で企業への技術移転及び情報提供を行い、企業のリスクを低減することが重要である。
- ・ILC 研究所は、ハブ研究所間リンクの要として協力調整を行い、国際調達全体を統括する。

図表：ILC 加速器システム・要素の国際調達体制



(出典) PIP

【経費分担】

- ・土地確保、トンネルを含む土木工事及びインフラ整備はホスト国の負担を基本とし、加速器及び測定器は参加国の現物拠出 (In Kind) 貢献を基本とする。
- ・予想外の事象に対応するための予備費 (Contingency : 全プロジェクトコストの10%程度) 並びに実験ホール等の現物拠出 (In Kind) では分担できない部分及び機関の独立運営等のための共通基金 (Common Fund) は、ILC 研究所の運営 (Management) が参加国に対して資金拠出 (In Cash) による分担を要求し、管理する。
- ・上記によるホスト国負担分に加えて、超伝導高周波加速技術のような高度技術でもホスト国が相応の貢献をする場合、ホスト国の全貢献 (計画見直し前の 500GeV ILC の場合) は 50%程度※になる。

※計画見直し後の 250GeV ILC に関する LOB 声明 (2017 年 11 月) においては、ILC と近い分野の最近の同様の国際プロジェクトの例では、ホスト国が主要な費用負担を行っていることとされ、欧州 XFEL (ホスト国の負担 58%) と FAIR (ホスト国の負担 69%) が例示されている。

- ・運転経費については、分担方法として以下の3つの選択肢及びその組合せが検討されている。
 - i) 参加国の拠出に比例
 - ii) ホスト国が提供する土木建設費、土地購入費、インフラ整備等を除く参加国の拠出に比例
 - iii) 各国の博士号を持つ実験者数に比例

③ 国際共同実験グループ

- PIP においては、ILC のために設計された測定器である ILD (International Large Detector) と SiD (Silicon Detector) は2つの国際チームによって検討が進展しており、ILC 計画が承認されれば実験グループへと発展することが想定されている。
- 既存の加速器研究所では、実験の評価、監督を目的とする PAC (Program Advisory Committee) 等の委員会を組織することが一般的に実践されており、同様に ILC 研究所においても、実験の提案を評価し、その進捗状況を監督する仕組みを運営することが想定されている。
- また、実験グループへの参加は、LHC※の実験と同じく全世界のコミュニティに開放されており、加速器建設に参加しない国からの参加も可能とされている。
 - ※LHC : Large Hadron Collider、CERN の大型ハドロン衝突型加速器
- ILC の測定器グループは自主的に運営を行うこととされており、財政的支援は基本

的に各参加メンバーの資金提供機関によって行われ、ILC 研究所が直接貢献することは期待されていない（ただし、2つの測定器の共通インフラと組立・統合作業を支援するための人員提供を除く）。

（2）周辺環境の整備

ILC 計画における国際研究機関に関わる周辺環境整備については、PIP に加えて、KEK のレポートとして以下の報告がまとめられている。

- 「国際リニアコライダープロジェクト立地に関する調査検討報告書」
(2014年2月 KEK、野村総合研究所、福山コンサルタント)

これらの報告において想定されている国際研究機関に関わる周辺環境整備[※]の概要は以下のとおり。

[※]日本国内に関しては、具体的な立地場所に関わらず必要とされる周辺環境整備

① 前提となる人口規模

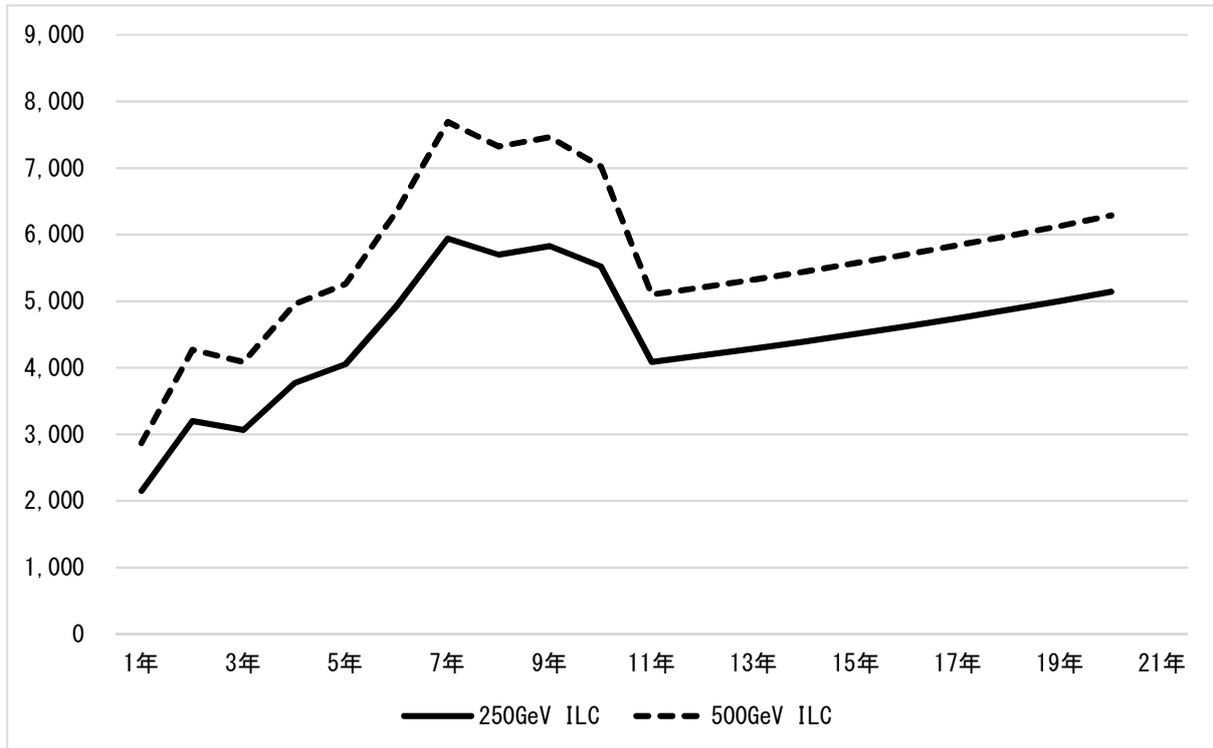
- PIPにおいては、研究者、ILC 研究所職員及びその家族を含む人口は、概ね1万人規模（小さな町）と推計されている。
- 仮に ILC 研究所を日本に設置する場合、「国際リニアコライダープロジェクト立地に関する調査検討報告書」においては、ILC 研究所の立地地域における ILC 関連人口（研究者・技術者・事務従事者、工事・保守運用従事者、付帯家族の合計）は、以下のとおり推計されている。

図表：ILC 研究所の立地地域における ILC 関連人口の推計データ

	建設期		運転期	
	1年	7年	11年	20年
研究者・技術者・事務従事者（人）	75	1,978	1,825	2,335
工事、保守運用従事者（人）	1,958	1,994	270	270
付帯家族（人）	118	1,970	1,991	2,537
合計（人）	2,151	5,942	4,086	5,142

（出典）「国際リニアコライダープロジェクト立地に関する調査検討報告書」を基に KEK 改定

図表：ILC 研究所の立地地域における ILC 関連人口の推移（推計）



（出典）「国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討報告書」を基に KEK 改定

② 求められる生活環境要件及び社会基盤要件

- PIP においては、ILC に関わる周辺的生活環境や社会基盤の要件について、主に以下の点が記載されている。

【生活環境要件】

- ・ ILC サイトの周辺では、国際的な研究者コミュニティのニーズに応えるため、周辺に産業、生活アメニティ、様々なタイプの住宅、レジャー施設等の立地が必要である。
- ・ 主に ILC 研究所職員のための、高質・バイリンガルな幼稚園、初等教育施設が不可欠である。
- ・ 短期滞在研究者等のために、入国手続きの円滑化（マルチビザ含む）、宿泊施設の整備（ホテル、サイト内ホステル等）が必要である。
- ・ 安全と健康を維持するための地域の緊急時対応力の向上（消防・防災、救急医療、病院等）が必要である。

【社会基盤要件】

- ・ ILC に協力する世界の全ての国・研究機関を結ぶ、高帯域幅の情報通信ネットワー

クが必要である。

- ・地域におけるユーティリティ・インフラ（電力供給施設、工業用冷却水供給システム、衛生・廃棄物処理システム、石油・天然ガス等の燃料供給システム等）の供給が不可欠である。
- ・港湾からサイトまでの重量物（～70 トンの機器）を輸送するための交通手段（道路、鉄道）の確保が必要である。

○ 仮に ILC 研究所を日本に設置する場合、「国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討報告書」において、生活環境要件（居住・住宅、育児・教育、医療・保険、生活支援、金融・決済、生活交通、買物・飲食、文化・娯楽、査証・在留資格、就労・参加）及び社会基盤要件（広域交通基盤、情報通信基盤、供給処理基盤）が整理されている。（別紙 1 参照）

○ また、「国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討報告書」に基づき盛岡市が実施した委託調査※においては、ILC より派生する建設費として、初期段階から順次、計画的に整備が必要となる「ILC 中央キャンパス（中央研究拠点）」、及び「キャンパス外居住地区」における研究者・家族等のための住宅の建設費が推計されており、その概要は以下のとおり。

※「国際リニアコライダー影響調査業務調査報告書」（2015 年 3 月 野村総合研究所・福山コンサルタント共同企業体）

図表：当初計画の 500GeV ILC より派生する建設費

建設費項目	建設額(億円)	備考
ILC 中央キャンパス建設費	602	ILC 中央キャンパスの用地整備費(高層型ケース:31.7ha,用地費除く) ILC 中央キャンパスに立地する施設の建設費(研究業務系,実験・研究系,滞在居住系,サービス系施設等:延床面積約 12 万㎡)
ILC 研究者用住宅建設費 (ILC 中央キャンパス外)	652	ILC 中央キャンパス外で供給予定の 1,917 戸の建設費 (用地費,敷地整備費除く)
合計	1,254	

(出典)「国際リニアコライダー影響調査業務調査報告書」

(注 1) 本推計は、日本国内における特定の立地地域を想定して算出されたものではない点に留意

(注 2) ILC 中央キャンパス建設費(運用 10 年後を想定)の推計額 602 億円については、技術設計報告書(TDR)において、初期コストとして中央キャンパス建設費の見積額と一部重複があるため、ILC 建設に派生して新たに付加される費用額とは異なる点に留意

(注 3) ILC 研究者用住宅建設費 652 億円については、中央キャンパス外で必要とされる住宅数を全て新設すると想定した場合の建設費である点に留意

(注 4) 計画見直し後の 250GeV ILC より派生する建設費は縮小する可能性がある点に留意。また、民間活力などによる整備の可能性も視野に入れる。

2. 国際研究機関の体制及びマネジメントの在り方に関する検証

本項以降（2.～4.）は、「1. 体制及びマネジメントの在り方検証作業部会で聴取したこれまでの研究者コミュニティにおける検討の概要」において示された国際研究機関に係る体制及びマネジメント、並びに周辺環境整備について検証を行い、併せて仮に国際研究機関を日本に設置する場合の国内における実施体制の在り方について検討を行った結果を示す。

（1）プレ研究所に係る体制及びマネジメント

○ KEK-ILC アクションプランにおいては、仮に ILC のホスト国を日本が担う場合、プレ研究所の本部は KEK に置かれることが想定されている。KEK で現在実施されている研究計画からリソースをプレ研究所へ移行する時期と範囲については、KEK や国内の関連研究者のみならず、海外の研究者等も含めた議論が必要である。その際、現在の KEK における研究計画の完遂を阻害しないことが重要である。

○ また、同アクションプランで想定されている 200 人規模のプレ研究所を運営するためには、相当数の新人加速器研究者の育成が必要であり、計画的に採用を行い、既存の大型加速器施設（SuperKEKB[※]や J-PARC^{※※}等）で経験を積ませることが効果的である。

※ SuperKEKB : KEK が運営する電子・陽電子衝突型円形加速器

※※ J-PARC : Japan Proton Accelerator Research Complex、KEK と JAEA（日本原子力研究開発機構）が運営する大強度陽子加速器施設

○ あわせて、研究者の育成とともに、製造を担う企業側もカウンターパートとなる高度な知識や技術を有した人材の準備が必要である。出向等の形態で研究者とともに経験を積む場を提供することが考えられ、プレ研究所立ち上げ時の人材不足を補う効果も期待できる。

○ 加えて、国際研究機関を想定した管理部門の増強と多言語化への対応や、広報、知的財産管理、輸出入管理、技術支援体制等の強化も必要である。

（2）ILC 研究所に係る体制及びマネジメント

① 法的位置づけ

○ PIPにおいては、条約を基盤として研究所を設立・運営することが想定されている。ILC は複数国による協力が不可欠な設備整備が必要であり、主に予算規模の面で長期にわたる国家レベルでの関与が必要となることから、条約による国家間の合意に基づくことは妥当である。

- 特に、ILC では巨大な装置（資産）を各国分担で製作することから、分担割合に応じた国家間の権限調整が必要となるが、条約に基づく場合はその枠組みの中で調整が可能である。
 - また、条約に基づく場合は国が義務の遵守主体となるため、合意事項の拘束力が強く、参加国の途中脱退が困難であるなど、安定的なプロジェクトの推進も期待できる。
 - 一方で、条約に基づく場合には、合意形成プロセスが長期化する可能性があることに留意する必要がある。
 - なお、条約の締結を前提としつつも、参加国側の制約等により条約が困難な場合のために、条約以外の別の形の国際約束の可能性について研究しておくことも必要である。その場合にも、法的な拘束力を持つものにしなければ、様々な問題が発生することに留意すべきである。
 - 仮に日本が ILC のホスト国を担う場合、条約に基づく国際機関を日本に設立した例として国際連合大学がある。国連大学本部協定[※]には、課税の免除、職員及び大学の任務を行う専門家の特権、研究成果の扱い等の条項があり、ILC における条約の在り方を検討する際の参考になる。
 - ※「国際連合大学本部に関する国際連合と日本国との間の協定」（条約）
 - 加えて、PIP で条約に明記することとされている廃止措置までの手順と責任に関しては、ITER 機構設立協定[※]に関連する条項があり、参考になる。
 - ※「イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定」（条約）
- ② トップ（執行部）マネジメント及びプロジェクトマネジメント
- PIP においては、新たな国際機関として ILC 研究所を設立することが想定されていることから、専任職員が確保されて各種業務及び意思決定を迅速に行うことが可能となる。
 - 一方で、新たに国際機関を設置することから、事務施設の新設や事務部門を含めた人材の新規確保が必要となることに留意する必要がある。研究所の新設に伴う困難性は、米国の SSC[※]が失敗した要因の一つと認識されており、SSC の教訓を参考にしつつ、既存の研究所の再編を基盤とすることなどにより、体制面からプロジェクト失敗

のリスクを抑制することを検討する必要がある。

※SSC : Superconducting Super Collider、超伝導超大型衝突型加速器

- PIP で想定されているトップ（執行部）マネジメントについては、CERN 等の高エネルギー物理学分野における従来の研究機関に加えて、ITER 等の別分野における国際研究機関の経験も反映されており、体制としては概ね理解できる。実効性のある運営がなされるためには、世界的に認められた高いマネジメント能力を有する研究者をトップ（執行部）に配置することが重要である。
- また、PIP で想定されているプロジェクトマネジメントについては、ILC 研究所と参加国との間の資金拠出(In Cash)及び現物拠出(In Kind)による関係をマネジメントする中央プロジェクトチームの役割が重要であり、研究の進捗に関するマネジメントのみならず、生産体制、信頼性管理、費用構成等にも十分な知見を有する優秀な人材の配置による強力な体制を構築して、プロジェクトを牽引する必要がある。
- このように、国際共同プロジェクトにおいて導入する体制と採用する人材は一体のものであり、仮に ILC のホスト国を日本が担う場合には、そのプレゼンスを高めるため、強いリーダーシップを有する国内のマネジメント人材を計画的に養成することが重要であるとともに、国際的にも優秀なマネジメント人材を確保することが必要となる※。

※国内外の人材の確保・育成方策については、「国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議 人材の確保・育成方策の検証に関する報告書」（平成28年7月）を参照。

- その際、ALMA※の経験が、ILC におけるマネジメント人材の養成にあたって参考となる。ALMA では、プロジェクトのあらゆる面（予算、人事、安全対策、広報、労務対応等）に参画して、成功のみならずリスクや失敗に対しても責任を持って貢献を果たすことで、日本のプレゼンスが高まった。

※ALMA : The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計計画

③ 加速器の製造体制及び経費分担の方式

- PIP で想定されている現物拠出(In Kind)による設備分担においては、参加国による拠出への見返りとして、拠出に応じた自国産業への発注が考えられるとともに、参加国担当分に係る不確実性対応リスクは参加国に分散されることとなる。
- 一方で、現物拠出(In Kind)で調達した機器間のインターフェイスの管理等につい

ては、各国・地域の予算や製造状況に応じた多様な工程管理が必要となるなど多くの調整が発生し、スケジュールの遅延やコストの増加を招く可能性がある。

- 具体的には、システム仕様は ILC 研究所が主体で決定するが、現物拠出(In Kind) に対するコスト及び納期の責任は各国・地域のハブ研究所が有するため、仕様とコスト及び納期の責任がかい離して全体責任の所在が不明確になるおそれがある。
- 実際に、ITER においても、インターフェイスや工程調整に際して、ITER 機構と 7 参加極[※]の国内機関の間で利害が対立するなど、管理運営上の様々な課題が発生し、スケジュールの遅延の拡大とそれに伴うコストの増加が大きな問題となった。
※欧州、日本、米国、ロシア、中国、韓国、インド
- こうした課題の発生を抑制するためには、仕様変更等に係るルールや ILC 研究所とハブ研究所の権限の範囲等をあらかじめ明確に設定しておき、ハブ研究所だけでは対応できない事象が発生した場合には、事前の設定に基づいて、ILC 研究所は責任を持ってハブ研究所間の調整を行い、ハブ研究所は委任された権限の範囲で裁量を持って製造を行うことにより、全体としてコストと納期の達成に努めることが重要である。
- また、PIP においては、現物拠出(In Kind) 方式に起因する課題にも対応できるように、資金拠出(In Cash)による予備費(Contingency)や共通基金(Common Fund)が想定されている。ILC のような大規模国際協力プロジェクトにおいて、様々な不確実性に対応するための資金を適切に確保しておくことは、以下に示す類似のプロジェクトにおける経験に照らして重要である。

【CERN】

参加国からの拠出金で運営されていることにより、迅速なリスク対応や一括管理によるコストダウンが可能である。また、予算の長期的見通しが得られることから、建設時における予算増減の平準化や突発事象への対応も可能となっている。

【ITER】

設計変更や機器の新規調達等が発生した場合に、機構長の権限において執行できるリザーブファンドが 2015 年に創設された。その結果、未確定の機器間のインターフェイスの調整等に適時の資金投入が可能となり、以前と比較して円滑なマネジメントが行われるようになった。

【ALMA】

日本の予備費 (Contingency) がいないことが課題とされており、予備費 (Contingency) を計画予算内に組み込み、その用途を自由にプロジェクト内で裁量できる仕組みを構築することが必要とされている。

④ 国際的な経費分担

- PIP においては、ILC の建設[※]と運営について、ホスト国の経費分担 (計画見直し前の 500GeV ILC の場合) を 50% 程度まで^{※※}とし、残りをその他の参加国で案分することが想定されている。また、これとは別に運転経費について、幾つかの分担方法が検討されている。これらについて、ホスト国以外の参加国から十分な貢献を確保するとともに、ホスト国に権限と負担が過度に集中しないようにするためには、ホスト国とその他の参加国とのバランスに配慮した本格的な国際機関としての運営が必要となる。

※周辺環境整備は除く。

※※計画見直し後の 250GeV ILC に関する LCB 声明 (2017 年 11 月) においては、ILC と近い分野の最近の同様の国際プロジェクトの例では、ホスト国が主要な費用負担を行っていることとされ、欧州 XFEL (ホスト国の負担 58%) と FAIR (ホスト国の負担 69%) が例示されている。

- 大型国際共同プロジェクトにおける国際的な経費分担の方式は様々であるが、例えば、体制及びマネジメントの在り方検証作業部会でヒアリングを行った 3 つのプロジェクト等における事例は以下のとおり。

【ITER】

サイト誘致が国際的に競合したためホスト国 (極) の分担割合が高騰したが、交渉の過程で、民主的な運営を確保する観点から、ホスト国 (極) の議決権が過半未満となるよう分担割合が 50% 未満に抑制された結果、ホスト極である欧州が 45.46%、その他の 6 参加極[※]が 9.09% という経費分担がなされている。

※日本、米国、ロシア、中国、韓国、インド

【CERN】

科学活動が急速に巨大化する中で、米国・ソ連に対して十分な競争力を持つためには欧州各国が共同で取り組むべきとの認識のもとで、GDP に基づく資金分担により 1957 年に設立された。現在は、加盟国の直近 3 年間における平均純国民所得 (NNI : Net National Income) に基づく経費分担[※]がなされている。

※加盟国拠出金 (2015 年実績) の上位 3 か国は、ドイツ 20.5%、フランス (ホスト国) 15.1%、イギリス 14.3%。また、フランスとともにホスト国を担うスイスは 3.9%

【ALMA】

日本、米国、欧州の三者が対等な経費分担を前提に各国内でのプロジェクト承認や資金確保を図り、結果として、日本が25%、米国と欧州が37.5%という経費分担がなされている。

- いずれにせよ、国際的な経費分担については、最終的には各国政府間の交渉で決定することになるが、各国政府の合意を得るためには、各国内において、サイエンスカウンシル[※]等によるプロジェクトの承認や自国政府の資金確保に向けた議論の進展が不可欠である。

※日本においては、日本学術会議が想定される。

- なお、仮に日本が ILC のホスト国を担う場合には、ILC 研究所は、欧州における CERN と相補的なアジアの国際研究拠点にしていくことも考えられる。このため、相応の経費分担とともにアジア地域からも参加し、連携できる体制を考慮する必要がある。

(3) 測定器建設を含めた国際共同実験に係る体制及びマネジメント

- PIP においては、2つの測定器 (ILD と SiD) による実験が想定されているが、科学的なクロスチェック等が可能となる一方、実験ホールや測定器等の建設コストは上がる。2つの測定器で実験を実施する必要性について整理することが必要である。
- ILC 計画の実験グループでは、これまでの加速器実験と同様に、参加研究機関が所属する国によらず対等である民主的な運営や、限られた任期で選出された適切な規模の組織によって、意思決定と執行権限が分離された形での運営等がなされることが重要である。
- こうした民主的な運営については、少ない負担で参加する方が費用対効果が高いという見方をされる懸念もある。仮に日本が ILC のホスト国を担う場合は、その妥当性やメリットを明確に示すことが重要である。
- また、ILC 実験においては、測定器の建設や実験グループのマネジメント等の金銭的、人的労力が大きい部分とデータ解析等の学術的に魅力的な部分が混在しており、これらが国際的に平等に分担されるよう戦略性を持ったマネジメントが必要である。

3. 国際研究機関の周辺環境整備の在り方に関する検証

(1) 前提となる人口規模

- PIPにおいては、研究者、ILC 研究所職員及びその家族を含む人口は、概ね1万人規模（小さな町）と推計されている。また、「国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討報告書」では、ILC 研究所の立地地域における ILC 関連人口は、建設ピーク時（7年目）には約6,000人、運用開始年（11年目）には約4,100人で20年目には約5,100人と推計されているが、この想定については以下のような懸念がある。
- 現在は、情報通信ネットワークが発達し、各国でもデータ解析ができることから、一つの研究目標を有する ILC 研究所では、建設終了後に人口が減少していく可能性がある。
- また、推計の根拠の一つとなっている CERN については、ジュネーブという国際都市に建設されたこととの相乗効果があることを考慮する必要がある。

(2) 求められる生活環境要件及び社会基盤要件

- PIP 及び「国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討報告書」においては、ILC サイト周辺の様々な生活環境要件や社会基盤要件が想定されているが、仮に ILC 研究所が日本に設置される場合には、(1) の検証を踏まえた人口規模にふさわしい範囲において対応が必要となる。
- 具体的な生活環境要件（居住・住宅、育児・教育、医療、生活支援、金融・決済、生活交通、買物・飲食、文化・娯楽、査証・在留資格、就労・参加）及び社会基盤要件（広域交通基盤、情報通信基盤、供給処理基盤）は多岐にわたっているが、これらの中には、公共施設や公共サービス等が必要となるものもあるため、ILC サイトの立地及び周辺自治体等による支援が不可欠である。
- こうした周辺環境整備に係る経費は相当額に上ると考えられるが、その経費分担に関しては、ILC 研究所と国及び自治体等のホスト国内における分担について、ホスト国とその他の参加国との国際分担の可能性とともに、立地等の議論と併せて整理する必要がある。

- なお、ITER の場合には、サイト誘致が国際的に競合した結果として、周辺環境整備に関わるホスト国の役割が増大[※]したが、現時点においてサイト誘致が国際的に競合していない ILC においては、ホスト国の役割を適切な範囲に設定し、参加国がバランス良く負担することが望ましい。

※ITER ホスト国（フランス）の責務は、ITER 協定付属書「ITER 建設地に対する支援に関する付属書」に規定され、この枠組みのもとで、ITER 周辺の自治体は ITER 基盤整備費の一部を負担し、10 年間で 467 百万ユーロ（約 560 億円）を支出することに同意。

- また、日本では地震等の自然災害が頻繁に発生することから、ILC と立地自治体の共生には、安全性の確保が必要不可欠である。特に ILC は放射線を扱う研究施設であることから、常に真摯な対話を通じて信頼関係を築いていくことが重要である。

4. 国際研究機関を日本に設置する場合の国内における実施体制の在り方の検討

(1) 日本の大学による ILC 国際共同実験への参画の在り方

- 日本がホストする国際共同実験として KEK における Belle II 実験の準備が進んでおり、国際共同実験のマネジメントに関する実績も積み上がっている。この経験を ILC 実験においても十分に生かすべきである。
- 加速器実験の大規模化に伴い、大学等の研究室レベルで目に見える貢献をするのは容易ではない。仮に ILC 研究所を日本に設置する場合、ILC で行われる実験において日本の大学等が埋没することなく存在感を高めるための工夫が必要である。
- そのために、国内コンソーシアムを構築し、検出器製作やデータ解析の拠点を複数設置してリソースを集中投資することは、日本の大学の存在感を高めるとともに、ILC 研究所から大学に優れた外国人研究者を還流して国際化を進める上でも有効である。
- また、ILC 研究所を活用して国際的に活躍できる若手研究者を育成するため、ILC 研究所と大学が協力し大学院生等のための連携講座等を用意する必要がある。特に、加速器、最先端の半導体や電子回路技術、コンピューティング等の専門性の高い技術教育では連携が有効である。
- さらに、国際化の進展に伴う多言語化への対応も含めた技術的・事務的な研究支援体制を充実させるため、ILC 研究所や各大学の技術・事務職員へ教育機会を提供することも重要である。

(2) KEK と ILC 研究所との関係の在り方

- 仮に日本が ILC のホスト国となる場合、KEK においては ILC 研究所とは異なる形の研究を進めることが適当である。欧州においても、高エネルギー素粒子物理学の研究は CERN に集約され、例えばドイツ・スイスでは DESY[※]や PSI^{※※}といった国立研究所に自由電子レーザーを含む放射光施設や大強度陽子加速器施設等を建設して、CERN とは異なる形の研究が進められている。

※ DESY : Deutsches Elektronen-Synchrotron、ドイツ電子シンクロトロン研究所

※※PSI : The Paul Scherrer Institute、スイス連邦工科大学ポール・シェラー研究所

- 仮に ILC 研究所が日本に設置された場合においても、KEK を含めた国内の加速器研究所を適切に維持していく必要があるが、KEK の財政規模を維持したまま、別途 ILC 研究所を新設・運営するのは困難であり、KEK で培ってきた人材や技術が継承されるよう配慮しつつ、国内外の研究者間の議論を踏まえてプロジェクトを選定していく必要がある。
- KEK の在り方を検討する上で、DESY が一つのモデルとして参考になる。世界の多くの高エネルギー物理学の研究所は財政的に厳しく、フォトンサイエンスに転身している例もある中で、DESY もフォトンサイエンスに舵を切り、素粒子実験用加速器の運用は終了しているが、DESY の素粒子実験グループは健全に維持されており、CERN や KEK 等において世界をリードする研究を推進している。
- また、CERN で LHC 実験が開始された時とほぼ同時期に、DESY 独自の加速器による高エネルギー物理学研究も終了したが、DESY の高エネルギー物理学研究者の多くは DESY に所属しつつ LHC の研究に参加する形態をとっている。ILC についても、KEK の高エネルギー物理学研究者が KEK に所属しつつ ILC 実験に参加する形態も考えられる。
- ILC 研究所には強い権限を有する中央プロジェクトチームが存在することが重要である。仮に ILC 研究所が日本に設置される場合には、KEK はホスト国の研究所として、ILC 研究所の中央プロジェクトチームの早期形成を支援することが重要である。
- 特に、技術面で ILC 研究所に強い指導力を求めるには時間を要する。まず、国際的に指導力を発揮可能な人材を ILC 研究所の中央プロジェクトチームに配置しつつ、KEK が加速器建設に協力することにより様々な課題に対応しながら、加速器建設における主導権を段階的に中央プロジェクトチームへ移行していくことが考えられる。

(3) ILC を踏まえた日本の高エネルギー物理学研究の将来計画に関する議論の在り方

- 加速器の新設時には、その時点で使用可能な加速器科学・技術及び将来展開を考慮する必要がある。欧州では、加速器の種類及び使用される技術並びにそれらを担う適切な研究所に関する議論は主に ECFA*で行われ、その議論も踏まえて、各国においては、研究所が計画を提案し、サイエンスカウンシルによる分野間の調整を経て、政府が実施の可否を判断してきた。

※ECFA : The European Committee for Future Accelerators、加速器将来計画欧州委員会（欧州の研究者コミュニティにおける委員会）

- 現在、日本の高エネルギー物理学分野の研究は多様性を持って進められている中で、日本の高エネルギー物理学研究者は ILC という巨大なプロジェクトを基幹プロジェクトの一つとして提案してきた。仮に ILC を実施することになる場合には、日本の高エネルギー物理学研究者コミュニティにおいても、選択と集中を考慮した将来計画の合意形成が必要となる。

- なお、ITER をホストする欧州内の核融合研究機関は、EUROfusion*が策定した核融合開発ロードマップに基づき、ITER の調達活動の完遂、ITER 計画の支援、原型炉に向けた研究開発に焦点を絞った活動を進めている。

※EU 内 26 ヶ国とスイス、ウクライナの 30 の研究所とその関連企業等からなるコンソーシアムであり、欧州での ITER 調達以外の核融合研究を統括

(4) 日本企業も含めた産業界による ILC への参画の在り方

① ハブ研究所と企業との関係

- PIP においては、短期間で大量生産が求められる超伝導加速空洞とクライオモジュールの組立ては各地域のハブ研究所で行うことが有力な選択肢となっている。その場合、企業は自ら設備投資することなく R&D を行い、本格的に資本投入する場合の準備が可能となるとともに、ノウハウが公開されることによる産業界への貢献も期待される。

- 一方で、企業が自社内に組立設備を持たない場合には、投資に対する説明責任を果たすためにも ILC への参加経験を生かす次の展開が必要となる。例えば、ILC 建設に参加した企業が組立設備または技術情報を活用できる仕組みを作り、新たな需要に対応できるようにすることなどが期待される。

- また、ILC の超伝導加速器技術の産業への波及効果も重要であるが、現状において

は不透明な部分もある。CERN には技術のスピンアウトを支援する組織※があり、ILC においても企業と研究所が協働して、加速器関連技術や製品の産業界へのスピンアウトを図る必要がある。

※Knowledge Transfer Group

- 製造コストの削減を図る観点からは、ハブ研究所から企業への技術支援やハブ研究所間の知的財産の共有等が重要である。高エネルギー加速器、超伝導技術分野では、既に研究者・技術者間では失敗経験等も含め現場に即した情報を共有する文化が醸成されており、これをトップマネジメントでも十分活用していく必要がある。

② 国際競争入札に関わる検討課題

- ILC では WTO 政府調達協定に基づく国際競争入札が想定されており、ハブ研究所とパートナーシップを有する企業が受注できる保証はない。ハブ研究所と関係が薄い企業が受注した場合、パートナーシップの構築に時間がかかる可能性もある。ILC において入札とパートナーシップの関係をどう設計するかは重要な課題である。
- 日本と欧州は企業とのパートナーシップで製造し、米国は研究所の中（In-House）で製造するという特徴があるので、ハブ研究所には、性能に責任を持てる範囲内において、地域性に合わせた裁量を持たせるべきである。
- 特に、日本の強みは研究所と企業との密接なパートナーシップであり、研究者と企業が議論しつつ装置を作り上げてきた歴史がある。詳細かつ厳密な契約が求められる ILC の国際契約において、こうした日本の強みを生かすためには、研究所、企業双方に努力が必要である。

③ これまでの大型加速器実験計画からの教訓

- 米国の SSC が失敗した要因の一つとして、企業の製造マネジメント集団と研究所の設計マネジメント集団がかい離していたことが挙げられる。マネジメント能力のある優秀な研究者をトップ（執行部）に据え、明確に統一された命令系統を作ることが必要である。
- また、日本の研究所はエンジニアが少ないという特殊性があり、ILC のような大型国際プロジェクトを研究者だけでマネジメントすることは不可能である。そのため、大型国際プロジェクトの経験を持つ人材を産業界からも広く求め、研究所と企業が連

携したプロジェクトマネジメント体制を築くべきである。

- さらに、LHC では、CERN という強力な研究所とそれを中心として連携する研究所の強固な国際ネットワークにより、様々なトラブルに協力して対応することが可能となっており、ILC においても参考になる。
- なお、PIP は研究者の視点で書かれたものであり、産業界からの視点が不足している。今後は、研究者だけでなく産業界も含めて ILC 全体のマネジメントの検討を深めていくことが必要である。

図表 研究者コミュニティにおいて想定されているILC研究所の周辺環境における生活環境要件

分野	要件	要件実現のための手段等(選択肢)
居住・住宅	居住範囲(通勤圏)の想定	■外国人研究者等の居住範囲(通勤圏)を公共交通機関または自家用車で30～40分程度と想定 <外国人研究者のニーズ、国内外類似研究機関の実態より>
	短期滞滞者向けの良質な宿泊施設提供<短期滞在=概ね90日未満>	■キャンパス内・近接地での宿泊施設(ゲストハウス、宿舎、ホテル等)の提供／ ■必要最小限のアメニティ(ベッド、シャワー、トイレ、空調、遮音等)、かつ低廉な施設の提供 ■宿泊施設予約面での利便性の提供／■宿泊施設滞在中の生活支援サービスの充実(クリーニング、食事等)
	長期滞滞者向けの良質な滞在・居住施設提供<長期滞在=概ね90日以上>	■キャンパス外(外国人居住範囲)での家族居住向けの戸建住宅、集合住宅の供給(賃貸)／■キャンパス内での家族居住向けの住宅供給 <初めて日本に来る家族の場合、慣れるまでの間はキャンパス内居住が望ましい>／■欧米人のサイズに合った仕様の住宅提供(広い・大きい居室、風呂、ベッド、トイレ等)／■基本的な家具、家電(TV、冷蔵庫等)の備付け住宅の供給 ■外国人の住宅探し・契約等への支援 <優良物件情報提供、交渉・契約時の付き添い支援 等>／■外国人が住宅を借りる場合の差別的慣習の撤廃 <6ヶ月分の家賃前納、外国人不可マーク 等>
育児・教育	国際保育支援サービスの提供	■キャンパス内・近接地での育児施設(保育所)の新設／■既存の保育所での外国人の子どもの受入体制の充実／■バイリンガル保育士(日英)の育成 <日本人保育士の英語力向上>
	国際教育サービスの提供	■国際学校(インターナショナルスクール)の新設 <ホスト国・地域での設置、バカロレア等の国際カリキュラムの提供、多言語対応 等>／■既存の国際学校での受入拡充／■国際学校での教育費用の負担軽減 <研究機関による学費補助、ホスト国側での負担 等> ■日本の公立学校(学校教育法的一条校)での外国人子弟受入体制の整備<バイリンガル日本人教師配置、外国人アシスタント教師配置、外国語翻訳教材開発 等>
		■日本の公立学校(学校教育法的一条校)での外国人子弟受入体制の整備<バイリンガル日本人教師配置、外国人アシスタント教師配置、外国語翻訳教材開発 等>
医療・保険	外国人が安心できる医療の提供	■薬局(ドラッグストア)の国際化対応<医薬品の名称・説明の英語表記、薬剤師による薬の処方・注意事項等の英語による説明>／■医療機関(診療所、総合病院)の国際化対応<医療従事者(医師、看護師)の英語コミュニケーション力の向上、外国人医師の配置 等> ■救急通報システム、救急搬送システム等の整備・充実<救急通報システムの充実、救急医療病院までの搬送システムの整備等>／■救急医療機関の充実
	外国人が安心できる医療保険の提供	■医療通訳の育成と要請に応じた派遣／■外国対応可能医療機関情報(リスト)の作成と配布 ■長期滞滞外国人向け医療保険制度の充実と加入支援／■短期滞滞外国人に対する医療保険加入への支援
生活支援	外国人の日常生活の支援体制・サービスの提供	■外国人生活支援対応の専門組織(国際支援オフィス)の設置<ウエルカムオフィス、ユーズーズオフィス等の研究機関内設置又はホスト地域との共同設置>／■外国人のニーズに対応したきめ細かな生活支援サービスの提供<リロケーション:外国人向けの引越し、住宅探し・契約支援サービス等><生活行為支援:自動車の購入、学校入学、医療受診、行政手続等への付添い支援><生活関連情報提供:公共交通、社会生活、日常生活、観光レジャー等> ■自治体における外国人向けの手続きワンストップサービス窓口の設置／■自治体のワンストップサービス窓口へのバイリンガル職員の配置／■外国語情報パンフレットの作成／■外国人向けの危機管理情報提供システムの充実
		■ATMによる国際キャッシングサービスの改善<国際対応ATMの増強、営業時間の延長による夜間利用の改善>／■外国人の銀行口座開設時の容易性・利便性の向上<外国人口座開設時の不便改善> ■外国人によるクレジットカード取得の時間短縮、手続き簡素化の推進<申し込みから発行までの時間短縮、手続き簡素化>
金融・決済	外国人に利便性の高い銀行・クレジットサービスの提供	■銀行サービスの国際化対応 ■クレジットカード取得の容易性の向上
		■外国人研究者等の自動車免許取得への支援<運転免許試験時の英語での対応環境充実、免許取得の費用軽減 等>／■外国人研究者等の自動車購入・事故対応等に対する支援の充実<車庫証明取得、自動車購入、自動車保険加入、事故時対応等の支援>／■研究機関キャンパス内における十分な駐車場スペースの確保／■外国人研究者・家族向けのカーシェアリング、カーレンタルシステムの導入
生活交通	利便性の高い公共交通機関サービスの提供	■ILC国際研究機関(インハウス)の通勤バス路線、オンデマンドバスの提供／ ■地元バス事業者と連携した公共バス路線の整備<ILCと主要居住地を結ぶ公共バス路線の新設・再編>／■研究者のニーズに配慮した利便性の高いバスサービスの提供<夜間運行サービス、外国語による交通情報提供等>／■必要に応じた新たな公共交通機関の整備<LRT等の新たな公共交通システムの導入の可能性を検討>
	利便性の高い生活交通手段の提供	■外国人研究者等の自動車免許取得への支援<運転免許試験時の英語での対応環境充実、免許取得の費用軽減 等>／■外国人研究者等の自動車購入・事故対応等に対する支援の充実<車庫証明取得、自動車購入、自動車保険加入、事故時対応等の支援>／■研究機関キャンパス内における十分な駐車場スペースの確保／■外国人研究者・家族向けのカーシェアリング、カーレンタルシステムの導入
買物・飲食	外国人に配慮した日常生活品物販サービスの提供	■生活圏内スーパー等の国際対応<日常生活用品名の英語表記、健康に関わる商品の英語解説、外国品の品揃え 等>／■ILC国際研究機関キャンパス内への売店設置
	外国人に配慮した飲食サービスの提供	■飲食店の国際対応<メニューの英語/多言語表記、多様な食文化に対応した料理メニューの提供 等>／■食事に制限のある場合への対応<イスラム教徒、ベジタリアン等へ対応した食事提供>

文化・ 娯楽	日本文化・外国文化へのアクセシビリティの提供	日本語・文化の学習機会の提供 外国の文化・情報へのアクセス環境整備	■外国人への日本語・日本文化学習機会の提供<ホスト地域との協働によるプログラムの提供>/ ■ILC国際研究機関の内部Webによる生活関連情報の提供<地域交流、イベント、生活、モノの交換、スポーツ同好会等> ■外国語メディア媒体(新聞、雑誌等)の日常的な提供/ ■芸術文化施設、宗教関連施設の充実/ ■自宅でのインターネット接続環境構築の容易化<申し込みから開通までの時間の短縮化>
	外国人のQOLを高める娯楽・スポーツ機能の提供	スポーツ・レクリエーション施設の提供	■生活圏でのスポーツ施設の充実<外国人研究者のリフレッシュのためのジム、スイミングプール、スポーツ観戦施設等>/ ■生活圏でのファミリー向けレクリエーション施設の充実<休日等に利用できる家族向けレクリエーション、レジャー施設(公園、遊園地等)>
査証・ 在留資格	査証・在留資格取得の支援	外国人研究者・家族の査証・在留資格・在留カード等の取得支援	■外国人研究者の在留カード取得・住民登録等に際しての支援/ ■外国人研究者・家族の査証・在留資格取得の手続簡素化、時間短縮化
就労・ 参加	外国人の社会参加・就労機会の提供	外国人研究者の配偶者への社会参加機会の提供	■外国人研究者・配偶者への地域ボランティア活動参加機会の充実/ ■外国人研究者・配偶者が参加できるコミュニティ活動・イベントの充実
		外国人研究者の配偶者への就労機会の提供	■外国人研究者の配偶者の就労先や職種の確保/ ■外国人研究者の配偶者への就労先紹介・仲介サービスの充実

図表 研究者コミュニティにおいて想定されているILC研究所の周辺環境における社会基盤要件

分野	要件	要件実現のための手段等(選択肢)
広域交通基盤	利便性の高い国際・国内空港の存在	■国際線定期航路・便数等の面で充実した国際ネットワーク機能/ ■国際空港(成田、羽田、関空等)との乗り継ぎ便等の利便性が高い
	国際・国内空港への良好なアクセス性の確保	■空港へ直結する公共交通サービスの提供<空港から最寄の交通拠点までの新幹線・鉄道によるアクセス確保及び空港から研究圏域までの直行バス確保>
	国際物流に対応した港湾の存在、港湾からのアクセス性確保	■国際コンテナターミナルを有し、一定のコンテナ国際就航航路、就航便数の確保/ ■大規模器材の荷役機械のほか、大型倉庫、CIQ体制の整備
	広域幹線道路網及びICへの近接性	■広域幹線道路網へアクセスする幹線道路網の確保<研究圏域から高速道路等へアクセスする新設を含めた幹線道路の確保>/ ■高速ICへのネットワーク(既存の高規格道路網を活用し、既設ICのみならず、新設(スマートIC等)を踏まえたアクセス性確保)
	広域幹線鉄道網及び交通結節点(駅等)への近接性	■利便性(速さ・頻度)の高い公共交通ネットワークの確保<最寄の鉄道駅・新幹線駅から、利便性(速さ・頻度)の高い公共交通手段(バスや新交通システム)を交通需要、地域交通計画に配慮しながら導入>
	国際化に対応した最寄の交通結節点とターミナル機能を持った広域交通拠点の確保	■広域交通拠点となるターミナル駅の確保<広域的なターミナル機能を持った新幹線などが結節する広域交通拠点を確保と国際化対応>/ ■最寄の交通拠点の強化<通勤を含め日常交通及び地域住民の生活交通等を支える交通拠点の強化と国際化対応>
情報通信基盤	世界と直結するブロードバンド情報通信網	■学術情報ネットワーク(SINET4:サイネット・フォー)との接続<SINETのノード(ネットワークの接続拠点)の設置・接続 等>/ ■通信量の増大に対応した新たな基幹光ネットワーク<テラビット級>の整備<ILC中央キャンパス・サテライトキャンパス⇒国際IX⇒国際通信ケーブル陸揚げ拠点の間に整備>
	世界とつながる携帯通話環境	■ILCからダイレクトに世界インターネットへ接続するノードとなる国際IXの整備 ※IXとはInternet eXchange(インターネット・エクスチェンジ)の略で、複数のISP等のネットワークを相互接続するインターネット上の接続ポイントのこと。日本における国際IXは、国内と海外のインターネットを接続するポイントを意味する。 ■GSM方式(Global System for Mobile Communications)対応エリアの整備/ ■次世代基地局の設置
供給処理基盤	電力供給基盤の供給	■受電施設(特高変電所(地上)、サブ変電所(地下))、非常時を踏まえた2系統確保/ ■系統電力網との接続に向けた送電線整備<地域電力会社との調整・協議期間の設定>
	給排水基盤の供給	■トンネル建設に伴う排水(湧水)の利活用<建設に伴う湧水量が多量であるため、貯留施設を設置を含めた利活用>
	廃棄物処理基盤の供給	■生活給水については、計画地の自治体と調整/ ■生活排水については、し尿処理(廃棄物処理)とセットで検討し、コミュニティプラントを含めた検討 ■ストックヤード、破砕ヤード確保及び砕石利活用の推進<掘削土量を踏まえ、ヤードの設定、砕石転用方法検討>/ ■ILC建設時及びキャンパス建設時に発生する廃棄物は、地域の既存施設を活用を目指す ■自治体の既存施設の活用<既存施設の処理能力を踏まえて自治体と連携した廃棄物処理計画の推進>

(出典)「国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討報告書」

参 考 資 料

- 国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議委員名簿・・・ 89
- 素粒子原子核物理作業部会名簿・・・ 90
- 技術設計報告書（TDR）検証作業部会名簿・・・ 91
- 人材の確保・育成方策の検証作業部会名簿・・・ 92
- 体制及びマネジメントの在り方検証作業部会名簿・・・ 93
- 国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議について・・・ 94
- 検討経緯・・・ 95
- ICFA Statement on the ILC Operating at 250 GeV as a Higgs
Boson Factory（付日本語訳）・・・ 101
- Conclusions on the 250 GeV ILC as a Higgs Factory proposed
by the Japanese HEP community（付日本語訳）・・・ 103
- 素粒子原子核物理作業部会へのリニアコライダー国際推進委員会
（LCB）からの回答・・・ 105
- 欧州 XFEL（欧州 X 線自由電子レーザー）、FAIR（反陽子・イオン研究施設）
概要・・・ 106
- ILC に関する国際的な研究者組織・・・ 108

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議委員名簿

- 平野 眞一 上海交通大学 致遠講席教授、平野材料創新研究所長
名古屋大学 名誉教授
- 伊地知寛博 成城大学 社会イノベーション学部 学部長
- 大町 達夫 東京工業大学 名誉教授
- 岡村 定矩 東京大学 名誉教授
- 梶田 隆章 東京大学 宇宙線研究所長
- 京藤 倫久 日本学術振興会 監事
- 熊谷 教孝 (公財) 高輝度光科学研究センター 名誉フェロー
- 神余 隆博 関西学院大学 国連・外交統括センター長
- 徳宿 克夫 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所長
- 中野 貴志 大阪大学 核物理研究センター長
- 観山 正見 広島大学 総合戦略室 特任教授
自然科学研究機構 国立天文台 名誉教授
- 森 俊介 東京理科大学 理工学部 教授
- 横溝 英明 (一財) 総合科学研究機構 理事長
- 横山 広美 東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 教授

○は座長

(平成30年7月現在)

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委員名簿

- 梶田 隆章 東京大学 宇宙線研究所長
- 駒宮 幸男 早稲田大学 理工学術院総合研究所 上級研究員（研究院教授）
- 酒井 英行 理化学研究所 仁科加速器科学研究センター 特別顧問
- 棚橋 誠治 名古屋大学 素粒子宇宙起源研究機構 教授
- 陳 栄浩 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 教授
- 徳宿 克夫 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所長
- 中野 貴志 大阪大学 核物理研究センター長
- 中家 剛 京都大学 大学院理学研究科 教授
- 初田 哲男 理化学研究所 仁科加速器科学研究センター 主任研究員
- 早野 龍五 東京大学 名誉教授
- 松本 重貴 東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 准教授
- 山中 卓 大阪大学 大学院理学研究科 教授
- 横山 広美 東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 教授
- は座長

（平成30年7月現在）

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議
技術設計報告書（TDR）検証作業部会委員名簿

- 大町 達夫 東京工業大学 名誉教授
- 加藤 崇 日本アドバンステクノロジー株式会社 常務取締役
- 上垣外修一 理化学研究所 仁科加速器科学研究センター 加速器基盤研究部長
- 北村 倫夫 北海道大学 大学院メディア・コミュニケーション研究院 教授
- 熊谷 教孝 (公財) 高輝度光科学研究センター 名誉フェロー
- 小磯 晴代 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 特別教授
- 小関 忠 高エネルギー加速器研究機構
J-PARCセンター 副センター長
- 佐々木茂美 上海科技大学研究教授、広島大学名誉教授
- 田中 均 理化学研究所 放射光科学研究センター 副センター長
- 近久 博志 株式会社地盤システム研究所 取締役所長
- 内藤富士雄 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 教授
- 野田 耕司 放射線医学総合研究所長
- 横溝 英明 (一財) 総合科学研究機構 理事長

○は座長

(平成30年7月現在)

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議
人材の確保・育成方策検証作業部会委員名簿

- 浅井 祥仁 東京大学 大学院理学系研究科 教授
- 池田 直昭 三菱重工業メカトロシステムズ株式会社 機械装置事業部
制御技術部 部長
- 大熊 春夫 (公財) 高輝度光科学研究センター 特別嘱託
- 岡本 宏己 広島大学 大学院先端物質科学研究科 教授
- 熊田 幸生 住友重機械工業株式会社 技術本部 執行役員
- 小関 忠 高エネルギー加速器研究機構
J-PARCセンター 副センター長
- 中野 貴志 大阪大学 核物理研究センター長
- 中家 剛 京都大学 大学院理学研究科 教授
- 山本 明 高エネルギー加速器研究機構 名誉教授・研究員
- 横溝 英明 (一財) 総合科学研究機構 東海事業センター長
- 横山 広美 東京大学 大学院理学系研究科 准教授
- は座長

(平成28年6月現在)

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議
体制及びマネジメントの在り方検証作業部会委員名簿

飯嶋 徹	名古屋大学 素粒子宇宙起源研究機構 現象解析研究センター長
伊地知寛博	成城大学 社会イノベーション学部 学部長
市川 温子	京都大学 大学院理学研究科 准教授
川越 清以	九州大学 先端素粒子物理研究センター長
北村 倫夫	北海道大学 大学院国際広報メディア・観光学院 教授
佐藤 潔和	株式会社東芝 京浜事業所 技監
高津 英幸	（一財）高度情報科学技術研究機構 神戸センター 副センター長 元ITER理事会議長
田中 均	理化学研究所 放射光科学総合研究センター 副センター長
徳宿 克夫	高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所長
中野 貴志	大阪大学 核物理研究センター長
永宮 正治	理化学研究所 研究顧問 高エネルギー加速器研究機構 名誉教授
○観山 正見	広島大学 学長室 特任教授 自然科学研究機構 国立天文台 名誉教授
山本 明	高エネルギー加速器研究機構 研究員 欧州合同原子核研究機関 客員教授
山本 均	東北大学 大学院理学研究科 教授
横山 広美	東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 教授
○は座長	

（平成29年6月現在）

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議について

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議

- 〔座長〕 平野 眞一（上海交通大学講席教授、元名古屋大学総長）
〔検討〕 平成26年5月～
〔検討事項〕 ・ ILCの素粒子物理学研究における方針
・ 経費と国際的経費分担、必要な人員・人材
・ 国内体制のあり方、ILCの社会的影響 等

素粒子原子核物理作業部会（再設置）

- 〔座長〕 梶田 隆章（東京大学宇宙線研究所長）
〔検討〕 平成26年6月～平成27年3月
〔検討事項〕 素粒子・原子核物理分野の将来構想において ILCが担う科学的役割 等
- 〔座長〕 中野 貴志（大阪大学核物理研究センター長）
〔検討〕 平成30年1月～
〔検討事項〕 ILC計画の見直しについて、科学的意義の検証 等

技術設計報告書（TDR）検証作業部会（再設置）

- 〔座長〕 横溝 英明（総合科学研究機構東海事業センター長）
〔検討〕 平成26年6月～平成27年3月
〔検討事項〕 技術設計報告書のコストや必要人員、技術的フェージビリティの検証 等
- 〔座長〕 横溝 英明（総合科学研究機構理事長）
〔検討〕 平成30年1月～
〔検討事項〕 ILC計画の見直しについて、コストや技術的フェージビリティの検証 等

人材の確保・育成方策検証作業部会

- 〔座長〕 中野 貴志（大阪大学核物理研究センター長）
〔検討〕 平成27年11月～平成28年6月
〔検討事項〕 ・ 建設・運転等に係る必要人員の確保・動員・育成の見通し
・ 我が国のリーダー的人材の確保・育成に関する課題と留意点 等

体制及びマネジメントの在り方検証作業部会

- 〔座長〕 観山 正見（広島大学学長室特任教授、元国立天文台長）
〔検討〕 平成29年3月～6月
〔検討事項〕 ・ 国際研究機関の体制及びマネジメントの在り方
・ 国際研究機関の在り方を踏まえた周辺環境の整備
・ 国内における実施体制 等

検討経緯

(「これまでの議論のまとめ」(平成27年6月25日)以降)

国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議

第4回 平成27年6月25日

- ・これまでの議論のまとめ
- ・人材の確保・育成方策検証作業部会(仮称)の設置について

第5回 平成28年7月7日

- ・人材の確保・育成方策の検証に関する報告書(案)について
- ・今後の検討について
- ・報告事項 (①CERN LHCにおける研究の進展状況
②ILC計画に関する技術的実現可能性等)

第6回 平成29年2月1日

- ・ILC計画を巡る最近の状況(報告)
- ・今後の検討及び作業部会(体制及びマネジメントの在り方検証作業部会)の設置について

第7回 平成29年7月28日

- ・大型国際共同プロジェクト等の国際協力事例に関する調査分析(報告)
- ・体制及びマネジメントの在り方の検証に関する報告書(案)について
- ・今後の検討について

第8回 平成29年12月5日

- ・ILC計画の見直しについて
- ・欧州合同原子核研究機関(CERN)における実験の進展状況について
- ・今後の検討及び作業部会(素粒子物理作業部会、技術設計報告書(TDR)検証作業部会)の設置について

第9回 平成30年5月31日

- ・作業部会における検討状況について
(素粒子物理作業部会、技術設計報告書(TDR)検証作業部会)
- ・経済的波及効果の委託調査の再計算について

第10回 平成30年6月19日

- ・経済的波及効果の委託調査の再計算について
- ・国際協力について

第11回 平成30年7月4日

- ・ILC計画の見直しを受けたこれまでの議論のまとめ(案)について

素粒子原子核物理作業部会

○国際リニアコライダー(ILC)に関する有識者会議

第8回 平成29年12月5日

- ・今後の検討及び作業部会の設置について

第9回 平成30年5月31日

- ・作業部会における検討状況について
(素粒子原子核物理作業部会、技術設計報告書(TDR)検証作業部会)
- ・経済的波及効果の委託調査の再計算について

○素粒子原子核物理作業部会

第1回 平成30年1月18日

- ・本作業部会の議事運営等について
- ・前回からのILC計画を巡る状況について
- ・欧州合同原子核研究機関(CERN)における実験の進展状況について
- ・ILC計画の見直し(250GeV国際リニアコライダーの物理の意義)について

第2回 平成30年2月5日

- ・ 250GeV 国際リニアコライダーの物理の意義について

第3回 平成30年3月1日

- ・ 250GeV 国際リニアコライダーの物理の意義について

第4回 平成30年4月13日

- ・ リニアコライダー国際推進委員会 (LCB) の声明における E-XFEL 及び FAIR について
- ・ 報告 (案)

第5回 平成30年5月16日

- ・ 報告 (案)

技術設計報告書 (TDR) 検証作業部会

○国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議

第8回 平成29年12月5日

- ・ 今後の検討及び作業部会 (素粒子原子核物理作業部会、技術設計報告書 (TDR) 検証作業部会) の設置について

第9回 平成30年5月31日

- ・ 作業部会における検討状況について (素粒子物理作業部会、技術設計報告書 (TDR) 検証作業部会)
- ・ 経済的波及効果の委託調査の再計算について

○技術設計報告書 (TDR) 検証作業部会

第1回 平成30年1月30日

- ・ 前回からの ILC 計画を巡る状況について
- ・ ILC 計画の見直し (国際リニアコライダー加速器のステージングに関する報告書 2017) について

第2回 平成30年3月2日

- ・国際リニアコライダー（ILC）計画に関する規制・リスク等調査分析について（委託調査結果報告）
- ・ILC計画の見直し（国際リニアコライダー加速器のステージングに関する報告書 2017）について

第3回 平成30年3月22日

- ・国際大型加速器計画のコスト削減に関する調査研究（委託調査結果報告）
- ・ILC計画の見直し（国際リニアコライダー加速器のステージングに関する報告）について
- ・これまでの議論のポイント（案）

第4回 平成30年4月19日

- ・ILC計画の見直し（国際リニアコライダー加速器のステージングに関する報告）について
- ・報告（案）

第5回 平成30年5月17日

- ・報告（案）

人材の確保・育成方策検証作業部会

○国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議

第4回 平成27年6月25日

- ・これまでの議論のまとめ
- ・人材の確保・育成方策検証作業部会（仮称）の設置について

第5回 平成28年7月7日

- ・作業部会からの審議経過報告及びまとめ
- ・今後の検討について
- ・LHCにおける研究の状況、技術的実現可能性等の委託調査について

○人材の確保・育成方策検証作業部会

第1回 平成27年11月18日

- ・人材の確保・育成方策に関する課題等について
- ・TDRにおける人材の確保・育成について

第2回 平成27年12月21日

- ・大型研究プロジェクトに係る建設及び人材の確保・育成について
(SACLA、KEKB)

第3回 平成28年2月15日

- ・ILC計画に想定される企業における人材確保等の課題について
- ・海外における大型研究プロジェクトのリスク要因等の委託調査について

第4回 平成28年4月20日

- ・海外の大型研究プロジェクトに係る建設及び人材の確保・育成について (LHC)

第5回 平成28年5月25日

- ・LHCにおける研究の状況について
- ・これまでの議論の取りまとめ

第6回 平成28年6月20日

- ・これまでの議論の取りまとめ

体制及びマネジメントの在り方検証作業部会

○国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議

第6回 平成29年2月1日

- ・ILC計画を巡る最近の状況について
- ・今後の検討及び作業部会の設置について

第7回 平成29年7月28日

- ・大型国際共同プロジェクト等の国際協力事例に関する委託調査について
- ・作業部会からの審議経過報告及びまとめ
- ・今後の検討について

○体制及びマネジメントの在り方検証作業部会

第1回 平成29年3月9日

- ・体制及びマネジメントの在り方に関する議題等について
- ・これまでの研究者コミュニティにおける検討状況について

第2回 平成29年4月7日

- ・国際研究機関への共同参画の在り方について

第3回 平成29年4月24日

- ・周辺環境の整備について
- ・大型国際共同プロジェクト等の国際協力事例について

第4回 平成29年5月23日

- ・ILC-PIPにおける加速器の工業化・量産化構想について
- ・これまでの大型国際共同プロジェクトにおける体制及びマネジメントについて
(欧州合同原子核研究機関 (CERN))

第5回 平成29年6月2日

- ・これまでの大型国際共同プロジェクトにおける体制及びマネジメントについて
(ITER 計画、ALMA 計画)
- ・報告書骨子案について

第6回 平成29年6月27日

- ・報告書案について

ICFA Statement on the ILC Operating at 250 GeV as a Higgs Boson Factory

The discovery of a Higgs boson in 2012 at the Large Hadron Collider (LHC) at CERN is one of the most significant recent breakthroughs in science and marks a major step forward in fundamental physics. Precision studies of the Higgs boson will further deepen our understanding of the most fundamental laws of matter and its interactions.

The International Linear Collider (ILC) operating at 250 GeV center-of-mass energy will provide excellent science from precision studies of the Higgs boson. Therefore, ICFA considers the ILC a key science project complementary to the LHC and its upgrade.

ICFA welcomes the efforts by the Linear Collider Collaboration on cost reductions for the ILC, which indicate that up to 40% cost reduction relative to the 2013 Technical Design Report (500 GeV ILC) is possible for a 250 GeV collider.

ICFA emphasizes the extendibility of the ILC to higher energies and notes that there is large discovery potential with important additional measurements accessible at energies beyond 250 GeV.

ICFA thus supports the conclusions of the Linear Collider Board (LCB) in their report presented at this meeting and very strongly encourages Japan to realize the ILC in a timely fashion as a Higgs boson factory with a center-of-mass energy of 250 GeV as an international project¹, led by Japanese initiative.

¹ In the LCB report the European XFEL and FAIR are mentioned as recent examples for international projects.

Ottawa, November 2017

ILCの「ヒッグス・ファクトリー」としての250ギガ電子ボルト運転に関する 国際将来加速器委員会 (ICFA) の声明

欧州合同原子核研究機関 (CERN) の大型ハドロンコライダー (LHC) で2012年にヒッグス粒子が発見されたことは、近年の科学における最も重要なブレークスルーの1つであり、基礎物理学の大きな一歩と成りました。ヒッグス粒子を精密に研究することにより、物質とその相互作用の最も基本的な法則の理解がさらに深まるでしょう。

250ギガ電子ボルト (GeV) の重心系エネルギーで運用する国際リニアコライダー (ILC) は、ヒッグス粒子の精密測定により素晴らしい科学成果をもたらすでしょう。したがって、国際将来加速器委員会 (ICFA) は、ILCを、LHCとそのアップグレード計画とは相補的な役割を果たす重要な科学プロジェクトと認識しています。

ICFAは、ILCのコスト削減に関するリニアコライダーコラボレーションの取り組みを歓迎しています。これは、250 GeV加速器が、2013に発行した技術設計報告書 (500 GeVの加速器) に比べて最大40%のコスト削減が可能であることを示しています。

ICFAは特に、リニアコライダーの高エネルギーへの拡張性を重視しており、250GeVを超えるエネルギー領域で行うことが可能となる追加の測定で、大きな発見の可能性があると注目しています。

ICFAは、今回の委員会で示された、リニアコライダー計画推進委員会 (LCB) の報告書の結論を支持しており、日本が、日本のイニシアチブによる国際プロジェクト¹として、重心系エネルギー250GeVの「ヒッグス・ファクトリー」のILCを、時宜を得て実現することを強く奨励します。

脚注[1] LCB報告書では、国際的なプロジェクトの最近の例として、欧州のXFELとFAIRが挙げられている。

オタワ、2017年11月

日本語訳出典：KEK ホームページ

Conclusions on the 250 GeV ILC as a Higgs Factory proposed by the Japanese HEP community

– Short Summary –
Linear Collider Board
8 November 2017, Rev 1

Physics studies by the Linear Collider Collaboration Physics and Detector Group[1], and the Japanese Association of High Energy Physicists (JAHEP) [2] show a compelling physics case for constructing an ILC at 250 GeV centre of mass energy as a Higgs factory. The cost of such a machine is estimated to be lower by up to 40% compared to the originally proposed ILC at 500 GeV[3]. The acceleration technology of the ILC is now well established thanks to the experience gained from the successful construction of the European XFEL in Hamburg. One of the unique features of a linear collider is the capability to increase the operating energy by improving the acceleration technology and/or extending the tunnel length. For these reasons, the Linear Collider Board strongly supports the JAHEP proposal[4] to construct the ILC at 250 GeV in Japan and encourages the Japanese government to give the proposal serious consideration for a timely decision.

In recent examples of similar international projects¹, the host country made the majority contribution. A natural expectation would be that the cost for the civil construction and other infrastructure is the responsibility of the host country, while the accelerator construction should be shared appropriately. A clear expression of interest to host the machine under these principles would enable Japan to start negotiations with international partners. It would also allow members of the international community to initiate meaningful discussions with their own governments on possible contributions.

1 Recent examples in the field close to the ILC are European XFEL and FAIR in Germany.

References

- [1] K. Fujii et. al. (Linear Collider Collaboration), “Physics Case for the 250 GeV Stage of the International Linear Collider”, DESY-17-155 / KEK Preprint 2017-31 / LAL 17-059 / SLAC-PUB-17161, arXiv:1710.07621 [hep-ex].
- [2] S. Asai et al, “Report by the Committee on the Scientific Case of the ILC Operating at 250 GeV as a Higgs Factory”, arXiv:1710.08639 [hep-ex].
- [3] L. Evans and S. Michizono (Edit.) (Linear Collider Collaboration), “The International Linear Collider Machine Staging Report 2017, Addendum to the International Linear Collider Technical Design Report published in 2013”, DESY 17-180, CERN, KEK Report 2017-3, arXiv:1711.00568 [hep-ex].
- [4] JAHEP, “Scientific Significance of ILC and Proposal of its Early Realization in light of the Outcomes of LHC Run 2”, <http://www.jahep.org/files/JAHEP-ILCstatement-170816-EN.pdf>.

日本の高エネルギー物理コミュニティからのヒッグス・ファクトリーとしての 250 ギガ電子ボルト ILC の提案に関する結論

概要

リニアコライダー国際推進委員会

2017年11月8日

リニアコライダー・コラボレーション (LCC) 物理・測定器グループと高エネルギー物理学研究者会議 (JAHEP) の検討結果は、ヒッグス・ファクトリーとして 250 ギガ電子ボルト (GeV) の重心系エネルギーで運用する ILC を建設することには、十分な物理的な意義があることを示しています。

そのような加速器のコストは、当初提案された 500GeV の ILC と比較して最大 40%低下すると推定されます。ILC の加速技術は、独ハンブルグ市にあるヨーロッパ X 線自由電子レーザー (European XFEL) の建設成功により得られた経験のおかげで、今や確立されています。リニアコライダー独特の特徴の1つは、加速技術の改善や、トンネル長の延長により、衝突エネルギーを向上することができる点です。これらの理由から、リニアコライダー国際推進委員会 (LCB) は、250GeV の ILC を日本に建設するという JAHEP の提案を強く支持し、時宜を得た決定に向け、日本政府が当該提案を本格的に検討していただけるよう推奨します。

最近の同様の国際プロジェクトの例¹では、ホスト国が主要な費用負担を行っています。自ずと、土木建設やその他インフラの建設コストはホスト国が責任を持ち、加速器建設については適切な費用分担がなされることが期待されます。これらの原則に基づいて、加速器をホストすることが明確に意思表示されれば、日本と国際的なパートナーとの交渉が開始されることになるでしょう。また、他国の関係者も、可能な貢献について、自国政府と有意義な議論を開始することも可能になります。

脚注 1 : ILC と近い分野の最近の例は、ドイツにある欧州 XFEL と FAIR である。

リファレンス : (略)

日本語訳出典 : KEK ホームページ

素粒子原子核物理作業部会への
リニアコライダー国際推進委員会(LCB)からの回答

2017年11月に開かれたオタワでのLCB会議で出されたILCに関する声明文において、リニアコライダーから派生したX線自由電子レーザー施設のXFELと、素粒子原子核物理施設のFAIRが、ILC推進議論を進めるために関連するとされた部分の2点は、両方のプロジェクトにおいてホスト国が

1. 負担する割合が高く¹、
2. まず施設を相当額の拠出をしてホストしたい意思があると宣言し、国際協力の立ち上げとプロジェクト推進のイニシアティブを取った²、

である。現状においてILC建設を立ち上げるには、ホスト誘致国が国際協力の話し合いを立ち上げるイニシアティブをとる必要があり、その際にホスト国として相応なレベルの貢献を考えているとの示唆があることが望ましい、との判断に基づくものである。

¹ どのような責任分担、組織、運営方針でILCを建設、運転するかを決定するのは、ILCのPIP (Project Implementation Planning)にも示されているのと同様に、国際協力の参加国政府間の話し合いで確立されるもの、とLCBは理解している。表明に参照された「土木建設やその他インフラの建設コストはホスト国が責任を持ち、加速器建設は適切な費用分担をする」は、2014年7月のスペインのバレンシア開かれたLCBで議論され、同地で開かれたICFAからの賛同を受け、国際コミュニティーにも知られているコスト分担の仕方であるので、例として挙げられた。

² ホスト国のイニシアティブに関しては、2013年に出されたヨーロッパ素粒子戦略に関連している。戦略の4つの最重要項目の一つとして、「ヨーロッパは日本の素粒子研究者コミュニティーが表明した日本にILCをホストしたいとのイニシアティブを非常に歓迎して、日本がこれを提案することを期待している、それによって、ヨーロッパがどのような形で参加できるかの議論が始められる」があり、これと関係している。このようなホスト国に対する期待がLCBの立場に反映している。

欧州XFEL（欧州X線自由電子レーザー） European X-Ray Free-Electron Laser

■ 概要

ドイツ・ハンブルグ郊外にあるX線自由電子レーザー施設。17.5GeVの電子ビームをつくり、自由電子レーザーの原理により、最短0.05ナノメートルの可干渉性高輝度X線を発生させて、原子・分子・細胞などの微細構造の研究などに資する。

■ 建設期間

2009年建設開始。2016年試験運転開始。
2017年9月からユーザー運転開始。

(*1)2005年物価水準
(*2)1ユーロ=136.89円
(2005年平均レート、日銀公表)
(*3)1ユーロ=133円
(財務大臣公示 H29.11レート)

■ 建設費

12億2,000万ユーロ(*1)(1,670億円程度(*2))

負担割合 ドイツ:58%、ロシア:27%、その他:各国あたり1~3%
(発足時は10億8,200万ユーロ(*1)の上限コストに対して、ドイツが約54%の負担)

■ 運転経費(2018年)

1億1,700万ユーロ(156億円程度(*3))

負担割合:本格稼働まで…建設費の分担割合と同じ

本格稼働以降…50%は建設費の分担割合と同じで、残り50%を
ユーザーの所属国が利用割合に応じて負担

(負担は参加国のみ対象)

■ 参加国(12か国)

デンマーク、フランス、ドイツ、ハンガリー、
イタリア、ポーランド、ロシア、スロバキア、
スペイン、スウェーデン、スイス、英国

■ 大きさ

トンネル全長 3.4km
(うち超伝導線形加速器は1.7km)



直線加速器のモジュール



上空からの写真

(H30.4 高エネルギー加速器研究機構作成)

FAIR (反陽子・イオン研究施設) Facility for Antiproton and Ion Research

■ 概要

ドイツ・ダルムシュタットの重イオン研究所(GSI)に建設中のウランまで加速可能な重イオン加速器施設。重イオンビームによるハドロン高密度物質の研究、不安定核・宇宙核物理の研究、多種イオンビームを用いたプラズマ物理研究、癌治療等の応用研究、反陽子ビームによるハドロン物理の研究、などが計画されている。

■ 建設期間

2017年から建設開始。2025年運転開始予定。

■ 建設費

12億6,200万ユーロ(*1)(1,730億円程度(*2))

負担割合:ドイツ:69%、ロシア:17%、

その他:各国あたり0.5~3.5%

(発足時は10億2,700万ユーロに対してドイツが69%の負担)

(*1)2005年物価水準
(*2)1ユーロ=136.89円
(2005年平均レート、日銀公表)
(*3)1ユーロ=133円
(財務大臣公示 H29.11レート)

■ 運転経費(見込み)

1億1,800万ユーロ(*1)(157億円程度(*3))

運転経費はFAIR運営会社(FAIR GmbH)における各加盟国の株主が負担

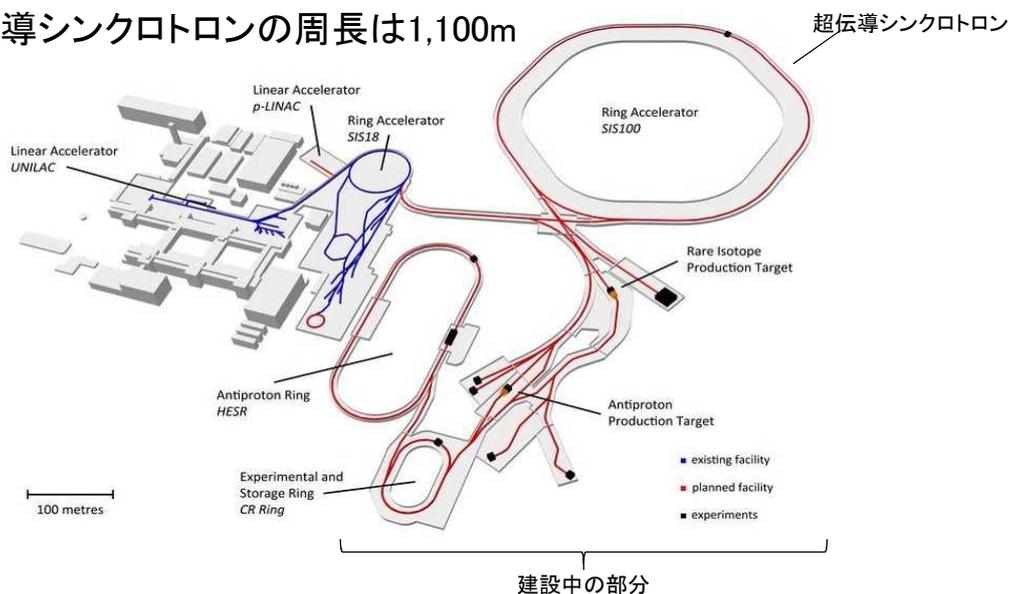
当該負担のスキームは遅くとも建設開始3年以内にFAIR理事会において決定

■ 参加国(9か国)

ドイツ、フィンランド、フランス、インド、ポーランド、ルーマニア、ロシア、スウェーデン、スロベニア *英国(アソシエイトメンバー国)

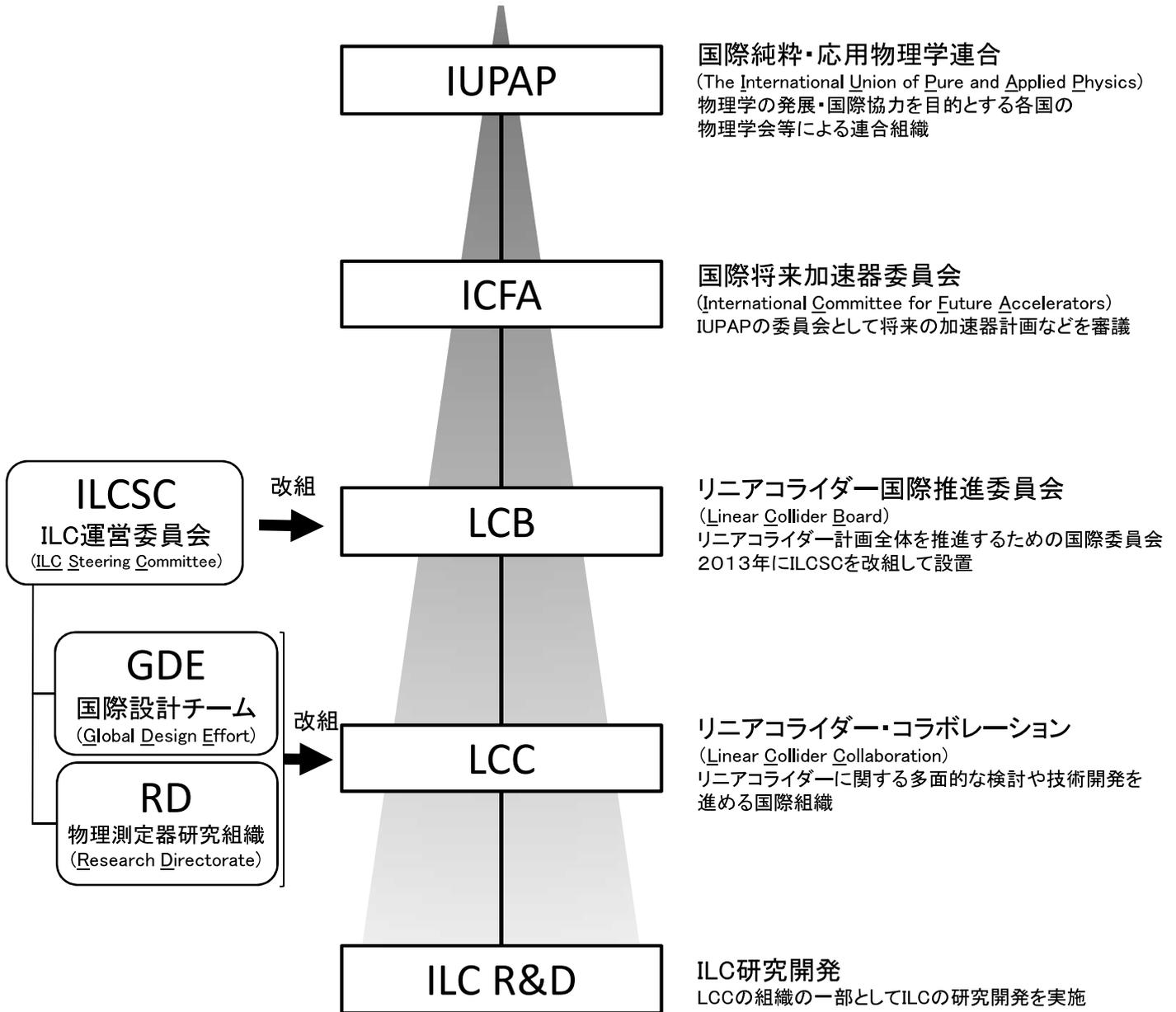
■ 大きさ

超伝導シンクロトロン(STR)の周長は1,100m



(H30.4 高エネルギー加速器研究機構作成)

ILCに関する国際的な研究者組織



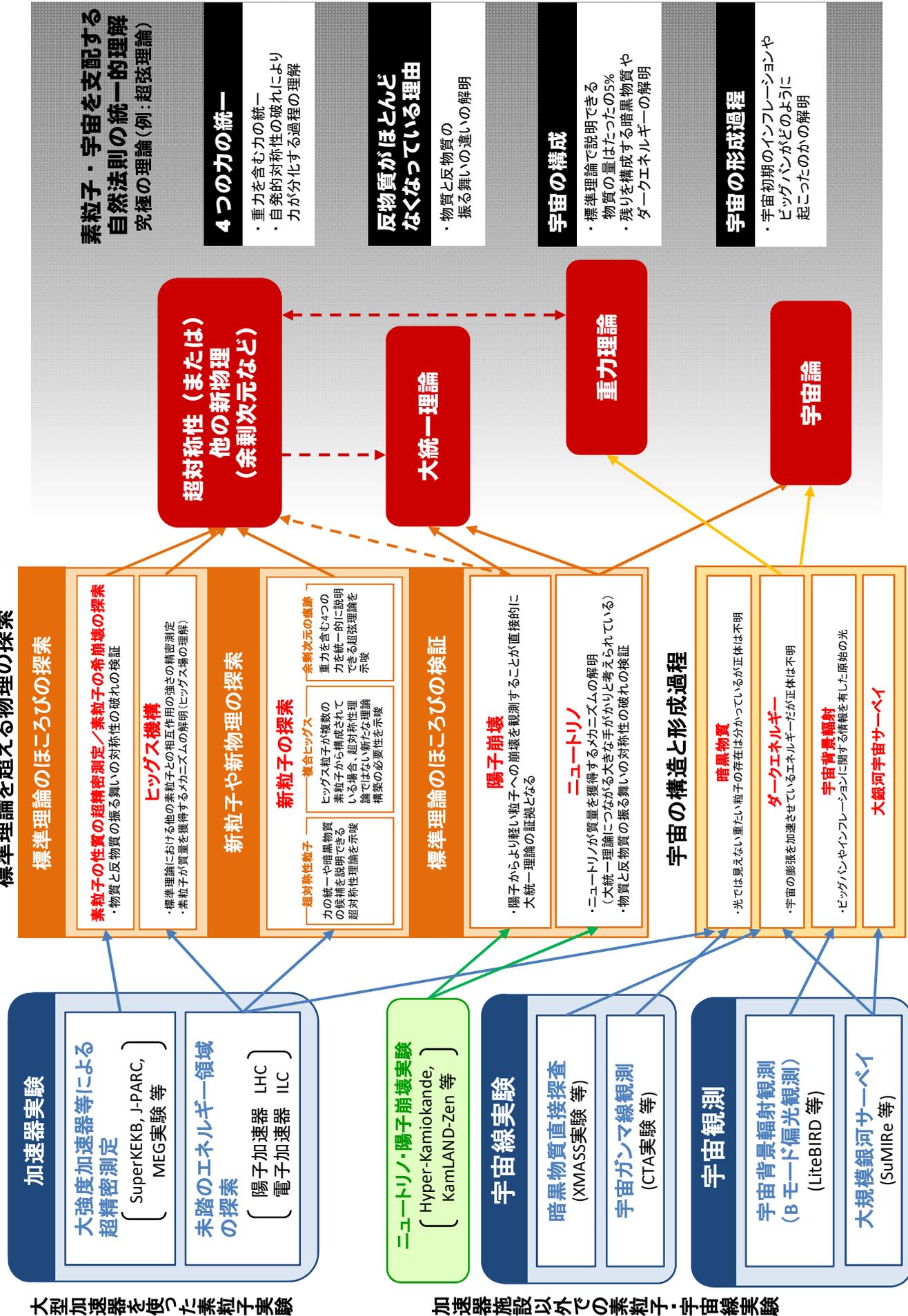
※体制及びマネジメントの在り方検証作業部会第1回
(平成29年3月9日開催)資料に基づき事務局作成

別添資料

- 自然法則の統一的理解のための課題と研究動向・・・・・・・・・・ 111
- 国際リニアコライダー（ILC）計画に関する経済的波及効果の
再計算結果報告書・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 119
- 「国際リニアコライダー（ILC）計画に関する経済的波及効果
の再計算結果」報告書に関する有識者会議としての留意点・・・・ 138

自然法則の統一的理解のための課題と研究動向

標準理論を超える物理の探索



大型加速器を使った素粒子実験

加速器施設以外での素粒子・宇宙線実験

自然法則の統一的理解のための課題と研究動向

各実験装置概要

大強度加速器等による超精密測定

KEKB 加速器・SuperKEKB 加速器 | 高エネルギー加速器研究機構 (KEK)

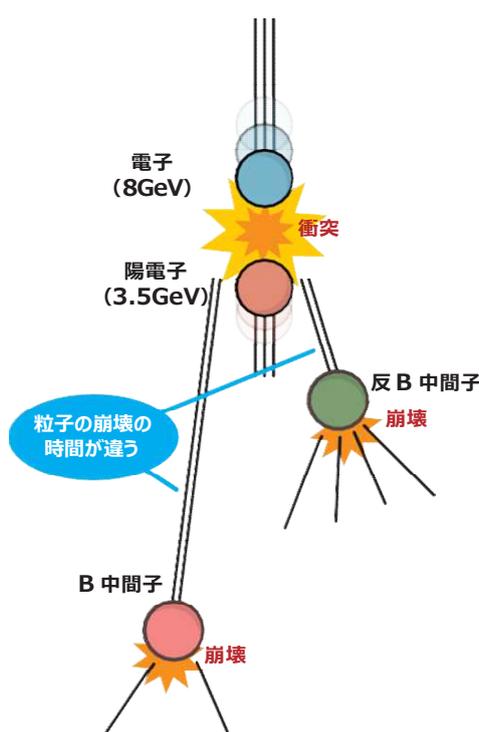
建設費 約380億円 (KEKB) / 約314億円 (SuperKEKB)



KEK上空写真(写真中央よりやや下よりの円形に見える部分の地下に加速器が埋設されている)



Belle検出器



電子と陽電子との衝突によって生成されるB中間子、反B中間子の崩壊時間の分布の違いを測定し、「CP対称性の破れ」の検証に貢献した。

■製作期間

5年 (KEKB)。1999年6月に最初の素粒子反応を確認。

■大きさ

周長約3km、茨城県つくば市のKEKの敷地内の地下10mのトンネル内に設置されている。

■科学者の人数

KEKBのBelle実験：約400名 (運転終了時)
SuperKEKBのBelleII実験：約800名

■概要

KEKB加速器では陽電子と電子を2つのリングを利用してそれぞれ3.5GeV、8GeVに加速し、その衝突点に設置されたBelle検出器で衝突の様子を観測するという実験を行っていた。この加速器はルミノシティと呼ばれる衝突回数に関する大切な指標が世界で最も高かったことで知られる。2010年にKEKB加速器は運転を終了し、現在ではルミノシティなどのアップグレードを行ったSuperKEKB、Belle IIによる本格運転の準備を進めている。

■成果

衝突によって生成されるB中間子・反B中間子の崩壊するまでの時間を調べることで、B中間子の粒子・反粒子の対称性の破れ (CP対称性の破れ) を発見した。

大強度加速器等による超精密測定

J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) | 日本原子力研究開発機構、高エネルギー加速器研究機構

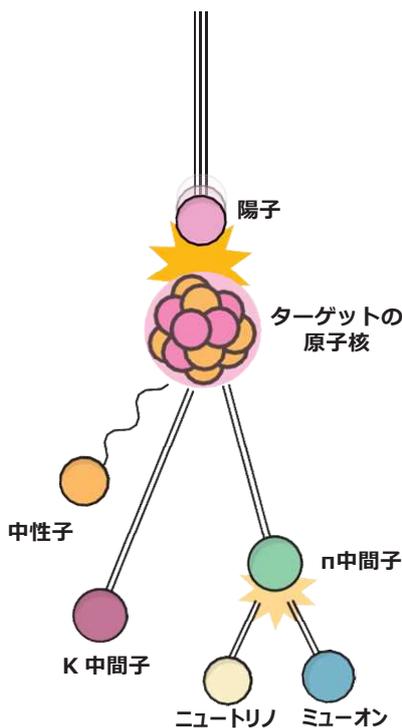
建設費 約1,524億円



J-PARC上空写真



ニュートリノ一次ビームライン 超伝導磁石



陽子と原子核の衝突によって生じる中間子、中性子、ミュオン、ニュートリノなどを様々な実験を行う。

■製作期間

2001年建設開始。2009年に第一期施設が完成。

■大きさ

330mの直線型加速器、次に周長350mの円形加速器、さらに周長1.6kmの円形加速器の3つの加速器からできている。

■科学者の人数

T2K実験：約500人、ハドロン実験：約500人 (2017年時点、コラボレータ数)

MLF：約1000人 (2014年度、施設利用者数)

■概要

J-PARCでは多段の加速器を用い、陽子を30GeVまで加速することができる。必要な速度まで加速した陽子を物質・生命科学実験施設 (MLF)、ハドロン実験施設、ニュートリノ実験施設の各施設に輸送し、各施設でターゲットとなる原子核に衝突させ、生じる中間子や中性子、ミュオンやニュートリノなどを利用して様々な実験を行う。

■成果

Super-Kamiokandeと行っているT2K実験により、ニュートリノ振動の解明などの成果を上げている。また、K中間子の希な崩壊の精密実験、ミュオンの(g-2)因子の精密測定、原子核に束縛されたミュオンが原子核との相互作用で電子に変換する過程の探索などの実験が実施・計画されており、標準理論では説明できない事象の発見が期待されている。

大強度加速器等による超精密測定

MEG / MEG II 実験 | 東京大学とKEKが提案・主導して実施

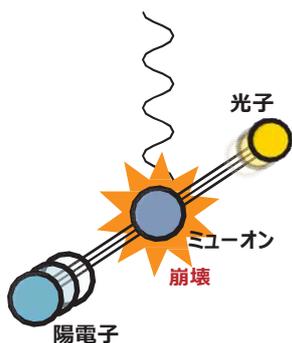
建設費 約10億円 (MEG測定器)



世界最大強度の陽子ビームから作った大強度ミュオンビームが通過するMEG実験ビームライン。



液体キセノンガンマ線検出器。側面の円盤がガンマ線が入ったときに生じる光を検出する装置になっている。



陽子ビームから作ったミュオンを減速させて、MEG実験装置の中心に置かれた厚さおよそ200μmのプラスチックの薄膜に導き、崩壊を観測する。

■製作期間

2002年建設開始、2008年実験開始。現在検出器のアップグレード中。

■大きさ

5m (幅) ×15m (奥行) ×5m (高さ)。

■科学者の人数

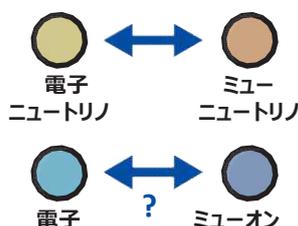
約60名。

■概要

MEG実験ではミュオンが電子とガンマ線 (光) の2つに崩壊する「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」の検出を目的として、スイスのポールシェラー研究所 (PSI)の円形加速器で加速された世界最大強度の陽子ビームから作った大強度ミュオンビームに、陽電子スペクトロメータ (陽電子検出器)、液体キセノンによるガンマ線検出器を組み合わせ実験を行っている。

■成果

「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」は第2世代のミュオンから第1世代の電子への変換であり標準理論では起こらない現象であるが、標準理論を超えた理論、例えば超対称性理論では起こり得る。現在までに「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」は検出されていないが、これまでの実験結果によって、標準理論を超える新しい物理モデルに対して厳しい制限をつけることに成功している。

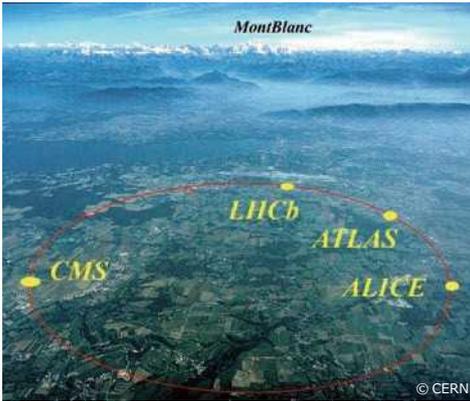


ニュートリノの世代間の移り変わりである「ニュートリノ振動」と同様に、レプトンである電子とミュオンでも同様の現象が起こることを大統一理論などが予測しており「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」が探索されている。

未踏のエネルギー領域の探索

LHC (Large Hadron Collider) : 大型ハドロン衝突型加速器 | 欧州原子核研究機構 (CERN)

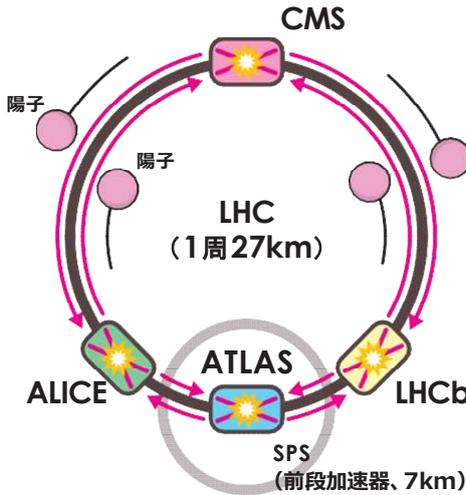
建設費 約5,000億円(トンネル工事費用除く)



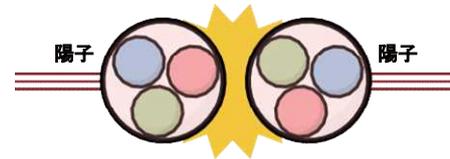
LHC上空写真(赤線地下部に加速器、黄色い円の部分に検出器が設置されている)



ALIAS検出器



円周の各所で衝突させてその様子を観察するための検出器が設置されている。



クォーク3つから構成される陽子同士の衝突から引き起こされる物理現象を観測する。

■製作期間

14年。2008年9月運転開始。

■大きさ

メインの加速器部分の周長で27km、スイスとフランスの国境をまたがって深さ50mから175mに埋設されている。

■科学者の人数

CERNにはヨーロッパだけでなく、アメリカ、日本をはじめとした71カ国から、1万人以上のユーザーが集まっている。

■概要

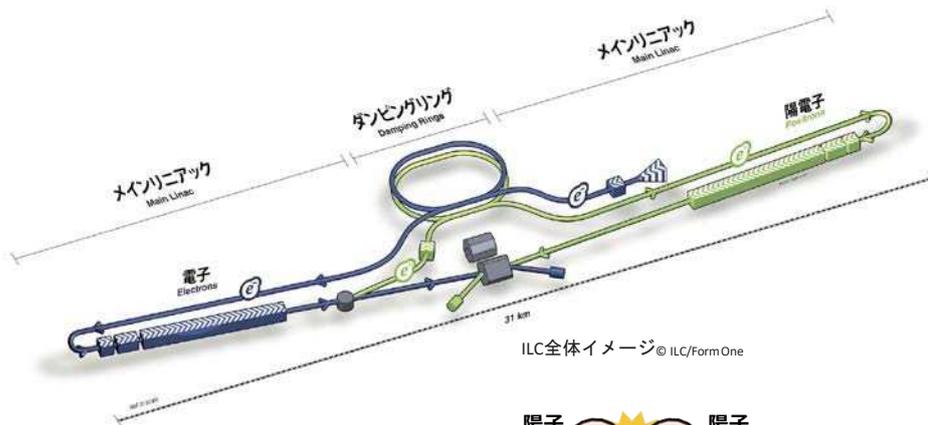
クォーク3つで構成される陽子を用いた加速器実験が行われている。予備加速した陽子を円周27kmの円型加速器で加速し、その陽子同士の衝突から引き起こされる物理現象の観測を行う。現在までに6.5TeVの陽子同士の衝突を実現しているが、2017年からは陽子に7TeV (光の速さの99.9999991%) を与えて、合計14TeVのエネルギーでの衝突実験を行っている。

■成果

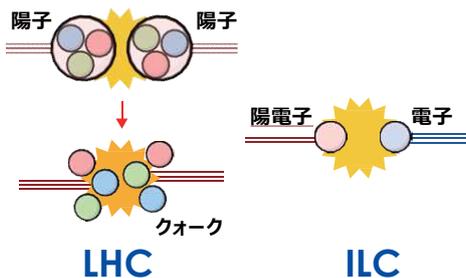
すでにヒッグス粒子を発見、同定するなどの成果を上げており、現在も標準理論に枠に収まらない新粒子の発見やヒッグス粒子の詳細測定など、標準理論を超える物理の発見に向けて実験を行っている。

未踏のエネルギー領域の探索

ILC (International Linear Collider) : 国際リニアコライダー計画 | 国際プロジェクト



ILC全体イメージ © ILC/Form One



ILCでは電子と陽電子を加速させて衝突させるため、陽子同士の反応と比べて、いろいろな探索や精密測定の際の障害となるバックグラウンド事象が少ない。また陽子を構成しているクォーク同士の衝突 (LHC) と、レプトンである電子陽電子の同士衝突 (ILC) では、異なるタイプの新粒子が探索を行うことができる。

■製作期間

建設と調整に約10年を計画。

■大きさ

地下トンネル中に長さ20.5kmの直線加速器を設置する。

■科学者の人数

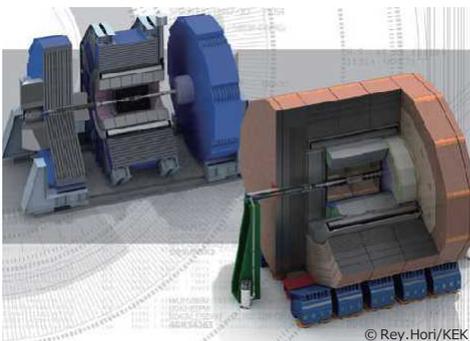
建設に必要な研究者・技術者が約500人必要と試算されている。

■概要

ILCではLHCと違い、陽子ではなく電子と陽電子を用いて衝突実験を行う。LHCが用いる陽子はハドロンであるのでクォーク3つからできているため、多数のクォークの反応を考えないといけないことに比べ、ILCで用いる電子と陽電子であればどちらもレプトン、素粒子であり、反応が起こる状態がとてもはっきりしているという利点がある。電子と陽電子それぞれ5.5km直線型加速器でそれぞれ125GeVに加速させ、中央の検出器部で衝突させる。

■成果

LHCがこれからどのような発見をするかによってILCに求められる成果は変わってくるが、新粒子の探索やヒッグス粒子の精密測定による標準理論を超える新しい大きな枠組みの発見、ダークマター探索などが考えられる。

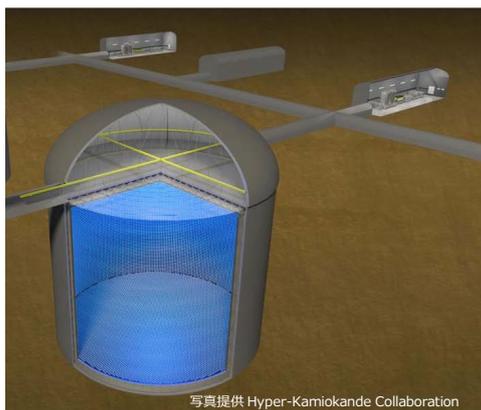


ILCで使われる2種類の検出器 (イメージ)。

ニュートリノ・陽子崩壊実験

Super-Kamiokande, Hyper-Kamiokande | 東京大学 宇宙線研究所

建設費 約104億円 (Super-K) 、約675億円 (Hyper-K、うち日本負担分 約551億円)



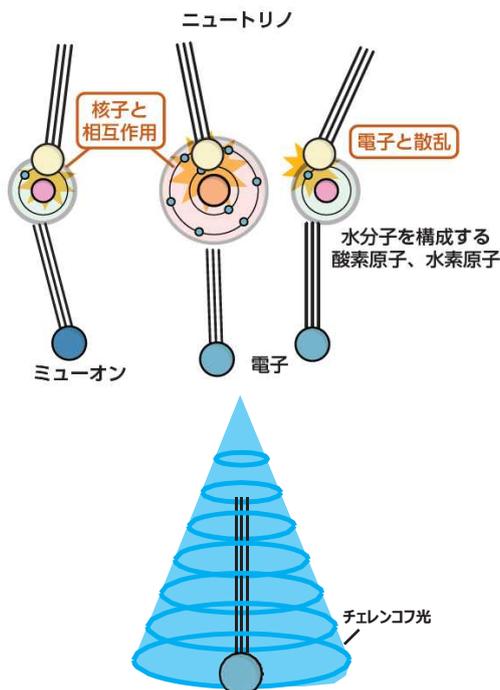
写真提供 Hyper-Kamiokande Collaboration

Hyper-Kamiokande外観イメージ



写真提供 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

内部から見たSuper-Kamiokande



純水の詰まったタンクに入射したニュートリノが、核子と相互作用して電子やミュオンを生成、あるいは電子と散乱して電子を弾き飛ばす。その電子やミュオンが水中を走ることによってチェレンコフ光が発生する。

■製作期間

1991年建設開始、1996年4月運転開始 (SK)。

■大きさ

岐阜県飛騨市神岡町にある神岡鉱山の地下1000mに、直径39.3m高さ41.4mの円筒形の水タンクが設置されている。

■科学者の人数

約130名。

■概要

Super-Kamiokande (SK) のタンクには純水が約5万トン詰まっており、入射したニュートリノが核子と相互作用してミュオンや電子を生成、あるいは電子と散乱して電子を弾き飛ばす。それがチェレンコフ光を発生させ、タンク壁面に設置されている光電子増倍管で検出する。宇宙線や太陽が作るニュートリノを捉えるとともに、J-PARCで生成したニュートリノの検出実験も行っている。今後、その10倍のサイズのHyper-Kamiokandeの建設も計画されている。

■成果

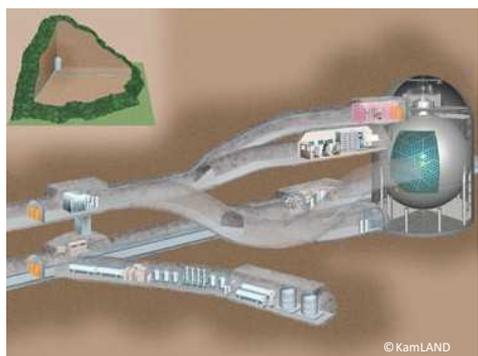
宇宙線が大気突入の際に生じる大気ニュートリノの観測によって、ニュートリノの種類が変わる「ニュートリノ振動」を発見した。また陽子崩壊の探索によって、大統一理論構築への貢献を目指している。

ニュートリノ・陽子崩壊実験

KamLAND (Kamioka Liquid Scintillator Anti-Neutrino Detector) | 東北大学

KamLAND-Zen (KamLAND Zero Neutrino Double Beta Decay Experiment)

建設費 約25億円 (KamLAND)



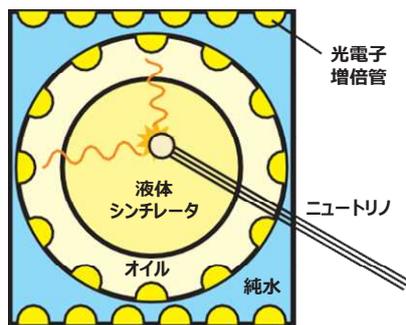
© KamLAND

神岡鉱山、Kamiokande検出器の跡地・装置を再利用して建設された。

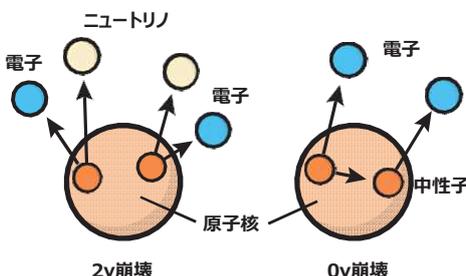


© KamLAND

ステンレス球の内面に設置された光電子増倍管。



KamLANDの構造イメージ。液体シンチレータに入射したニュートリノが発光を引き起こし、それを検出。



二重ベータ崩壊にはニュートリノを出さないモード (0ν崩壊) があり、それは標準理論を超えた反応となる。

■製作期間

1998年建設開始、2002年実験開始 (KamLAND)。

■大きさ

高さ20m直径18mの水タンクの中心部に1000トンの液体シンチレータが設置されている。神岡のKamiokande実験の装置と場所を譲り受け、建設された。

■科学者の人数

現在のグループメンバーの数は約80名。

■概要

Super-Kamiokandeでは見ることが難しいエネルギーの低いニュートリノの観測、標準理論の枠組みを超えた二重ベータ崩壊の探索等を目的として建設された。装置は純水、透明なオイル、液体シンチレータの3層構造。液体シンチレータ内部でニュートリノが反応を起こすと発光し、直径18mのステンレス球体タンクの内面に取り付けられた光電子増倍管でその光を検出する。またKamLAND-Zenでは液体シンチレータにキセノン136を添加することで、二重ベータ崩壊の観測を可能としている。

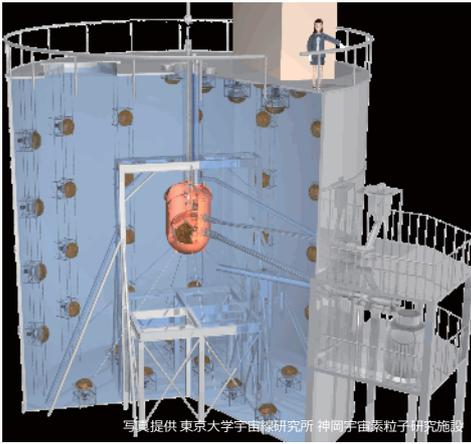
■成果

原子炉で生成されるニュートリノの検出からニュートリノ振動の発見・解明につながった。また地球内部で生成されているニュートリノの観測にも成功し、地球内部のダイナミクスの解明に貢献している。

暗黒物質直接探査

XMASS (Xenon MASSive detector for dark matter) | 東京大学 宇宙線研究所

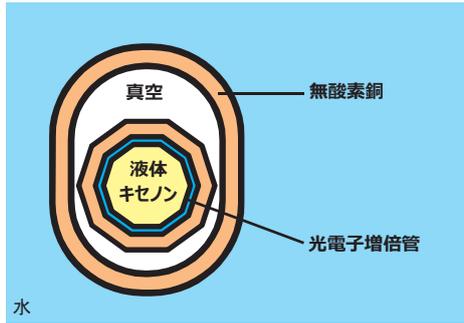
建設費 約7億円



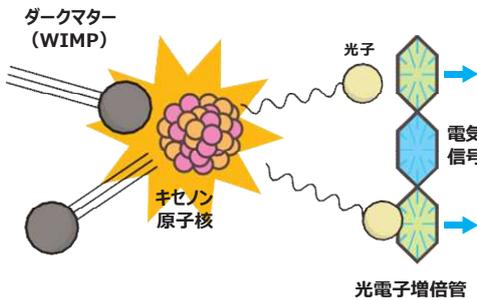
XMASS全体イメージ。



液体キセノンが入っている検出器の中心部分。円盤一つ一つが光電子増倍管とつながっている。



検出器の中心となる液体キセノンは-100℃で冷却されている必要があるので、真空断熱されている。



ダークマターがキセノン原子核と衝突するとそのエネルギーで発光するので、それを光電子増倍管で検出する。

■製作期間

2007年建設開始、2010年試験観測開始。

■大きさ

直径10m高さ10mの水タンクの中心部に、800kgの液体キセノンを使った検出器が設置されている。岐阜県飛騨市神岡町にある神岡鉱山の地下1000mに建設された。

■科学者の人数

約40名。

■概要

液体キセノンをういたダークマター検出を目的とする実験装置。外部からの放射線バックグラウンドを遮蔽するための水層、断熱のための真空層、ダークマター検出のための液体キセノン800kgの3層構造となっている。キセノン原子核とダークマターが衝突することで液体キセノンがそのエネルギーに比例して発光するため、それをまわりに多数設置した光電子増倍管で検出するという方法でダークマターの探索を行っている。

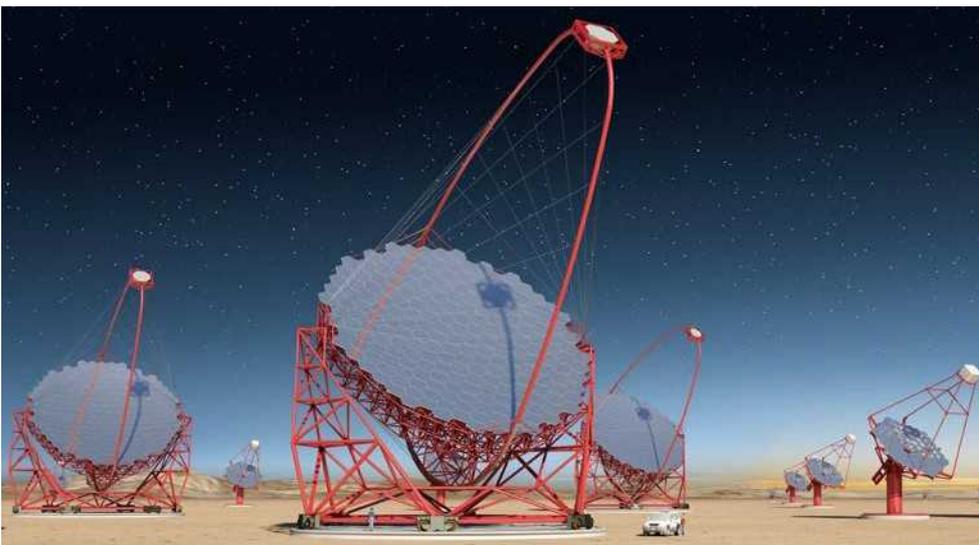
■成果

現在までに様々な暗黒物質の候補の探索を世界最高感度で行い、それらがダークマターであるというシナリオを否定するなどの成果をあげている。2018年をもってデータ収集終了。

宇宙ガンマ線観測

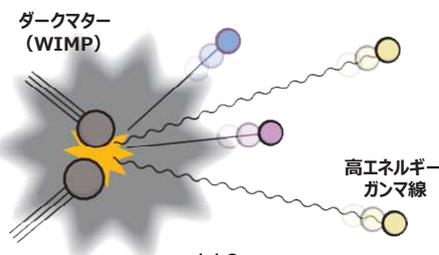
CTA (Cherenkov Telescope Array) | CTAコンソーシアム(国際プロジェクト)

建設費 約148億円 (うち日本負担分 約46億円(予定))



CTAイメージ。北半球には23m大口径望遠鏡4台、12m 中口径望遠鏡15台が、南半球には23m大口径望遠鏡4台、12m中口径望遠鏡25台、4m小口径望遠鏡70台が設置される。

ダークマターが集積していると考えられる様々な場所に対して、ダークマターの対消滅によって生成されるガンマ線の探索を行う。



■製作期間

2015年建設開始、2020年フルアレイ観測開始予定。

■大きさ

南半球に99台、北半球に19台の望遠鏡を、それぞれ 3km²、1km²の領域に敷きつめた天文台。

■科学者の人数

32か国1200名以上の国際協力による。

■概要

CTA計画とは、地球大気に入射してきた高エネルギーガンマ線が大気中で生成する大量の電子と陽電子(電磁シャワー)が引き起こすチェレンコフ光を、南半球99台、北半球19台の反射望遠鏡を敷き詰めた大規模な天文台で観測するというもの。これは現在稼働している望遠鏡の10倍の感度を持ち、エネルギー領域を20GeV-200TeVまでカバーして観測を行うことができる予定である。

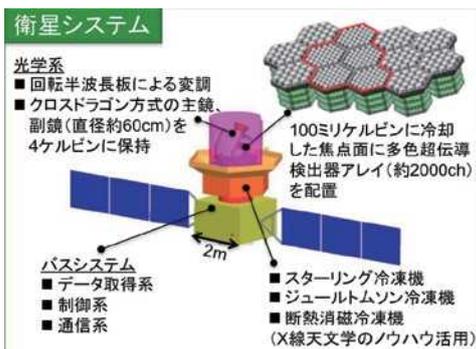
■成果

CTA計画によって宇宙線の起源や高エネルギー天体の研究ができるなど様々な成果が期待されるが、素粒子物理学に対するインパクトとしては暗黒物質が対消滅することによって発生するガンマ線の探索や一般相対性理論の高精度検証などがある。

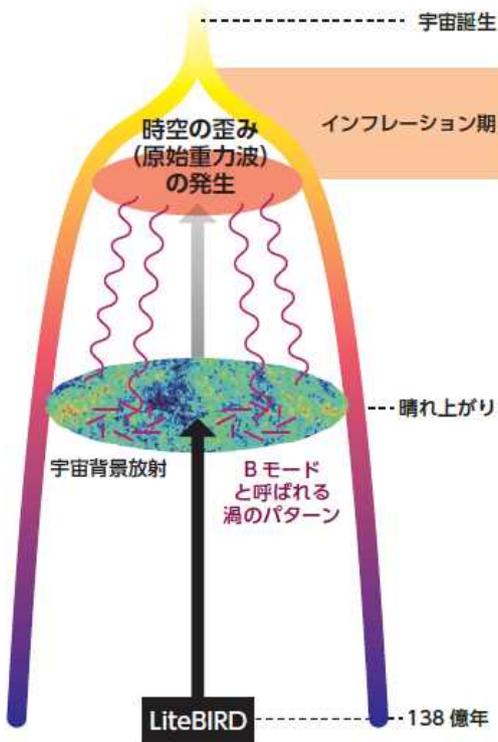
宇宙背景輻射観測 (Bモード偏光観測)

LiteBIRD | Kavli IPMU、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 等

開発費 約50億円 (初期投資・打ち上げ費用等を除く、計画段階)



LiteBIRDイメージ



LiteBIRDでは宇宙背景放射の偏光を調べることによって、その向う側にあるインフレーション期の原始重力波 (時空の歪み) の痕跡を探し出す。

■ 製作期間

2020年代前半打ち上げを目指す。

■ 大きさ

人工衛星。

■ 科学者の人数

約120名。

■ 概要

LiteBIRDは宇宙誕生直後に起きたとされているインフレーションの際に生成された原始重力波を、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光の全天精密観測を行うことで探索する、代表的なインフレーションモデルの検証を目的とした観測衛星である。CMB偏光のうち、渦状の 패턴を持つBモードと呼ばれる偏光が原始重力波の痕跡とされており、LiteBIRDはその検出に焦点を絞った設計になっている。そのために解像度など妥協できる点では妥協を行って、軽量化・小型化を図っている。

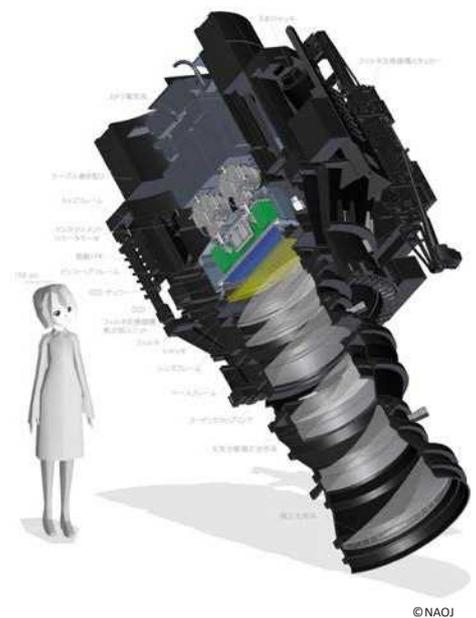
■ 成果

LiteBIRDの測定に要求する精度をこれまでで最も感度の高いCMB観測衛星Planckと比べて約100倍の感度に相当するものとしている。原始重力波の検出による代表的なインフレーションモデルの検証を行うことができる予定である。

大規模銀河サーベイ

SuMIRe (Subaru Measurement of Images and Redshifts) | Kavli IPMU、国立天文台

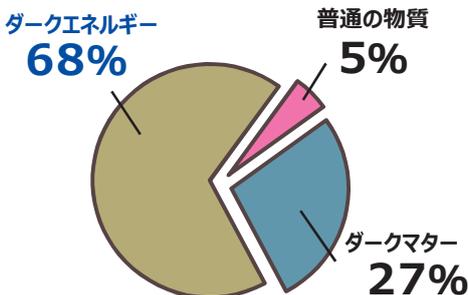
建設費 約140億円 (HSC 約60億円 / PFS 約80億円(予定))



すばる望遠鏡の主焦点に設置されている、広視野CCDカメラ、Hyper Suprime-Cam (HSC)。



ハワイ、すばる望遠鏡。



宇宙のエネルギーの組成のうち、理解が進んでいるものは約5%にすぎず、残りのダークマターとダークエネルギーが宇宙の歴史と運命を解く鍵を握っている。

■ 製作期間

HSC : 2002年-12年

PFS : 2010年-21年 (予定)

■ 大きさ

高さ3メートル, 重さ3トン。

■ 科学者の人数

6カ国200名 (日本は約半数)。

■ 概要

ハワイ島のマウナケア山上にある国立天文台のすばる望遠鏡の主焦点に設置する約9億ピクセルの超広視野カメラ (HSC) と銀河の光のスペクトルを測る超広視野分光器 (Prime Focus Spectrograph, PFS) によって、約400万個の遠方銀河の分布を正確に調べるといふもの。この観測によって、本来見ることができないはずのダークマターの3次元分布図の制作、宇宙膨張の加速の原因とされているダークエネルギーや、宇宙膨張の歴史と運命の解明を目指している。

■ 成果

本プロジェクトの観測結果によって宇宙膨張の歴史が解明されることにより、宇宙のエネルギーの68%を占めるとされているダークエネルギーの正体に迫ること、そして膨張していく宇宙の将来、宇宙の終わりの予測ができることと期待されている。

国際リニアコライダー（ILC）計画に関する
経済的波及効果の再計算結果

報告書

平成 30 年 5 月

株式会社 野村総合研究所

目 次

1. ILC の経済波及効果の再計算	1
1) 経済波及効果推計の枠組み.....	1
2) ILC の「建設・活動による経済波及効果」の推計	4
3) ILC の「技術開発による経済波及効果」の推計.....	10
4) ILC の経済波及効果 再計算結果のまとめ.....	14
(参考) 産業連関表の更新による経済波及効果推計結果への影響.....	15

1. ILC の経済波及効果の再計算

ILC の「技術設計報告書（以下、TDR）」の見直しに伴い、使用する統計データ等も更新した上で、ILC の経済波及効果の再計算を行った。

経済波及効果推計の枠組みや対象・項目等については、2014 年度推計からの変更点はない。一方、個別項目の推計方法については、必要に応じ変更を行った。

1) 経済波及効果推計の枠組み

(1) 経済波及効果推計の前提

- ① ILC を効果発生源とする ILC 固有の経済波及効果を算出する。
- ② ILC 建設の日本負担額（本調査で想定）を前提とした、日本国内（産業）へ及ぶ経済波及効果を算出する。¹
- ③ ILC の効果発生源となる支出額は、原則、TDR に示される数字を前提とする。
- ④ ILC 経済波及効果（発生額）の計測期間は、建設期間 10 年＋運用期間 10 年の 20 年間とする。
- ⑤ ILC の「建設」の経済波及効果については、TDR に未掲載、かつ ILC 固有に発生するものの現時点で前提条件が未確定な以下の経費（投資的支出）は、効果発生源の中に含めない。
 - 準備経費：
詳細設計、量産技術検証、公的 R&D 支出、人材育成・技術移転関連経費等
 - 共通基盤経費：
土地取得費、アクセス道路・ライフライン等のインフラ整備費、計算機環境整備、安全整備等に関わる経費
 - 主要研究施設建設費：
「ILC 国際研究所（仮称）」の研究棟・実験施設等の建設費
(世界各国研究機関等の ILC への出先オフィス等の施設含む)
- ⑥ ILC の「活動」の経済波及効果については、TDR に未掲載、かつ ILC 固有の支出として発生するものの現時点で前提条件が未確定な以下の支出は、効果発生源の中に含めない。
 - 参加立地研究機関の運営費支出：
「ILC 国際研究所（仮称）」以外に ILC への立地が想定される、世界各国研究機関（出先オフィス）の運営支出
 - ILC 関係の来訪者・会議参加者による消費支出：
ILC 施設の見学者、ILC 関連の国際会議（素粒子物理、加速器等）への参加者の消費支出

¹ ここで計算の対象とする経済波及効果は、ILC 建設の予算が国家予算の中で純増したと仮定して計算を行う。本建設予算が純増ではなく、他の国家予算を削ることにより捻出された場合は、その分のマイナスの効果が発生するが、本分析においては加味しない。

(2) 経済波及効果推計の対象と項目

① ILC の「建設・活動による経済波及効果」

ILC の推進母体（「ILC 国際研究所（仮称）」）が、ILC の建設・活動にともなって外部に支出する金銭（調達発注、職員給与支払等）を源泉として、産業へ波及する経済効果（生産額や所得額の増加）のことである。

② ILC の「技術開発による経済波及効果」

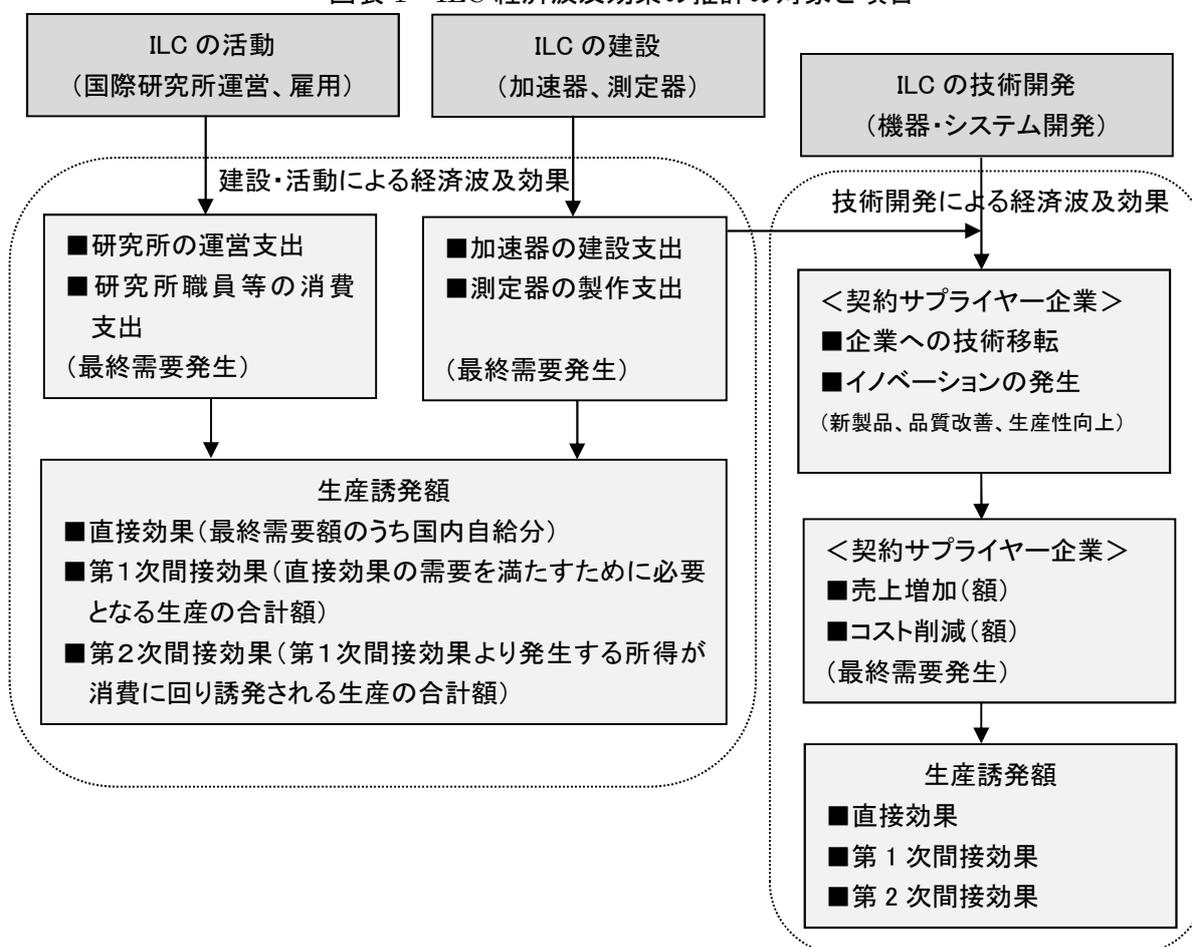
「ILC 国際研究所（仮称）」や研究機関（KEK 等）が、ILC の事前研究実証及び建設段階で実施する技術開発（新規・改善）を源泉として、ILC 国際研究所（仮称）の「契約サプライヤー産業」に技術面・製品面でのイノベーションが起こり、売上（収入）の拡大がもたらされる経済効果のことである。

③ 経済波及効果の推計項目

経済波及効果は、上記①及び②の支出額を「最終需要額」として、そこから発生する「生産誘発額」を次の3つの効果の合計として推計する。

- 直接効果（最終需要額のうち国内自給分）
- 第1次間接効果（直接効果の需要を満たすために必要となる生産の合計額）
- 第2次間接効果（第1次間接効果より発生する所得が消費に回り誘発される生産の合計額）

図表1 ILC 経済波及効果の推計の対象と項目



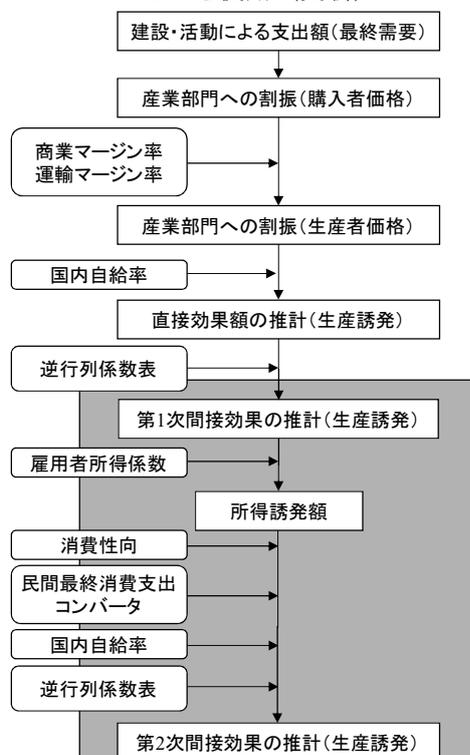
図表 2 経済波及効果の推計項目の説明

- 最終需要：ある産業に追加的に新たな需要が生じた場合の需要の合計額
- 生産誘発額：以下の「直接効果」と「間接効果（第1次間接効果＋第2次間接効果）」の合計額
- 直接効果：最終需要額から海外消費分を除いた金額。なお、最終需要額（総消費額）は、購入者価格からマージン分（商業マージン＋運輸マージン）を差し引いて、生産者価格に相当する部分を当該部門に配分し、マージン分は商業部門と運輸部門に配分
- 間接効果：「第1次間接効果」（直接効果の需要を満たすために必要となる生産の合計）、及び「第2次間接効果」（第1次間接効果によって誘発される所得の一定割合が消費に回ることによって喚起される需要を賄うために発生する生産の合計）の総合計

（出所）野村総合研究所作成

④経済波及効果の推計方法

- 建設：ILC 建設期間 10 年における、ILC 装置・施設の製作及び建設投資による経済波及効果を推計
- 活動：ILC 運用期間 10 年＋建設期間 10 年（一部活動）における、「ILC 国際研究所（仮称）」の運営支出、研究者・技術者等の消費支出による経済波及効果を推計
- 平成 26 年（2014 年）延長産業連関表＜全国：54 部門＞を使用（確定値として最新）。逆行列係数は、 $[I - (I - \hat{M})A]^{-1}$ を使用（更新）



2) ILC の「建設・活動による経済波及効果」の推計

(1) ILC の「建設」に伴う支出額

ILC の「建設」に伴う支出額の計算方法は、2014 年度調査と同様とし、TDR²の費用見積り額の見直し結果のみ反映した。

TDR によれば、ILC の加速器建設費は、見直しの結果、5,152～5,830 億円と見積もられている（見直し前は 8,309 億円）。その内訳は、加速器本体建設費（超伝導加速空洞、加速器要素等）が 3,439～3,863 億円、土木・建築工事費が 1,110～1,290 億円、施設整備費が 603～677 億円（基幹部整備費 223～250 億円、加速器付帯部整備費 380～427 億円）となっている。

また、測定器建設費は、2つの国際的研究グループで合せて2台の建設が提案されており、総額 766 億円と見積もられている。

以上を合計すると、ILC の建設投資額は 5,918～6,596 億円（加速器+測定器建設）となる。そのうち、日本における定量的な経済波及効果の対象となる建設投資額は、土木・建築工事は日本国内への発注、加速器本体建設費、加速器付帯部整備費、測定器建設費は、日本・米国・欧州で等分に発注（ILC 建設投資額の負担割合を各 33%と想定）と想定すると、全体で 2,846～3,209 億円になると推計される。

経済波及効果の計算においては、土木・建築工事費（1,110～1,290 億円）ならびに機器調達費として施設整備費・加速器本体建設費・測定器建設費の日本負担額の合計値（1,736～1,919 億円）を使用した（図表 3 中の青枠部分）。

図表 3 ILC 建設投資額の想定

費用項目		2014年度			再計算・最小シナリオ		再計算・最大シナリオ	
		ILC建設費 【TDR見積】	日本負担額 【想定】	日本負担割合 【想定】(注3)	ILC建設費 【TDR見積】	日本負担額 【想定】	ILC建設費 【TDR見積】	日本負担額 【想定】
■加速器建設費	A	8,309	4,062		5,152	2,593	5,830	2,956
●土木・建築工事費	a	1,600	1,600	100%	1,110	1,110	1,290	1,290
●施設整備費	b	1,001	578		603	348	677	391
－基幹部整備費	b1	370	370	100%	223	223	250	250
－加速器付帯部整備費	b2	631	208	33%	380	125	427	141
●加速器本体建設費(注1)	c	5,708	1,884	33%	3,439	1,135	3,863	1,275
■測定器建設費(注2)	B	766	253	33%	766	253	766	253
合計		9,075	4,315		5,918	2,846	6,596	3,209
加速器本体(=b+c)		6,709	2,462		4,042	1,483	4,540	1,666
機器調達費計(=b+c+B)		7,475	2,715		4,808	1,736	5,306	1,919

(注1) 超伝導加速空洞、加速器要素等 : TDR資料に記載のある値
(注2) 測定器2台 (SiD、ILD) : 最小シナリオ計算に使用
(注3) 土木・建築工事、基幹部整備費は、日本が全負担(100%)と想定 : 最大シナリオ計算に使用
加速器本体建設費、加速器付帯部整備費、測定器建設費は、日・米・欧で等分に負担する(各33%)と想定 : 2014年度計算に使用

(出所) 文部科学省「本部会で聴取した ILC 計画の見積りの概要 (500GeV ILC/250GeV ILC 比較表)」に示される経費額をもとに想定

² 「本部会で聴取した ILC 計画の見積りの概要 (500GeV ILC/250GeV ILC 比較表)」を参照した。

(2) ILC の「活動」に伴う支出額

①研究機関等の運営費支出

ILC の「活動」に伴う支出額のうち、研究機関等の運営費支出の計算方法は、2014 年度調査と同様とし、TDR の費用見積り額の見直し結果のみ反映した。

ILC 国際研究所（仮称）の運営費用（職員人件費除く）は、TDR において年間 290 ～316 億円（電気代、メンテナンス・保守代、委託費等）と見積もられている（見直し前は 390 億円）。したがって、運用期間 10 年の累積では、2,900～3,160 億円になる。

また、建設期間においては、機器の運転は行われなるとの仮定のもと、運営費は 0 とした。これにより、ILC の建設期間+運用期間 20 年間の累積運営費支出額は、運用期間のそれと等しい、2,900～3,160 億円になると推計される（見直し前は 5,850 億円）。

図表 4 ILC の研究機関等の運営費支出額の推計結果

分野		最小シナリオ					最大シナリオ					算出の方法
		建設期間(10年)		運用期間(10年)		建設+運用	建設期間(10年)		運用期間(10年)		建設+運用	
		年間 支出額 (億円)	10年間 累計額 (億円)	年間 支出額 (億円)	10年間 累計額 (億円)	20年間 累計額 (億円)	年間 支出額 (億円)	10年間 累計額 (億円)	年間 支出額 (億円)	10年間 累計額 (億円)	20年間 累計額 (億円)	
研究機関 運営費支出	■ILC国際研究所(仮称)運営費 (水道光熱費、維持管理費、調 達費等)	0	0	290	2,900	2,900	0	0	316	3,160	3,160	●ILCのTDRに示される年間運転経費額、290～316億円を前提。な お、運転経費には職員人件費は含まれない。 ●建設期間の運転経費額は0と想定。

②ILC 関連研究者・技術者等の消費支出

ILC の「活動」に伴う支出額のうち、ILC 関連研究者・技術者等の消費支出の計算方法は、人口推計を伴う 2014 年度調査の方法から、TDR に明示されている数値に準拠する計算方法に変更し、TDR の費用見直し結果をより忠実に再現できるようにした。

ILC 関連の研究者・技術者、事務職員（ILC 国際研究所職員+実験参加研究者等+支援者等）は、建設期間から運用期間にかけて消費支出を発生させる³。建設期間+運用期間 20 年間の研究者等の累計消費支出額は、TDR に記載されている労務費を基に計算した結果、約 1,212 億円になると推計される⁴。

³ 2014 年度調査では、建設期間の建設関連従業者による消費支出、さらに運用期間では ILC 国際研究所から委託される保守運用外部委託サービス従業者による消費支出も計算の対象とした。当該消費支出の波及効果は、土木・建築工事ならびに維持管理費の支払の結果、当該工事やサービスの発注を受ける企業の従業員の所得が誘発されることで増加する消費支出（第 2 次間接効果）として別途把握されるため、今回は計算の対象外とした。

⁴ 2014 年度調査では、TDR に記載されている労務費は分析に使用せず、人口推計等を基に計算を行い、建設期間+運用期間 20 年間の研究者等の累計消費支出額は約 1,666 億円と推計されていた。

図表 5 ILC 研究者・技術者等の消費支出

分野	最小シナリオ					最大シナリオ					算出の方法		
	建設期間(10年)		運用期間(10年)			建設+運用	建設期間(10年)		運用期間(10年)			建設+運用	
	年間支出額	10年間累計額	年間支出額	10年間累計額	20年間累計額	年間支出額	10年間累計額	年間支出額	10年間累計額	20年間累計額			
	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)			
研究者等消費支出 ■研究者・職員等消費支出 (ILC関連研究者、工事・保守・運転に係る技術者、事務職員等の世帯消費支出)	-	793	42	419	1,212	-	793	42	419	1,212	●ILCのTDRに示される労務費は、建設期間1,198億円(本体)+239億円(測定器)=1,437億円(10年間の合計)、運転期間76億円/年。 ●上記から法定福利費・引当金等相当額を除き(注1)、消費性向(注2)を乗じて算出。		

(注1) ILC の TDR に示される労務費に占める法定福利費・引当金等相当額の比率は、17%。KEK の 2016 年度財務諸表を元に計算。

(注2) ILC 国際研究所職員の平均消費性向は、0.665。ILC 国際研究所職員（研究者、技術者、事務職員等）の平均年収は、CERN の 2016 年の俸給額実績をもとに、1,057 万円/人・年と想定し、2014 年「全国消費実態調査」より、年間所得階級 1000～1250 万円の 2 人以上勤労者世帯の消費支出を勤め先収入で除した数字を採用。推計結果は、建設期間：1,437 億円×(1-17%)×0.665=約 793 億円(表中青枠)、運用期間：76 億円×(1-17%)×0.665=約 42 億円/年(表中赤枠)となった。

③ILC の「活動」に伴う支出額の合計（まとめ）

以上を合計すると、ILC の「活動」により発生する関連支出額は、建設期間（10 年間）と運用期間（10 年間）の総合計で 4,112～4,372 億円になると推計される。

図表 6 ILC の「活動」に伴う関連支出額の推計

分野	最小シナリオ					最大シナリオ						
	建設期間(10年)		運用期間(10年)			建設+運用	建設期間(10年)		運用期間(10年)			建設+運用
	年間支出額	10年間累計額	年間支出額	10年間累計額	20年間累計額	年間支出額	10年間累計額	年間支出額	10年間累計額	20年間累計額		
	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)		
研究機関運営費支出 ■ILC国際研究所(仮称)運営費 (水道光熱費、維持管理費、調達費等)	0	0	290	2,900	2,900	0	0	316	3,160	3,160		
研究者等消費支出 ■研究者・職員等消費支出 (ILC関連研究者、工事・保守・運転に係る技術者、事務職員等の世帯消費支出)	-	793	42	419	1,212	-	793	42	419	1,212		
合計	0	793	332	3,319	4,112	0	793	358	3,579	4,372		

(出所) 野村総合研究所推計・作成

図表 7 (参考) ILC の「活動」に伴う関連支出額の推計 (2014 年度調査時)

【ILCの活動による支出額のみまとめ表】

分野		建設期間(10年)		運用期間(10年)		建設+運用	算出の方法
		年間支出額	10年間累計額	年間支出額	10年間累計額	20年間累計額	
		(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	
研究機関運営費支出	■ILC国際研究所(仮称)運営費(水道光熱費、維持管理費、調達費等)	195	1,950	390	3,900	5,850	●ILCのTDRIに示される年間運転経費額、390億円を前提。なお、運転経費には職員人件費は含まれない。 ●建設期間の活動支出は、運用期間の50%(注1)を想定
研究者等消費支出	■研究者・職員等消費支出(ILC関連研究者、技術者、事務職員の世帯消費支出)	70	703	96	963	1,666	●ILC国際研究所職員(建設期間年平均914人、運用期間年平均1,200人)の平均年収(注2)×平均消費性向(注3)により算出 ●実験参加研究者等+支援者等のうち家族附帯者(建設期間年平均58人、運用期間年平均151人)の平均年収(注4)×平均消費性向(注5)により算出
	■工事・保守運用従事者消費支出(建設工事従業者、保守運用従業者の世帯消費支出)	97	970	14	139	1,109	●建設工事従事者(建設期間年平均2,491人)の平均年収(注6)×平均消費性向(注7)により算出 ●保守運用従業者(建設期間年平均274人、運用期間年平均360人)の平均年収(注8)×平均消費性向(注9)により算出
合計		362	3,623	500	5,002	8,625	

(注1) ILC国際研究所の運用期間の年平均職員数(1,200人)に対する建設期間の年平均職員数(914人)の比率76%。
運用期間の運転経費から、機器等除く支出割合は69%(機器調達は建設投資に含まれる)。⇒76%×69%≒50%と想定

(注2) ILC国際研究所職員(研究者、技術者、事務職員等)の平均年収は、CERNの2013年の俸給額実績をもとに、1,080万円/人・年と想定

(注3) ILC国際研究所職員の平均消費性向は、0.681。2009年「全国消費実態調査」より、年間所得階級1000～1250万円の2人以上勤労者世帯の消費支出を勤め先収入で除した数字

(注4) 実験参加研究者等の平均年収は、KEKの2016年度の役職員給与額の実態をもとに770万円/人・年と想定

(注5) 実験参加研究者等の平均消費性向は、0.771。2009年「全国消費実態調査」より、年間所得階級650～700万円の2人以上勤労者世帯の消費支出を勤め先収入で除した数字

(注6) 建設工事従事者の平均年収は、「賃金構造基本統計調査報告」(H25年度)より、410万円/人・年と想定
金属・建築塗装工、機械製図工、建設機械運転工、電気工、配管工、土工の給与+賞与の平均額

(注7) 建設工事従事者の平均消費性向は、0.846。2009年「全国消費実態調査」より、年間所得階級400～450万円の2人以上勤労者世帯の消費支出を勤め先収入で除した数字

(注8) 保守運用従事者の平均年収は、「賃金構造基本統計調査報告」(H25年度)より、470万円/人・年と想定
機械検査工、機械修理工の給与+賞与の平均額

(注9) 保守運用従事者の平均消費性向は、0.822。2009年「全国消費実態調査」より、年間所得階級450～500万円の2人以上勤労者世帯の消費支出を勤め先収入で除した数字

(3) ILCの「建設」及び「活動」による経済波及効果の推計

前記の ILC の「建設」及び「活動」による経済波及効果を、全国産業連関表を用いて推計すると以下のとおりとなる。

- ILC の建設期間（10 年）における「建設」に係る最終需要（購入者価格ベース建設額）は、合計で 2,846～3,209 億円である。
- 建設期間（10 年）及び運用期間（10 年）を通じた、「活動」による最終需要（購入者価格ベース消費支出額）は、4,112～4,372 億円である。
- 以上の最終需要 6,958～7,581 億円（2,846 億円+4,112 億円～3,209 億円+4,372 億円）の発生により誘発される生産誘発額は、1 兆 4,287 億円～1 兆 5,620 億円になると推計される。
- ILC から発生する最終需要金額 6,958～7,581 億円に対して、経済波及によって誘発される国内生産額 1 兆 4,287 億円～1 兆 5,620 億円は、2.05～2.06 倍（乗数）となる<ILC 建設は 2.26 倍、ILC 活動は 1.91 倍>。

図表 8 ILC の「建設」及び「活動」による経済波及効果（全国ベース）

再計算結果(最小シナリオ)

	ILC建設	ILC活動	合計
最終需要 (億円)	2,846	4,112	6,958
生産誘発額 (億円)	6,422	7,865	14,287
直接効果	2,527	3,813	6,340
第1次間接効果	2,547	2,430	4,977
第2次間接効果	1,349	1,621	2,970
(内)粗付加価値誘発額 (億円)	2,674	4,059	6,733
(内)雇用者所得誘発額 (億円)	1,649	2,152	3,801
誘発雇用者数 <総数> (千人)	34.2	49.0	83.2
誘発雇用者数 <年平均> (千人・年)	3.4	2.5	2.8

再計算結果(最大シナリオ)

	ILC建設	ILC活動	合計
最終需要 (億円)	3,209	4,372	7,581
生産誘発額 (億円)	7,255	8,365	15,620
直接効果	2,856	4,051	6,907
第1次間接効果	2,865	2,589	5,454
第2次間接効果	1,534	1,725	3,259
(内)粗付加価値誘発額 (億円)	3,031	4,306	7,337
(内)雇用者所得誘発額 (億円)	1,875	2,290	4,165
誘発雇用者数 <総数> (千人)	38.9	52.1	91.0
誘発雇用者数 <年平均> (千人・年)	3.9	2.6	3.0

(出所) 野村総合研究所推計・作成

図表 9 経済波及効果の推計項目の説明

■最終需要：
ある産業に追加的に新たな需要が生じた場合の需要の合計額
■生産誘発額：
以下の「直接効果」と「間接効果（第1次間接効果＋第2次間接効果）」の合計額
■直接効果：
最終需要額から海外消費分を除いた金額。なお、最終需要額（総消費額）は、購入者価格からマージン分（商業マージン＋運輸マージン）を差し引いて、生産者価格に相当する部分を当該部門に配分し、マージン分は商業部門と運輸部門に配分
■間接効果：
「第1次間接効果」（直接効果の需要を満たすために必要となる生産の合計）、及び「第2次間接効果」（第1次間接効果によって誘発される所得の一定割合が消費に回ることによって喚起される需要を賄うために発生する生産の合計）の総合計
■粗付加価値誘発額：
ある産業が生産する財サービスから、当該産業の生産に必要な財やサービスの購入分を差し引いた残りの分。粗付加価値を構成する主な項目は、「雇用者所得」「営業余剰」「資本減耗引当金（減価償却費）」
■雇用者所得誘発額：
上記の粗付加価値誘発額の構成要素。直接効果、第1次間接効果、第2次間接効果の発生に伴い誘発される雇用者所得額
■誘発雇用者数：
直接効果・間接効果を通じて増加する雇用者所得で賄うことができる新規の雇用者数と、直接効果・間接効果を通じて増加する営業余剰に応じて増加する個人事業主等の合計。なお、雇用者は、有給役員、常用雇用者、臨時・日雇からなり、個人事業主等は、個人事業主、家族従業者を指す。誘発雇用者数＝雇用者所得誘発額×雇用者係数

（出所）野村総合研究所作成

これらの ILC からの付加ビジネス発生額がもたらす、経済波及効果は生産誘発額で 9,489 億円～1 兆 489 億円程度になると推計される。

図表 11 ILC 契約サプライヤー産業のビジネス拡大額及び経済波及効果

再計算結果(最小シナリオ)

	ILC建設	ILCによる 付加ビジネス 発生額
最終需要 (億円)	2,846	5,208
生産誘発額 (億円)	6,422	9,489
直接効果	2,527	3,919
第1次間接効果	2,547	3,774
第2次間接効果	1,349	1,795
(内)粗付加価値誘発額 (億円)	2,674	3,895
(内)雇用者所得誘発額 (億円)	1,649	2,360
誘発雇用者数 <総数> (千人)	34.2	49.4
誘発雇用者数 <年平均> (千人・年)	3.4	

再計算結果(最大シナリオ)

	ILC建設	ILCによる 付加ビジネス 発生額
最終需要 (億円)	3,209	5,757
生産誘発額 (億円)	7,255	10,489
直接効果	2,856	4,333
第1次間接効果	2,865	4,172
第2次間接効果	1,534	1,984
(内)粗付加価値誘発額 (億円)	3,031	4,305
(内)雇用者所得誘発額 (億円)	1,875	2,608
誘発雇用者数 <総数> (千人)	38.9	54.6
誘発雇用者数 <年平均> (千人・年)	3.9	

(出所) 野村総合研究所推計・作成

なお、以上のような CERN のビジネス拡大係数「3.0」を採用する基本的な考え方と前提は、次のとおりである。

■CERN の付加ビジネス拡大係数は、次の前提のもとに観測され、実現されている。

(a)CERN との調達契約の結果としてもたらされた、企業の「新製品開発販売、品質改善、生産性の向上」による「売上増加額」と「コスト削減額」の合計金額を、2 次的経済インパクト (the “secondary” economic impact of CERN) として定義し、その額を捉えたものである (CERN へ加速器関連のハイテク機器を納入した企業へのインタビュー調査により把握)。

(b)CERN は LHC の建設が始まった 1990 年代後半より以前の SPS の建設段階から

以上のような契約企業によるビジネス拡大が確認されるとともに、LHC の建設過程においてはそれ以上に活発な技術移転とそれによるイノベーションの加速が起こったと報告されている。例えば、ある調査では「大規模な物理研究プログラム<LHC>は、イノベーションを加速する」「LHC は、多様性に富んだ技術・ノウハウを育成してきた」などの知見が示されている。こうした報告をもとに類推すると、CERN においては、一貫してビジネス拡大係数「3.0」は維持されていると推測される。

- (c)このようなイノベーションを創出する源となった、CERN から民間への技術移転の主要分野は、「IT & ソフトウェア」(31%)、「加速器」(29%)、「検出器」(20%)、「エレクトロニクス」(20%)であり、これらの分野で新しい装置や製品が多数生みだされていった。例えば、LHC の真空を作る断熱技術は、高性能太陽光パネルの生産につながった。また、精密測定技術は、物体内部の3D構造を画像化する測定装置(Medipix)の開発に結びついた。LHC では、こうした重要な技術移転が、LHC の建設時期には年間15~20件程度発生した。
- (d)以上のように、CERN の技術移転によってビジネス拡大がもたらされた大きな要因としては、CERN の技術・ノウハウの大部分が特許要件を備えていなかったことが指摘されている。すなわち、民間企業は、CERN の開発した技術を自由に利用でき、それを活用した企業独自の技術・製品開発が促進されたということである。

■CERN のビジネス拡大係数「3.0」を ILC に適用する妥当性、必要条件及び限界は、次の通りである。

- (a)CERN の LHC と ILC では、加速器の基本構造や導入される技術体系は異なっている部分があるものの、2014 年度調査で明らかになったように ILC においても超伝導加速技術、ナノ・ビーム発生・制御・収束技術、高周波/ハイパワー技術等を中心とした新規の技術開発や既存技術の改善は、ILC 建設前の開発実証段階から建設段階に至る過程において不可欠となっている。したがって、設立が想定される ILC 国際研究所(仮称)による技術開発(新規・改善)の成果が、民間へ技術移転される条件(下記(b)項)が整っていれば、CERN の LHC と同様な「大規模な物理研究プログラムによるイノベーション」が ILC においても起こる可能性が高いと考えられる。
- (b)民間企業への技術移転による付加ビジネスの拡大(イノベーション)を、ILC において現実のものとしていくためには(=ビジネス拡大係数3を実現するためには)、以下の条件を満たしていることが望ましいと考えられる。これらの条件は、CERN の実態を参考に類推したものである。
- ILC 国際研究所(仮称)自らが、技術開発(新規・改善)を行い、契約サプライヤー企業に技術移転する体制が整っていること
 - ILC 国際研究所が、技術移転を行いつつ製品調達をするための契約サプライヤー企業への発注を多く行うこと。
 - ILC 国際研究所の契約サプライヤー企業の中に、技術集約的企業が多く含まれること(CERN を参考にすると全契約企業数の10%程度以上)。

- ILC 国際研究所から民間企業への価値の高い技術移転が、建設期間 10 年間で年平均 15～20 件程度発生すること (CERN の LHC での実績と同レベルを想定)
- ILC 関連の R&D からビジネスへのブリッジに対する支援体制が充実していること。

しかしながら、CERN の技術移転によるビジネス拡大係数「3.0」の根拠や達成条件（必要条件や十分条件）は、正確には把握できないことから、ILC が上記の条件を満たしたとしても、必ずしもビジネス拡大係数「3.0」を達できるとは限らないことに留意する必要がある。

4) ILCの経済波及効果 再計算結果のまとめ

「建設・活動による経済波及効果」及び「技術開発による経済波及効果」を合せた、ILCによる経済波及効果(建設期間10年+運用期間10年の20年間に発生すると推測されるILC固有の効果)は、最終需要額1兆2,166億円~1兆3,338億円の発生に対して、生産誘発額は2兆3,776億円~2兆6,109億円であり、乗数は1.95~1.96倍となる。

図表12 ILCの経済波及効果(まとめ)

再計算結果(最小シナリオ)		土木工事: 1,110億円		機器調達額: 1,736億円	
		ILC建設	ILC活動	ILCによる付加ビジネス発生額	合計
最終需要	(億円)	2,846	4,112	5,208	12,166
生産誘発額	(億円)	6,422	7,865	9,489	23,776
直接効果		2,527	3,813	3,919	10,259
第1次間接効果		2,547	2,430	3,774	8,751
第2次間接効果		1,349	1,621	1,795	4,765
(内)粗付加価値誘発額	(億円)	2,674	4,059	3,895	10,628
(内)雇用者所得誘発額	(億円)	1,649	2,152	2,360	6,161
誘発雇用者数 <総数>	(千人)	34.2	49.0	49.4	132.6
誘発雇用者数 <年平均>	(千人・年)	3.4	2.5		

再計算結果(最大シナリオ)		土木工事: 1,290億円		機器調達額: 1,919億円	
		ILC建設	ILC活動	ILCによる付加ビジネス発生額	合計
最終需要	(億円)	3,209	4,372	5,757	13,338
生産誘発額	(億円)	7,255	8,365	10,489	26,109
直接効果		2,856	4,051	4,333	11,240
第1次間接効果		2,865	2,589	4,172	9,626
第2次間接効果		1,534	1,725	1,984	5,243
(内)粗付加価値誘発額	(億円)	3,031	4,306	4,305	11,643
(内)雇用者所得誘発額	(億円)	1,875	2,290	2,608	6,774
誘発雇用者数 <総数>	(千人)	38.9	52.1	54.6	145.6
誘発雇用者数 <年平均>	(千人・年)	3.9	2.6		

(出所) 野村総合研究所推計・作成

(参考) 産業連関表等の更新による経済波及効果推計結果への影響

前回と計算の前提となる ILC 費用と計算方法を変更せず、産業連関表ならびに各種係数のみ更新した場合の試算を行った。この結果、経済波及効果は 3,700 億円縮小した。

当該変化は、2005 年（2014 年調査で使用した産業連関表の作成時点）から 2014 年（同今回）の間の国内の産業構造や需給の変化を反映している。特に、工業製品の輸入増（＝国内自給率減）の影響が大きい。

図表 13 ILC の経済波及効果の変化（産業連関表等使用統計更新の影響）

2014年度調査	土木工事	1,600億円	機器調達	2,715億円	
	ILC建設	ILC活動	ILCによる付加ビジネス発生額	合計	
最終需要 (億円)	4,315	8,625	8,145	21,085	
生産誘発額 (億円)	10,389	17,747	16,470	44,606	
直接効果	4,012	8,172	6,966	19,150	
第1次間接効果	4,090	5,798	5,978	15,866	
第2次間接効果	2,287	3,777	3,526	9,590	
(内) 粗付加価値誘発額 (億円)	4,620	9,431	7,975	22,026	
(内) 雇業者所得誘発額 (億円)	2,672	4,721	4,535	11,928	
誘発雇業者数 <総数> (千人)	54.7	104.4	95.6	254.7	
誘発雇業者数 <年平均> (千人・年)	5.5	5.2			

2014年度調査の条件のまま、再計算に使用する統計・係数に入れ替え	ILC建設	ILC活動	ILCによる付加ビジネス発生額	合計
最終需要 (億円)	4,315	8,625	8,145	21,085
生産誘発額 (億円)	9,707	16,487	14,840	41,034
直接効果	3,816	8,008	6,130	17,954
第1次間接効果	3,874	5,083	5,903	14,860
第2次間接効果	2,017	3,396	2,807	8,220
(内) 粗付加価値誘発額 (億円)	4,019	8,543	6,091	18,653
(内) 雇業者所得誘発額 (億円)	2,466	4,508	3,690	10,665
誘発雇業者数 <総数> (千人)	51.2	103.0	77.3	231.5
誘発雇業者数 <年平均> (千人・年)	5.1	5.2		

2014年度調査	ILC建設	ILC活動	ILCによる付加ビジネス発生額	合計
生産誘発額/最終需要 (億円)	2.41	2.06	2.02	2.12
直接効果/最終需要	0.93	0.95	0.86	0.91
第1次間接効果/最終需要	0.95	0.67	0.73	0.75
第2次間接効果/最終需要	0.53	0.44	0.43	0.45

2014年度調査の条件のまま、再計算に使用する統計・係数に入れ替え	ILC建設	ILC活動	ILCによる付加ビジネス発生額	合計
生産誘発額/最終需要 (億円)	2.25	1.91	1.82	1.95
直接効果/最終需要	0.88	0.93	0.75	0.85
第1次間接効果/最終需要	0.90	0.59	0.72	0.70
第2次間接効果/最終需要	0.47	0.39	0.34	0.39

(出所) 野村総合研究所推計・作成

図表 14 統計等の更新状況

項目	2014年度調査	再計算(今回)
産業連関表	総務省平成17年表 (34部門)	経済産業省平成26年延長表 (54部門)
消費性向計算根拠	2009年全国消費実態調査	2014年全国消費実態調査
運転経費の部門別配分根拠	2013年CERN財務諸表	2016年CERN財務諸表
ILC国際研究所:研究者・技術者の収入水準設定	2013年CERN財務諸表	2016年CERN財務諸表

(出所) 野村総合研究所作成

「国際リニアコライダー（ILC）計画に関する経済的波及効果の再計算結果」報告書 に関する有識者会議としての留意点

1. 経済波及効果推計の前提（P. 1）

- (1) ILC を効果発生源とする ILC 固有の経済波及効果を算出する。
- (2) ILC 建設の日本負担額（本調査で想定）を前提とした、日本国内（産業）へ及ぶ経済波及効果を算出する。
- (3) ILC の効果発生源となる支出額は、原則、TDR に示される数字を前提とする。ただし、ある程度の確度をもって、定量的に推計が可能な支出は一部対象とする。
- (4) ILC 経済波及効果（発生額）の計測期間は、建設期間 10 年＋運用期間 10 年の 20 年間とする。
- (5) ILC の「建設」の経済波及効果については、TDR に未掲載、かつ ILC 固有に発生するものの現時点で前提条件が未確定な以下の経費（投資的支出）は、効果発生源の中に含まない。
 - 準備経費、共通基盤経費、主要研究施設建設費
- (6) ILC の「活動」の経済波及効果については、TDR に未掲載、かつ ILC 固有の支出として発生するものの現時点で前提条件が未確定な以下の支出は、効果発生源の中に含まない。
 - 参加立地研究機関の運営費支出、ILC 関係の来訪者・会議参加者による消費支出

2. CERN のビジネス拡大係数「3.0」を適用する妥当性、必要条件及び限界（P. 12）

- (1) ILC を効果発生源とする ILC 固有の経済波及効果を算出する。
 - ILC 国際研究所（仮称）自らが、技術開発（新規・改善）を行い、契約サプライヤー企業に技術移転する体制が整っていること
 - ILC 国際研究所が、技術移転を行いつつ製品調達をするための契約サプライヤー企業への発注を多く行うこと
 - ILC 国際研究所の契約サプライヤー企業の中に、技術集約的企業が多く含まれること（CERN を参考にすると全契約企業数の 10%程度以上）
 - ILC 国際研究所から民間企業への価値の高い技術移転が、建設期間 10 年間で年平均 15～20 件程度発生すること（CERN の LHC での実績と同レベルを想定）
- (2) CERN の技術移転によるビジネス拡大係数「3.0」の根拠や達成条件（必要条件や十分条件）は、正確には把握できないことから、ILC が上記の条件を満たしたとしても、必ずしもビジネス拡大係数「3.0」を達成できるとは限らないことに留意する必要がある。

3. ILC の経済波及効果推計結果のまとめ及び乗数「1.95～1.96」の解釈（P. 14）

- (1) 「建設・活動による経済波及効果」及び「技術開発による経済波及効果」を合せた、ILC による経済波及効果（建設期間 10 年＋運用期間 10 年の 20 年間に発生すると推測される ILC 固有の効果）は、最終需要額 1 兆 2,166 億円～1 兆 3,338 億円の発生に対して、生産誘発額は 2 兆 3,776 億円～2 兆 6,109 億円であり、乗数は 1.95～1.96 倍となる。

- (2) ILC による乗数 1.95～1.96 倍を他の最終需要項目と比較すると、「国内総固定資本形成（民間）」は 1.66、「国内総固定資本形成（公的）」は 1.73 倍となっており、数値的には ILC が上回っているが、ILC の生産誘発額には第 2 次間接効果分も入っていること（乗数 1.95～1.96 倍は産業連関表上の生産誘発係数とは意味が異なっているため）、また今回用いた産業連関表の部門分類が粗く評価に限度があることなどから、単純な比較はできない。

【最終需要項目別生産誘発係数（54 部門）：2014 年延長産業連関表】

- ・ 民間最終消費 1.62
- ・ 国内総固定資本形成（民間） 1.66
- ・ 国内総固定資本形成（公的） 1.73
- ・ 輸出 2.06

図表 1 見直し後の ILC 計画（250GeV ILC）の経済波及効果（まとめ）

再計算結果(最小シナリオ)		土木工事: 1,110億円		機器調達額: 1,736億円	
		ILC建設	ILC活動	ILCによる 付加ビジネス 発生額	合計
最終需要	(億円)	2,846	4,112	5,208	12,166
生産誘発額	(億円)	6,422	7,865	9,489	23,776
直接効果		2,527	3,813	3,919	10,259
第1次間接効果		2,547	2,430	3,774	8,751
第2次間接効果		1,349	1,621	1,795	4,765
(内)粗付加価値誘発額	(億円)	2,674	4,059	3,895	10,628
(内)雇用者所得誘発額	(億円)	1,649	2,152	2,360	6,161
誘発雇用者数 <総数>	(千人)	34.2	49.0	49.4	132.6
誘発雇用者数 <年平均>	(千人・年)	3.4	2.5		

再計算結果(最大シナリオ)		土木工事: 1,290億円		機器調達額: 1,919億円	
		ILC建設	ILC活動	ILCによる 付加ビジネス 発生額	合計
最終需要	(億円)	3,209	4,372	5,757	13,338
生産誘発額	(億円)	7,255	8,365	10,489	26,109
直接効果		2,856	4,051	4,333	11,240
第1次間接効果		2,865	2,589	4,172	9,626
第2次間接効果		1,534	1,725	1,984	5,243
(内)粗付加価値誘発額	(億円)	3,031	4,306	4,305	11,643
(内)雇用者所得誘発額	(億円)	1,875	2,290	2,608	6,774
誘発雇用者数 <総数>	(千人)	38.9	52.1	54.6	145.6
誘発雇用者数 <年平均>	(千人・年)	3.9	2.6		

- (3) 乗数「1.95～1.96」は ILC による最終需要額の発生に対する生産誘発額の比であり、産業連関表における各部門の生産誘発係数と同様に、ILC の建設・運営等により投入された費用に対する正味の便益を意味しているわけではない点に留意が必要である。

(※参考1)：「国際リニアコライダー (ILC) 計画に関する技術的・経済的波及効果及び世界各国における素粒子・原子核物理学分野における技術面を含む研究動向に関する調査分析」
(平成 27 年 3 月、野村総合研究所)

見直し前の ILC 計画 (500GeV ILC) においては、「建設・活動による経済波及効果」及び「技術開発による経済波及効果」を合せた、ILC による経済波及効果 (建設期間 10 年+運用期間 10 年の 20 年間に発生すると推測される ILC 固有の効果) は、最終需要額約 2 兆 1,000 億円、生産誘発額約 4 兆 4,600 億円であるとされた。

また、同計算結果によると、ILC 計画による技術的な波及効果について、過去の実績から一定程度の波及効果を生むと期待されるものの、ILC 固有の技術による一般民生用の技術への応用や、製品開発への見通しが得られている訳ではない。

図表 2 見直し前の ILC 計画 (500GeV ILC) の経済波及効果 (まとめ)

2014年度調査		土木工事: 1,600億円		機器調達額: 2,715億円	
		ILC建設	ILC活動	ILCによる付加ビジネス発生額	合計
最終需要	(億円)	4,315	8,625	8,145	21,085
生産誘発額	(億円)	10,389	17,747	16,470	44,606
直接効果		4,012	8,172	6,966	19,150
第1次間接効果		4,090	5,798	5,978	15,866
第2次間接効果		2,287	3,777	3,526	9,590
(内)粗付加価値誘発額	(億円)	4,620	9,431	7,975	22,026
(内)雇用者所得誘発額	(億円)	2,672	4,721	4,535	11,928
誘発雇用者数 <総数>	(千人)	54.7	104.4	95.6	254.7
誘発雇用者数 <年平均>	(千人・年)	5.5	5.2		

(※参考2)：「国際リニアコライダー計画に関する所見」(抄) (平成 25 年 9 月、日本学術会議)

2 審議依頼を受けた各事項に関する検討

(3) ILC 計画を我が国で実施することの国民及び社会に対する意義

② 波及効果

技術波及効果：加速器関連技術をはじめとして ILC に関わる技術開発が、関連分野に一定程度の波及効果を生むことは期待できる。しかしながら、高度に特殊化された ILC 関連技術が直ちに一般民生用の技術に応用されたり、製品開発に直結したりするとは考えにくい。

(略)

技術開発にせよ経済活動にせよ、波及効果の議論は副次的であり、巨額の子算を要する ILC 計画を正当化する主たる論拠にはならない。

