

2018 年 1 月 補遺追加

2016 年 1 月 6 日

KEK-ILC アクションプラン

KEK-ILC アクションプラン・ワーキンググループ

1. はじめに

国際リニアコライダー (International Linear Collider: ILC) は、次世代エネルギーフロンティア電子・陽電子コライダーである。その重心系エネルギーは、第一期で 500GeV を達成し、その後は 1 TeV 領域までのエネルギー増強を視野に入れる。その目的は、ヒッグス粒子、トップクォークの性質を詳細に決定し、素粒子物理に関わる新粒子、新現象を見つけることにより、素粒子標準模型を超える物理法則を探求することである。

世界の高エネルギー物理学コミュニティは、次世代コライダーである ILC を実現することを重要な課題と認識し、2005 年に International Committee for Future Accelerators (ICFA) のもとに Global Design Effort (GDE) を設置した。GDE は、国際的な枠組みで ILC の設計、技術開発を進め、2013 年 6 月には ILC 技術設計書 (ILC-TDR) を出版した。ILC-TDR には、ILC 建設に必要な加速器設計・技術および経費と人的資源の見積もりが記載されている。ICFA は、2013 年 2 月に、Linear Collider Board のもとに Linear Collider Collaboration (LCC) を設置し、ILC プロジェクトの加速器詳細設計・技術開発を進めている。

国内では、2012 年 10 月に高エネルギー物理学研究者会議が、その将来計画に基づき、「ILC をグローバルプロジェクトとして日本がホストして実現する」ことを提案した。文部科学省は、2013 年 5 月に日本学術会議に「ILC 計画に関する学術的見地からの検討」を求める審議依頼を行い、それに応えて、日本学術会議は 2013 年 9 月に「国際リニアコライダー計画に関する所見」を発表した。その後、2014 年 5 月に、文部科学省では「国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議」を設置し、日本学術会議からの提言における諸事項につき検討を行っている。2015 年 6 月には、有識者会議は「国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議・これまでの議論のまとめ」を発表した。また、有識者会議は新たな作業部会を設置し、人材の確保・育成について議論を深めている。

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) は、長くリニアコライダーの加速器技術開発を推進しており、国際協力のもと ILC-TDR の完成にも大きな貢献をしてきた。現在は、先端加速器推進部・リニアコライダー計画推進室のもと、超伝導 RF 試験施設 (STF)、先端加速器試験施設 (ATF)、空洞製造技術開発施設 (CFF) の三つの施設を中心に、研究開発を進めている。ILC プロジェクトの推進は、2013 年 5 月にまとめられた KEK ロードマップ 2013 において、戦略的に進めるべき研究の一つと位置付けられている。2014 年 2 月には、機構に ILC 推進準備室を設け、ILC に関する技術開発に加えて、計画推進を統括する体制も整えている。

このような状況のもと、2015 年の 5 月に、KEK 機構長は、文科省が ILC の実施を前提に諸外国との交渉を始めることを決定した場合に、KEK が実施組織を立ち上げる計画 (以下、アクションプラン) を策定することを提案し (資料 1)、そのためのワーキンググループを設置した (資料 2)。この報告書は、ワーキンググループの検討結果をまとめたものである。特に、本準備期間の立ち上げから ILC プロジェクトが国際的な合意のもとに建設開始されるまでの期間に、どのような人材配置が必要であるかについて検討を行った。この結果は、現段階からプロジェクトの正式承認・建設開始にスムーズにつなげるための、準備期間の技術課題、組織・体制、人材およびその育成プランを策定するための基礎となる情報である。

2. KEK-ILC アクションプラン

2.1 ILC の準備

ILC プロジェクト実現には次の3つの段階を想定する。

- (a) 予備準備期間
- (b) 本準備期間 (ILC pre-lab の設置を伴う)
- (c) 本建設期間 (ILC Laboratory の実現を伴う)

(a)は、現状の準備期間であり、一般的な先端加速器・技術開発の範囲で研究開発を実施する。

(b)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想定する。この時期に、ILC 計画推進のための国際協力の枠組みは、現行の LCC から、ILC pre-lab (仮称)へと移行する。ILC pre-lab は、KEK がホストする国際コラボレーションとして、国内外の研究機関・組織、大学との覚書に基づき設立され、そのヘッドクォータは KEK に置くことが想定される。ILC pre-lab には、加速器の工学設計、建設に向けた最終的な技術開発、建設合意に向けた政府間交渉の補佐および ILC プロジェクト承認への活動に責任を持つことができる体制を構築する。KEK では、この段階には ILC 推進準備室およびリニアコライダー計画推進室の機能は、ILC pre-lab に統合される。文科省から青信号(「ILC の実現を前提に諸外国との交渉を始める」という正式な発表があること)が示された場合には、速やかに(a) から(b)に移行すると想定する。

(c) は、政府間で正式な合意が成立し、ILC プロジェクトが承認された段階で、ILC 建設、運転のための新国際研究所 ILC Laboratory が設立されることを想定する。ILC Laboratory と KEK の組織としての関係は、プロジェクト合意形成の時期に、改めて検討され、決められることであるので、今回の検討には含んでいない。

2.2 準備期間における人材確保・育成プラン

準備期間における、人材確保・育成プラン(以下、人材プランという)について検討結果を示す。主に検討したことは、ILC 本準備期間において、相当額の予算、人員の手当てが認められたと仮定した場合の、加速器本体や施設の詳細設計、技術実証、そのための事務管理等の作業と、その遂行に必要な人的資源量である。また、この段階では、国際的な合意に基づき外国機関との作業分担が可能であると仮定した。準備期間は4年と想定し、モデルとして、開始年度が2016年、2017年、2018年の場合を検討した。現在、我々は、その予備準備期間にあり、特定な準備予算を伴わない状況では、開始年度が遅くなった場合に、本準備期間の短縮は難しく、平行してシフトする。2016年に開始した場合は、2020年度本建設開始、2029年度実験開始が想定される。2018年度に開始した場合は、それぞれ、2022年度、2031年度と想定される。ここでは、本準備のすべての項目が同時に開始されると仮定したが、もし柔軟に予算が措置された場合には、特定の技術開発項目については、早期に開始することができる。人材プランで想定している本準備期間は、ILC 正式合意のための政府間交渉の期間と一致することが必須ではない。

ここで検討した人材プランは、ILC-TDR で推定された建設期に必要な人材を、国内外でどのように確保・育成するかという課題に一定の指針を与えるものである。検討にあたっての基本的な考え方を述べたのち、本準備期間に必要な準備作業の項目と、それに見合う人材プランを示す。

2.2.1 基本的な考え方

- ・ 政府から青信号が示された時点で、速やかに(a) 予備準備期間から(b) 本準備期間(4年間を

想定)に移行し、特定の予算を伴う本格的準備を推進。

- 日本では、KEKが中心となり大学などの研究機関と協力し、ILC 推進準備室(機構長直属)が強化され、リニアコライダー計画推進室(先端加速器推進部のもとに設置)が統合される。ILC 加速器、物理、共通技術支援、施設(土木・建築・設備)、事務管理運営(広報を含む)を統括する準備体制が整備強化されるものと想定する。移行期間を経て、その機能は、ILC pre-lab に引き継がれる。日本国内における人材数には、30~40%の範囲で、業務委託を含む。
- 外国からの人材貢献には、日本を活動ベースとするメンバーと、各参加地域・国での研究機関・大学を活動ベースとするメンバー、両方の参加を貢献人材数に含む。そして、本準備期間中に外国からの貢献比率を、全体人材数に対し、20~40%の範囲で、順次高めていくことを想定する。このことによって、建設段階では、外国からの貢献が50%またはそれ以上となることを想定し、円滑な分担比率の進展を目指す。
- ILC pre-lab における日本および外国からの人材貢献は、専任、併任、協力メンバーにより構成され、人材数としては Full Time Equivalent (FTE: フルタイム・1年間)ベースで算定される。
- 加速器準備期間における日本と外国の貢献比率を、以下のように調整する。
 - 加速器設計(ADI): 国際的に平等な分担(経験の深い研究機関による)。
 - 超伝導高周波(SRF)技術: 上述した基本的考え方に沿い、国際的三地域(欧州、アメリカ州、アジア州)での均等に分担された建設のために、段階的に増強。
 - ◇ 日本では、SRF システム技術(組み立て、性能評価など)の成熟、工業化、中核となるハブラボ機能実証に、新たな人材養成が必要。
 - ◇ 欧州では ILC の~1/20 の規模を有する欧州 XFEL 計画(E-XFEL)、米国では、さらにその~1/3 の規模を有する LCLS-II 計画が進捗し、ハブ研究機関(DESY/INFN-LASA、CEA-Saclay/CNRS-LAL-Orsay、SLAC、Fermilab、JLab 等)で、各 50~100 人規模のスタッフおよび協力作業者がシステムの組み立て、性能評価試験(品質管理)に取り組んでいる。ILC が必要とするシステム技術が成熟し、ILC が期待する潜在的な人材が養成されている(又は養成されつつある)。本検討作業では、これらの潜在的な人材数は含めず、新たに必要となる準備にむけた人材数(のみ)を加える。
 - ◇ 共通な技術課題には、国際的に協力し取り組む。
 - ナノビーム技術: KEK-ATF が国際的に中核となる施設となっている現状を踏まえ、日本・外国比率をほぼ同一とする。
 - 施設(土木、建築、設備)準備は、日本が中心となり、外国から専門家の協力を求める。短期に特定の専門技術が求められることから、アウトソーシングを活用する。
 - 共通技術支援の準備は、日本が中心となり、外国からの専門家の協力を求める。
 - 事務管理(総務、会計、国際協力、広報など)の準備は、日本が中心となる。また、本検討では、全体の人材構成に対する事務管理の比率は、約 10%を想定している。但し、ILC Laboratory 設立準備のための人材は、本検討では含めていない。上記は ILC 計画への判断後に改めて検討すべき課題であり、更なる人材補強が必要になる。(一般的に、確立された研究所では事務管理の比率は全体構成に対して~20%となっている)。
 - 留意点として、国際的にすでに進行中の E-XFEL、米国 LCLS-II 計画では、DESY/INFN-LASA、CEA-Saclay/CNRS-LAL-Orsay、SLAC、Fermilab、JLab などで、各研究所にて 50~100 人レベルの人材が加速器建設計画に従事し、経験が積まれている。これらの人材数

は、国際的に、潜在的にすでに存在する育成された人材であり、本検討での人材数には含まれていない。本検討は、さらに必要となる ILC に関する人材育成をまとめており、特に日本では、ホスト国を担う想定のもと、本格的準備段階において以下を重点的に取り組むことが求められ、人材確保・育成に重きがおかれている。

- 1) SRF ハブラボ機能構築・検証、およびその課程での人材育成。特に、SRF ハブラボ機能の構築・検証は、日本において特に整備が必要な領域であり、人材の充実を必要とする。
- 2) ナノビーム技術の検証、安定化、その課程での人材育成
- 3) 施設設計・準備

- ・ 物理実験、測定器建設準備、物理解析・コンピューティングの人材は、より広い物理実験コミュニティを基盤とした検討が求められる。

2.2.2 技術的準備項目および人材への要請

準備期間において実行すべき加速器、施設、共通技術支援、および管理運営に関する準備項目と国際連携案を、表 1 に示す。なお、ILC-TDR 以降の ILC 加速器設計と技術開発の進展を資料 3 に添付し、本技術項目のより詳しい説明を資料 4 に添付する。

表 1. ILC 加速器準備への技術課題、国際連携、人材分担比率

分野	テーマ	国際連携基盤	準備期間 人材比率 日：外国
加速器設計	詳細設計・パラメータ最適化	LCC-ILC を中心とした連携	~1 : 2
SRF	量産製造技術・品質管理技術 ハブ研究所機能 システム性能・安定化 (CM 組み立て・輸送を含む性能安定化等)	Tesla 技術協力 (TTC) - KEK-STF (JP**) - E-XFEL 建設 (EU) - LCLS-II 建設 (US)	~2 : 1
ナノビーム	極小ビームの実現、安定な運用 ビーム制御技術 (DR, RTML, BDS, BD) *	ATF 協力	~1 : 1
陽電子源	アンジュレーター駆動方式による偏極陽電子源 電子駆動方式 (バックアップ) 熱バランス、冷却、安全	日米が相補的に協力	~1 : 1
施設	モデル (候補地) を仮定した基本計画、 詳細設計、技術設計図面整備、環境調査・整備	JP-CFS***がコア、候補地域連携	日本中心
共通技術支援	各種安全 (放射線、高圧ガス、他) コミュニケーション・ネットワーク	国際安全基準の調整 ネットワーク国際調整	日本中心
事務管理	ILC 準備活動事務管理、国際協力、広報 ILC pre-lab 準備計画、推進	ILC pre-lab と参加機関の間で分 担、協力	日本中心

* Notes: DR: Damping Ring, RTML: Return to Main Linac (beam line), BDS: Beam Delivery System, BD: Beam Dump

**JP: Japan

***CFS: Conventional Facility and Siting

本準備期間での主たる達成目標を以下の通り想定する。このために必要な予算 (物件費) は、別途、まとめられている。

- ・ SRF-日本:
 - KEK にてクライオモジュールを多連化し、性能再現性を実証する。また、多連化した状態での電子ビーム加速および、暗電流 (空洞からの電子放出) などに関する研究を行う。
 - SRF ハブラボ機能実証 (量産時のクライオモジュール組み立て、性能試験、地域間輸送に伴う諸課題、技術的性能安定性検証など)

- ・ SRF-外国:
 - SRF 量産化技術の向上。クライオモジュール組み立て、輸送後の性能安定化検証（性能劣化の克服）
- ・ ナノビーム:
 - ATF2 での衝突点ビームサイズ、安定化の達成（着実なビーム試験継続）
 - 地盤振動影響の理解、フィードバック技術などの確立
- ・ 陽電子源:
 - アンジュレーター駆動・陽電子源（ILC-TDR ベースライン）技術の確立
 - 低エネルギー電子駆動型陽電子源（バックアップ）技術の確立、プロトタイプ実証（実機サイズ、真空回転軸受け放射線曝露耐久性、冷却技術、長期運転実証）
- ・ ビームダンプ
 - 技術詳細設計、運転・保守における安全確保
- ・ 施設（CFS）:
 - 工区毎の地質（形）調査、土木、建築、設備の技術設計、図面化
 - 環境調査に基づく、地域と共生できる施設設計
 - 大規模建設・入札にむけた仕様書、図面準備、環境及び安全アセスメント
- ・ 共通技術支援および管理運営:
 - EDMS（Engineering data management system）の整備、運用
 - 計算機環境、ネットワークの整備
 - 放射線、高圧ガス・安全ガイドライン、加速器設計への反映
 - 国際的な安全基準との整合
 - 国際研究所の準備

2.2.3 人材確保・育成の年次プラン

予備準備期間から本準備期間にかけて取り組むべき技術課題を、表 2 にまとめる。また、現状からスタートし、本準備期間に充実すべき人材数（FTE: Full Time Equivalent）の年次プランを表 3 に示す。より詳細な内訳を資料 5 に添付する。

表 2. ILC 加速器・準備期間における技術課題

	予備準備期間	本準備期間			
		現在	P1	P2	P3
加速器設計	加速器詳細諸元の固定	システム・シミュレーション、諸元の確認			
SRF	多連空洞・クライオモジュールによるビーム加速の達成	工業化・量産技術システム実証、性能の安定化 ハブラボ機能実証、国際分担の確立			
ナノビーム	ナノビーム目標達成	ナノビームサイズ、安定性の実証			
陽電子源	陽電子源要素技術実証	アンジュレーター及び電子駆動・陽電子源の実証			
施設	予備調査、基本計画	地質地形環境調査、技術設計、仕様書・図面整備			
共通技術支援	共通技術支援・安全基本指針策定	共通技術・研究支援（ネットワーク、放射線安全等）			
事務管理	準備計画の立案・推進 ILC pre-lab の準備	総務、会計、国際協力、広報 ILC pre-lab の立ち上げ、準備推進			

表 3. ILC 加速器・準備期間に必要な人材案 (FTE)¹⁾

	予備期間 ²⁾	本準備期間 ³⁾				建設期間 ⁴⁾		付記
	現在	P1	P2	P3	P4	C1	C2	
加速器： 日 ：外国	42 ≥ 20	54 28	74 41	98 65	122 89	172	530	日：特に SRF 量産化技術実証・習熟要 ⁵⁾ 欧米：量産化技術は経験済み ⁶⁾
施設：日 ：外国	3 1	11 3	11 5	13 5	17 5	52	53	日：中心的に推進。アウトソーシング活用 外国：専門的協力
共通：日 ：外国	2 1	7 3	10 4	13 6	14 7	109	109	日：中心的に推進 外国：専門的協力 ⁷⁾
管理：日 ：外国	5 3	8 4	10 6	14 8	18 10	77	230	日：中心的に推進 外国：専門的協力。各地域での事務管理 ⁸⁾
合計	≥ 77	118	161	222	282	410	922	

補足説明：

- 1) ILC 準備期間における外国からの人材貢献比率を 20～40% レベルで増強する。そのうえで、政府間合意に基づく本計画・建設での、更なる外国からの貢献増強に備える。
- 2) 予備期間：現在の取り組み状況（一般的先端加速器技術開発予算での取り組み人数）。
- 3) 本準備期間：ILC 建設準備の為に予算を伴い人材がサポートされる。この表の数値には、国際的に進行中の加速器建設等で、すでに培われている潜在的人材数は含まれていない。
- 4) 建設期間：ILC-TDR に記述されている労務数を FTE で表した人材数。
- 5) 日本において、超伝導加速空洞量産（工業化）技術およびハブラボ機能（計画統括、品質管理、性能評価）の実証のために人材養成を必要とする。
- 6) 欧米は、ILC 本準備期間までに、独自の計画（E-XFEL、LCLS-II など）のなかで、すでにその機能検証が実施されており、それぞれの研究所（DESY/INFN-LASA、CEA-Saclay/CNRS-LAL-Orsay、SLAC、Fermilab、JLab 等）で、50～100 人規模が実働経験をもつ。これらの計画で経験が積まれている人数は、この表の人数に含まれていない。
- 7) 共通技術支援は、建設期に迅速な増強が必要であり、今後の検討課題。
- 8) ILC 研究所の設立準備にむけた人材は、今後のプロジェクト判断後に検討。

表 3 には、ILC-TDR に示された、建設期初期に必要な人員も記入されている。この数値は、準備期間の人材育成により、どのように建設期の必要な人材供給につなげることができるかを示す為の参考である。本準備期間に国内で育成された人材は、建設の中核になることが期待される。

ILC 建設段階では、段階的に人員が増強され、加速器本体の建設に、平均して千人規模の人材（リーダー、科学者、技術者、事務管理、技能者/作業員、業務委託を含む）が必要となる。本検討では、準備期間に、その 1/4 を超える人材が養成され、ILC 本建設期間における中核的な役割を果たす人材となることが想定されている。

本準備期間に国内加速器準備のための人員は 40 名程度から 120 名程度に増強することが想定されている。このうち 30～40%程度は業務委託によって供給されることを前提とする。KEK は、このプランに沿って ILC 加速器準備のための人材（研究者、技術者）を増強することが求められる。この為には、現行プロジェクトからの移行、定年システムによる人材の循環・分野転換などによる増強、新たな予算措置による人員増強を組み合わせることで達成することが求められる。

2018 年度頃からは、KEK における現行プロジェクトからの移行がある程度可能になると考えられるが、必要な人員の数から考え、新たな予算により相当数の中核的職員、若手・博士研究のポストを ILC プロジェクトのために実現することが必要である。準備期間に採用したこれらの若手研究者は、建設期には各グループのリーダーとなり、コアとなる人材として確保・育成されると期待する。

3. まとめ

本検討では、ILCプロジェクトを実現する為の準備期間における、組織、技術課題、必要な人材の確保と育成を検討し、KEK-ILCアクションプランを作成した。このプランは、今後国内外で、ILC実現への道筋を議論するための基礎的な情報の一つとして、役立てることができる。

この策定にあたって、加速器技術開発については、これまでの経験と現行の加速器計画に基づき、妥当な精度で検討できたと考えている。一方、施設、共通技術支援、事務管理等については、更に検討を深める必要がある。物理実験、測定器、解析コンピューティングなどへの対応は、その在り方を含め、今後の検討課題である。また、ILC pre-lab 期間の国際的な枠組みのもとでの ILC プロジェクト推進の組織や運営体制の詳細な設計はなされていない。ここにまとめたアクションプランは、今後、関係機関・関係者と協議し、より現実的な案を作成するための叩き台として捉えて頂きたい。

本検討では、本準備期間のアクションプラン作成に重点を置いたが、予備準備期間（現在）においても、可能な予算措置を得て、優先技術課題への取り組みを強めること、施設、共通技術支援、事務管理への人材を増強し予備検討を深めることは喫緊の課題である。そして、国際協力の枠組みを強化し、ILC pre-lab の立ち上げにむけた組織・運営方法への準備検討を深めることが不可欠である。

添付資料

資料1 山内正則 KEK 機構長からの諮問内容（2015年5月11日）

『文科省から青信号が出た場合のアクションプラン』WG の設置

- ・ 青信号の定義＝文科省から「ILC の実施を前提に諸外国との交渉を始める」という正式な発表があること
- ・ 青信号を待たずに実際に KEK の組織を改編することはしない。
- ・ 青信号が出た場合にどういう時間スケールでどのように KEK の組織を改編し、実施組織を立ち上げてゆくのか、時間軸を含んだアクションプランを示してください。
(→WG のミッション:2015年8月一杯をめど)
 - － 当面は KEK が国内の拠点の役割を果たすが、国際機関への移行も念頭に置いたプランが必要。
 - － 相当額の予算、人員の手当てが認められると仮定。
 - － KEK の現行の研究計画を中途半端に終わらせることはしない。
 - － アクションの内容は加速器の詳細設計だけでなく、最終決定に向けてどのように文科省を手伝うか、に至るまで多岐にわたる。KEK だけでなく、大学、国外の研究者でどのように分担するか。特に LCC との連携、役割分担は重要。
- ・ 現実味のあるアクションプランを示して機構内の合意形成を図る。また、これは日本学術会議の問題提起に応えることであり、人材の確保・育成方策作業部会への入力としても有用。

資料2 KEK-ILC アクションプラン・ワーキンググループメンバー

岡田安弘 (座長)

小林富雄

藤井恵介

道園真一郎

山口誠哉

山本明

資料3 TDR 以降の ILC 加速器設計と技術開発の進展

ILC-TDR 以降の設計の改善・改定 (2015年7月現在)

	タイトル	内容	提案	評価・決定
CR-001	BDSに Dogleg 追加	> 1 TeV に備えた ML*および BDS ビーム光学の追加。		不採択
CR-002	両測定器共通な L*	2 測定器 (ILD、SiD) で共通な L* (最終収束パラメータ) での単一ビームデリバリー光学。		採択
CR-003	測定器・堅坑アクセス	斜坑から堅坑によって衝突点実験ホールにアクセスを実現し、測定器の組み立て、据付を効率化。		採択
CR-004	ML トンネル延長	e-, e+トンネル延伸、1.5 km により、(1) e+e-衝突タイミングを調整可能とし、(2) 500 GeV (衝突重心エネルギー) 達成への尤度を高める。		採択
CR-005	主設計パラメータ	500 GeV および 1TeV でのルミノシティー数値の補正・追加。		採択
CR-006	ビーム位置モニター追加	測定器直近・Q0 の後にビーム位置モニターを追加。仮想的ビーム衝突点位置モニターの役割を果たす。		採択
CR-007	TDR・AS 版に統一	ILC 設計を、アジア (AS) 版・山岳地設計版に統一。		採択
CR-008	ビーム軌道 2015a	加速器ビーム軌道を TDR の設計を反映して改定し、完成。		採択
CR-009	冷却システム配置	主要冷却機器要素を地下から地上配置へと移動、改定。	準備中	
CR-TBD-1	ML トンネル中央壁厚さ	ML トンネル中央壁厚の最適化 (低減)。ビーム運転中のユーティリティ/トンネルサイドへのアクセスを不可とする。	準備中	
CR-TBD-2	BDS トンネルレイアウト	電子駆動・陽電子源をアンジュレーター駆動・陽電子源と併行して組み込み可能とする BDS トンネルレイアウト。	検討中	
CR-TBD-3	SRF 空洞総合組立	チューナ、カブラーを含む SRF 空洞の基準設計の最適化、再標準化。	検討中	

*Note: ML: Main Linac

このなかで、特に、CR-003、CR-004、CR-009 は、有識者会議 (及び TDR 検証作業部会) における議論、提言を受け、タイムリーに対応を心がけているものである。ILC 設計エネルギー達成にむけ実現性の向上 (のためのバックアップ)、かつ全体としてのコストの制御 (低減) および、安全性の向上を期することが可能となる。

なお、上記については、LCC が出版した、ILC Progress Report 2015 により詳しくまとめられ、オンラインで参照可能である。

<http://ilcdoc.linearcollider.org/record/62872/files/ILC-Progress%20Report.pdf>

資料 4 技術的準備項目の内容

1. 加速器詳細設計

- ・ モデル・候補地域を想定した加速器詳細設計、パラメータを確立する。

2. SRF 空洞およびクライオモジュール

- ・ 超伝導加速空洞およびクライオモジュールの量産技術の実証、習熟を図る。
- ・ 複数社の参画を奨励しつつ、量産に備え、プロトタイプ試作を繰り返す必要がある。
- ・ KEK においては、工業化技術開発を先導するとともに、取り組む企業に対し、迅速かつ適切な助言を与える技術力集約への努力を重ねる。また、新規参入を希望する企業の迅速な技術力習熟に協力する。

3. SRF 試験評価およびハブラボ機能

- ・ 超伝導加速空洞システムの建設を適切な国際分担で推進することは、不可欠な課題である。
- ・ 各領域（欧州、米国州、アジア州など）において製造を監督・統括するとともに、性能（および必要な性能評価）に責任をもつ中核研究所（ハブラボラトリー）・コンソーシアムの構築を着実に進める必要がある。KEK は、アジア地域において、その機能が求められる。
- ・ 超伝導加速空洞およびクライオモジュールの組み立て、性能評価システムを構築し、設備とともに人材養成を図ることが、極めて重要である。ハブラボが設備をホストし、企業からの人材（技術者、作業員）派遣を求める作業形態も考えられる。
- ・ 各地域のハブラボで達成されたクライオモジュールの性能が、地域間輸送の後に、ILC Laboratory で再現されることは、基本的な条件である。準備段階において、地域間輸送に伴う様々なプロセス（輸出・輸入、安全）および性能の再現性を実証することは、重要な課題となる。
- ・ また、ハブラボでは、超伝導加速空洞を用いたビーム加速技術に習熟することが求められる。

4. ナノビーム技術

- ・ リニアコライダーが求める最終収束・ビーム衝突点（IR）でのナノビームおよびその安定化技術の向上には、着実な研究開発の継続が不可欠である。
- ・ 国際的にユニークな KEK-ATF 施設を活用し、ビーム性能向上にむけた継続的研究が求められる。
- ・ 加速器本体機器の制御技術に加え、地盤振動や温度変動など加速器環境に対し、その極限的な環境制御とフィードバック技術の確立が今後の重要課題である。

5. 陽電子源

- ・ ILC-TDR における陽電子源は、「アンジュレーター駆動・陽電子源」と呼ばれ、最高エネルギー（250GeV）まで加速した電子を回転磁場アンジュレーターに通し、偏極ガンマー線を発生させたうえで、標的金属に入射し、陽電子を発生させる。この方式では、偏極度の高い陽電子を生成できる重要な特色を有する一方、フルエネルギーの電子加速器を実現せずには、陽電子発生技術の実証をできない、という大きな課題を有している。
- ・ このため、通常の低エネルギー電子を直接標的に入射し陽電子をとりだす「電子駆動・陽電子源」を、バックアップとして開発し、準備しておくことが、堅実である。KEK では、この開発の重要性を認識し、これまでも基礎開発が積み重ねられてきた。
- ・ 米国を中心としたアンジュレーター方式の開発に対し、日本が中心となった電子駆動方式によってバックアップとなる技術を準備する。

6. その他の加速器要素

- 電子源、ダンピングリング (DR)、ML へのビームトランスポート (RTML)、ビームデリバリーシステム (BDS)、ビームダンプ (BD) などについては、概念設計書 (Reference Design Report: RDR) 段階での検討を基本としているが、さらなる詳細設計、技術検証の進展が必要である。

7. 施設 (土木・建築・設備)

- 加速器設計の精度、信頼性を高めるためには、施設設計基盤となる地勢、地盤、アクセスなどについての十分な情報と具体的なモデルを持って施設設計を深めることが不可欠となる。
- ILC 規模の施設建設準備について、本建設期間前に、その半分程度の期間をかけた基本設計、詳細技術設計、大規模建設入札にむけた仕様書、図面の整備が必要である。
- 専門的アウトソーシングによる専門家集団での準備作業が、限定された期間に求められる。KEK としては、それらを監督することができる人材養成を必要とする。統括、土木、建築、電気設備、機械設備のほか、環境、地質に関する習熟した専門家の養成が必要である。

資料5 人材確保・育成プランの年次計画・詳細（本文・表3の内訳）

Category	Subject		Pp	P1	P2	P3	P4	Int.-FTE
Grand-Sum		Sum =JP+Abr.		118 = 80+38	161 = 105+56	222 = 138+84	282 = 171+111	783 = 494+289
Acc-Sum		Sum =JP+Abr.		82 = 54+28	115 = 74+41	163 = 98+65	211 = 122+89	571 = 348+223
Accelerator (FTE)	Tech. coordination	JP abroad		1 2	1 2	1 2	1 2	4 8
	ADI	JP abroad		3 6	4 8	6 12	8 16	21 42
	SRF (& ML)	JP abroad		38 8	50 12	62 22	74 32	224 74
	Nano-beam (& DR, BDS)	JP abroad		6 6	9 9	15 15	21 21	51 51
	Sources (e-, e+)	JP abroad		3 3	4 4	5 5	6 6	18 18
	Others (RTML, Dump etc.)	JP abroad		3 3	6 6	9 9	12 12	30 30
CFS-Sum		Sum =JP+Abr.		14 = 11+3	16 = 11+5	18 = 13+5	22 = 17+5	70 = 52+18
Conventional Facilities and Siting (CFS) (FTE)	Technical coordination	JP abroad		1 1	1 1	1 1	1 1	4 4
	Civil engineering	JP abroad		2 1	2 1	3 1	4 1	11 4
	Building	JP abroad		2 1	2 1	3 1	4 1	11 4
	Utility-Electrical	JP abroad		2 0	2 1	2 1	3 1	9 3
	Utility-Mechanical	JP abroad		2 0	2 1	2 1	3 1	9 3
	Environment	JP abroad		2 -	2 -	2 -	2 -	8 -
Common-Sum		Sum =JP+Abr.		10 = 7+3	14 = 10+4	19 = 13+6	21 = 14+7	64 = 44+20
Common Technical Support (FTE)	Technical coordination	JP abroad		1 -	1 -	1 -	1 -	4 -
	EDMS	JP abroad		1 1	2 1	3 2	3 2	9 6
	Computing, Networking	JP abroad		2 1	3 2	4 2	4 3	13 8
	Radiation safety	JP abroad		1 1	2 1	3 2	4 2	10 6
	General eng. support	JP abroad		2 -	2 -	2 -	2 -	8 -
Admin-Sum		Sum =JP+Abr.		12 = 8+4	16 = 10+6	22 = 14+8	28 = 18+10	78 = 50+28
Administration (FTE)	Adm. Management	JP abroad		1 -	1 -	1 -	1 -	4 -
	General affair	JP abroad		2 1	3 2	4 3	5 3	14 9
	Budget/Accounting	JP abroad		3 2	3 2	5 3	6 4	17 11
	Int. relationship	JP abroad		2 1	3 2	4 2	6 3	15 8

KEK-ILC アクションプラン補遺

2017年に日本の高エネルギー物理学研究者会議およびリニアコライダー・コラボレーション (LCC) の物理・測定器グループから、ヒッグス・ファクトリーとして250GeVの重心系エネルギーで運用する ILC(ILC250GeV)を建設することが提案され、2017年11月に ICFA から、250GeVの ILC 加速器建設を支持し ILC 早期実現を奨励する発表があった。

ILC250GeVの加速器の詳細については、“The International Linear Collider Machine Staging Report 2017” に詳しくまとめられており、オンラインで参照可能である。

<https://arxiv.org/abs/1711.00568>

本補遺は、2016年1月付のアクションプランについて、この ILC250GeV に合わせて追記するものである。アクションプランで触れられている本準備期間では、電子・陽電子の加速を行う最重要要素である超伝導加速技術 (SRF) の試験評価及びハブラボ機能を構成することが大きな割合を占める。ILC250GeV では、SRF 加速器部分は縮小されるが、試験評価及びハブラボ機能の構築といった建設準備作業自体は以前の ILC500GeV と同様となる。また、2016年以降、SRF についてのコスト削減の研究開発が日米の共同で始められており、これらの研究開発も含めて更新する部分について述べる。

1. 技術的準備項目および人材への要請

準備期間において実行すべき加速器、施設、共通技術支援、および管理運営に関する準備項目と国際連携案を、表 1' に示す。

表 1'. ILC 加速器準備への技術課題、国際連携、人材分担比率

分野	テーマ	国際連携	準備期間 人材比率 国内・外
加速器設計	詳細設計・パラメータ最適化	LCC-ILC を中心とした連携	~1 : 2
超伝導高周波 (SRF)	量産製造技術・品質管理技術 超伝導材料、空洞特性 (電界、共振特性) ハブ研究所機能 システム性能・安定化 (CM 国際輸送を含む性能・維持安定化等)	TTC 協力 (Global network) ・日米コスト削減 R&D 協力 (JP&US) ・ KEK-STF (JP**) ・ E-XFEL 運転 (EU) ・ LCLS-II 建設 (US)	~2 : 1
ナノビーム	極小ビームの実現、安定な運用 ビーム制御技術 (DR、RTML、BDS、BD) *	ATF 協力	~1 : 1
加速器要素 ・陽電子源(e+) ・ビームダンプ	e+: アンジュレーター駆動 (偏極) 方式または 電子駆動方式 (バックアップ)、ダンプの熱バ ランス、冷却、安全	日欧 (KEK, DESY, CERN,) 協力	日本中心
施設 (CE/CF)	モデル (候補地) を想定した基本計画、 詳細設計、技術設計図面整備、環境調査・整備	KEK・国内候補地域連携	日本中心
共通技術支援	各種安全 (放射線、高圧ガス、他) コミュニケーション・ネットワーク	国際安全基準の調整 ネットワーク国際調整	日本中心
管理・事務	ILC 準備活動、国際協力構築、広報 ILC pre-lab 設立、活動推進	ILC pre-lab と参加機関間で分担、 協力	日本中心

* Notes:

DR: Damping Ring, RTML: Return to Main Linac (beam line), BDS: Beam Delivery System, BD: Beam Dump
CE: Civil engineering (土木・建築)、CF: Conventional Facility (電気・機械設備)

**JP: Japan, EU: Europe, US: United States

本準備期間には、先のアクションプランに加えて、SRF・日本での達成目標として以下を追加する。

- 現在進めている日米のコスト削減 R&D の結果に応じて、空洞特性（窒素インフージョによる電界、共振特性向上）およびニオブ材料特性（インゴットからのディスクの直接切り出し）などの性能向上とコスト削減を製造歩留まりを含めて評価し、ビーム運転時の性能評価などを続ける。

2. 人材確保・育成の年次プラン

現状からスタートし、本準備期間に充実すべき人材数（FTE: Full Time Equivalent）の年次プランを表 3' に示す。ここでは、主として建設期間の人員修正（ILC250GeV では建設期間中の必要人員は 25%ほど少なくなる）によるものである。内訳を表 3' に示す。

表 3'. ILC-250 加速器・準備期間に必要な人材案（FTE）¹⁾

	予備期間 2)	本準備期間 ³⁾				ILC250 建設期間 4)		付記
	現在	P1	P2	P3	P4	C1	C2	
加速器： 日 ：外国	42 ≥ 20	54 28	74 41	98 65	122 89	160	305	日：特に SRF 量産化技術実証・習熟要 ⁵⁾ 欧米：量産化技術は経験済み ⁶⁾
施設：日 ：外国	3 1	11 3	11 5	13 5	17 5	50	60	日：中心的に推進。アウトソーシング活用 外国：専門的協力
共通：日 ：外国	2 1	7 3	10 4	13 6	14 7	100	110	日：中心的に推進 外国：専門的協力 ⁷⁾
管理：日 ：外国	5 3	8 4	10 6	14 8	18 10	75	135	日：中心的に推進 外国：専門的協力。各地域での事務管理 ⁸⁾
合計	≥ 77	118	161	222	282	385	610	

補足説明：

- 1) ILC 準備期間における外国からの人材貢献比率を 20～40% レベルで増強する。そのうえで、政府間合意に基づく本計画・建設での、更なる外国からの貢献増強に備える。
- 2) 予備期間：現在の取り組み状況（一般的先端加速器技術開発予算での取り組み人数）。
- 3) 本準備期間：ILC 建設準備の為の予算を伴い人材がサポートされる。この表の数値には、国際的に進行中の加速器建設等で、すでに培われている潜在的人材数は含まれていない。
- 4) 建設期間：ILC-TDR に記述されている労務数を FTE で表した人材数。
- 5) 日本において、超伝導加速空洞量産（工業化）技術およびハブラボ機能（計画統括、品質管理、性能評価）の実証のために人材養成を必要とする。
- 6) 欧米は、ILC 本準備期間までに、独自の計画（E-XFEL、LCLS-II など）のなかで、すでにその機能検証が実施されており、それぞれの研究所（DESY/INFN-LASA、CEA-Saclay/CNRS-LAL-Orsay、SLAC、Fermilab、JLab 等）で、50～100 人規模が実働経験をもつ。これらの計画で経験が積まれている人数は、この表の人数に含まれていない。
- 7) 共通技術支援は、建設期に迅速な増強が必要であり、今後の検討課題。
- 8) ILC 研究所の設立準備にむけた人材は、今後のプロジェクト判断後に検討。