

ILC計画に関する 主な課題について

2021.7.19a

高エネルギー物理学研究者会議、高エネルギー加速器研究機構

1. 国際的な研究協力及び費用分担の見通し

1. 国際的な研究協力及び費用分担の見通し

(ア) 非ホスト国の十分な貢献を含む現実的かつ持続可能な国際費用分担【有】

当時の状況：研究者コミュニティによる国際分担に関する検討が、プロジェクト実施計画(PIP)2015年7月改定版（ILC技術設計報告書(TDR)の附属文書）等にまとめられていたが、計画見直し(250GeV-ILC計画)に合わせて再検討する必要があった。ILC計画への米国研究者コミュニティからの支持(Snowmass 2013, P5 2014)、欧州研究者コミュニティからの支持(欧州素粒子物理戦略2013)が表明されていたが、2019年9月には素粒子物理戦略の更新(2020)のプロセスが始まっていた。

これまでの進展：

- 国際的な費用分担やILC国際研究所の組織・運営体制の基本指針となるものを、文科省の要請に応じKEKが主宰し欧米アジアの国際ワーキンググループでまとめた(2019年10月)。
- これが今後の政府間での国際費用分担協議における基盤となることを期待している。
- 国際分担の見通しに関わる特記事項
 - 米国：政府(エネルギー省・国務省等)の関心と支持 ← 日本の政産官学からの理解促進のための働きかけ
 - 日本でのILC計画実施への支持(2019年以降、国際会議等で公表)
 - 日本政府へ閣僚級レター（DOE長官書簡抜粋を公開）
 - 欧州：研究者およびCERN理事会レベルでの協働の意思表示 ← 日本の高エネルギーコミュニティからのインプット
 - 欧州素粒子物理戦略の更新(2020)
 - ヒッグスファクトリー(最優先)の意義とILCのタイムリーな実現への協働の意志

準備研究所における取組：

- 政府間の国際費用分担協議に必要な情報提供等の研究者側からのサポートはILC準備研究所本部の主要任務。
- ILC準備研究所は、各国研究者と連携して、各国政府や予算配分機関に必要な情報を提供し、国際分担協議のための環境が整うよう全力で補佐する。

国際分担のシナリオ案(国際ワーキンググループ)

加速器	加速器本体		国際分担
	電気機械設備	基幹設備（電力・水など）	ホスト国
		他設備	国際分担
	土木建築		ホスト国
人件費	加速器（検査）		国際分担
	据付労務費		ホスト国
測定器建設費			ユーザー負担

15

(イ) 諸外国のサイエンスカウンスル等におけるプロジェクトの承認と各国政府の資金確保に向けた議論の進展【有】

山内 (KEK機構長,
ICFA)

この課題に関しては、各国における政府のプロセスで計画が承認され、資金確保に向けた政府判断が必要。当時、米国では、研究者による将来計画の合意形成 (Snowmassプロセス)を経て、政府諮問委員会(P5)が実施計画の優先順位を提言(P5 2014)し「あらゆる予算シナリオにおいてILCをサポートする」と明記。欧州の研究者コミュニティにおける研究方針・戦略を示す欧州素粒子物理戦略 2013 では、高輝度LHCが最優先。ヒッグスファクトリーは、ILC、CLIC、電子型FCC、CEPCの4候補。ILCに関しては「参加を熱望する。日本からの提案を待つ」に留まった。

2019年以降これまでの進展：

米国

- 政府(エネルギー省・国務省等)のILC支持(1.(ア)国際分担の項参照)
- 研究者コミュニティによる将来計画における ILC計画への支持の方針は継続中

欧州

- 欧州素粒子物理戦略2020 (※ 約7年毎に更新)
- ヒッグスファクトリーが最優先・ ILCへの協働の意思表示
 - 欧州素粒子物理戦略2013の「日本からの提案を待つ」から「タイムリーに実現する場合には、欧州の方針と適合しており、欧州の素粒子物理学コミュニティは協働して取り組みたい」へと踏み込んだ。
 - ヒッグスファクトリーはILCと電子型FCCのみ言及された。
 - FCC計画実施に関しては、次回(~7年後)欧州戦略までに技術的・経済的実現可能性の検討を行うべきと提言するに留まった。
- グローバル計画への 欧州の参加協議の2つの形態の可能性
 - CERN理事会を通じた計画承認プロセス
 - ホスト国との二カ国間協議

※ 欧州：ヒッグスファクトリー、米国：超伝導加速器開発のための予算措置もされている。

準備研究所期間での見通し：準備研究所期間において、1.(ア)国際分担の項の議論が深まることによって、上記プロセスの議論も 連動して進展すると期待される。

当時の状況：KEKは2016年にILC建設準備期間に必要なとされる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（2018年1月に補遺）。指摘された技術課題に必要な人材との対応は未完成。国際的な人材育成のプランができていない段階ではなかった。

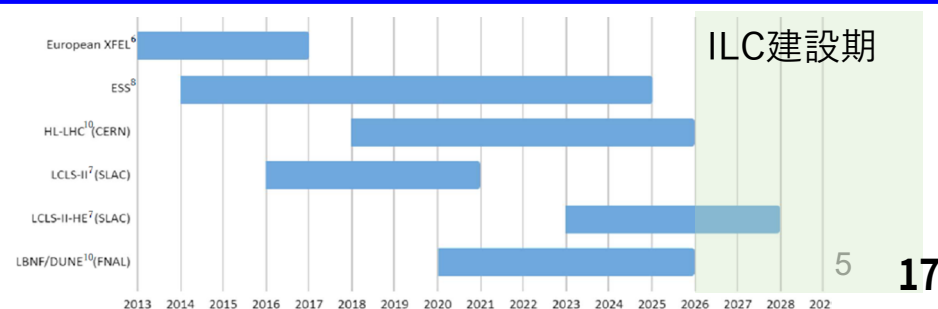
現在の見通し：

- IDTにおける国際的な調査・検討により、世界の加速器人材の現状、世界の加速器プロジェクトのタイムライン、および準備研究所における必要な加速器人材の規模が明確になった。
- ILC準備研究所およびILC研究所に対して、加速器研究者の人材確保の見通しは以下の通り。
 - ヨーロッパには加速器人材が3700人程度、アメリカ・アジアにも加速器関連の研究所が多数あり、世界的に加速器人材は豊富である。
- IDT-WG2において、準備研究所で必要となる人的資源は施設整備に従事するものを除き約620人年と評価。準備研究所の活動に各地域の研究機関の分担により実施する見通しが立っている。
- 建設期の必要人員は管理局部門を含めて830名程度。現在進行中の4つの加速器大型プロジェクトが2026年前後に建設終了するため、従事していた研究者の相当数がILCの建設期に確保可能となる。

準備研究所での取組：

- 国際共同技術準備、および詳細技術設計書作成作業を通じ、ILCに精通した人材を育成し、建設期の中核人材とする。
- 建設計画の詳細化、研究者の流動性分析から、必要な人材の種類、人数、時期などの精度を上げ、ILC建設期の人員計画を完成させ、明確な見通しを得る。

	Research institutes	No staff	Companies	No staff
France	16	562	2 ¹	87
Germany	5	809	1	10
Italy	12	412	10	95
Nordic countries	10	142	1	90
Poland	2	64	1	504
Spain	9	161	27	137
Switzerland	2	1247	1	45
United Kingdom	16	242	1	25
Total	70	3638	44	993



2. 学術的意義や国民及び科学コミュニティの理解

(ア) 欧州の将来円形加速器への参加と比較した、ILC誘致の意義の整理【学】

当時の状況：当時この課題について、電子・陽電子ヒッグスファクトリーの科学的意義に関する研究者コミュニティの合意はあったが、ILC (線形)と電子型FCC (円形)を含むヒッグスファクトリーの比較に関するコンセンサスはなかった。

その後の進展：

- 欧州素粒子物理戦略2020では、ヒッグスファクトリーはILCと電子型FCCのみ言及された。(中国のCEPCは独自計画として進行中)
- ILC (線形)、電子型FCC (円形) を含む将来加速器計画について、欧州素粒子物理戦略2020策定に際し、欧州だけでなく、アジア、北米も含めた世界の研究者による学術的観点からの整理が進展し、ヒッグスファクトリーとしての性能は同等であるというコンセンサスができた。

ILCと電子型FCCのヒッグスファクトリーとしての比較

- ILCは将来のエネルギー拡張可能
- 電子型FCCのトンネルは陽子型FCCに転用可能

「ILC+陽子型FCC」と「電子型FCCと陽子型FCC」の比較

- 前者ならILCにより電子型の将来性が担保できるが、後者では電子型の将来が途切れる
- 陽子型FCCの実験開始も電子型をILCのみとする方が早まる

ヒッグスファクトリーとしての詳細比較	ILC	電子型 FCC
形/大きさ	線形/全長約20km	円形/周長約100km
ヒッグスファクトリーとしての性能	○	○
加速器施設建設費	約5800億円	約10,500MCHF (現在のレートで約1.2兆円)
ヒッグスファクトリー実験開始 (最速)	2030年代後半	2040年代後半
電子型のエネルギー拡張性	可能	—
陽子型への転用 (トンネル再利用)	—	可能 (ただし電子型は撤去)

※欧州素粒子物理戦略2020：①ヒッグスファクトリーが最優先、②FCC計画には大きな課題あり (今回は踏んだ提言をせず、次回 (～7年後) 欧州戦略までに技術的・経済的実現可能性の検討を行うことになった。)

将来拡張性および早期物理成果達成の観点から、ILC+陽子型FCCの組み合わせが世界の素粒子物理にとってベスト。ILCによってベストなシナリオが実現できる。

マスタープラン2020に記載されたILCを日本に立地する意義：

1. ILCはアジア初の大型国際拠点→世界に誇る知の拠点

学術研究の集積による研究活動の活性化、学際研究を含めたあらたな研究の展開

2. ILCは若者に夢と希望を与える→多分野における高度人材育成に貢献

3. ILCでは国家や宗教を超えて真理を探究→世界平和に貢献

準備研究所（期間）での取組：

サイエンスはもとより、ILCを日本に立地することによる幅広い価値の総合的な議論が社会において喚起されることが望まれる。準備研究所で世界の研究者がILCに向け協働する姿からILCの持つ幅広い可能性とその価値の端緒を国民の皆様に見ていただきたい。

(イ) 素粒子物理学分野における人材配置や予算配分を含めた議論や諸学問分野の大型計画も含めた ILC の位置づけに関する議論【学】

浅井 (東大, ILC Japan, JAHEP委員長)

学会会議の指摘後(2019年3月)、文部科学省によりマスタープランでの議論の必要性が示された。

これまでの取組と進展：

・素粒子物理学分野におけるリソースの配分を含めた議論

- ・高エネルギー研究者会議(JAHEP: 日本の素粒子物理実験研究者コミュニティ)では、ILCを最重要新規プロジェクトと位置付け、その実現に必要な人材・予算等の調査・議論を継続して行ってきた。
- ・国内における議論を主導するILC推進パネル(※)を設置した。
- ・ICFAを中心に、必要とされる人材・予算等を含めた国際的な議論が進んだ。
- ・欧州・米国の研究者コミュニティのなかで、ILCを含むさまざまな将来計画の議論が進んだ。

・諸学問分野を含めたILCの位置づけに関する議論

- ・学会会議マスタープラン2020において、ILCは、重点大型研究計画(学術大型研究計画のうち特に速やかに推進すべき計画)^{追記}には選ばれなかったが、学術大型研究計画のなかからヒアリング対象となり、学術分野を横断する幅広い議論が行われ、ILCの学術的意義の理解が促進された。(※※)
- ・KEKは文科省ロードマップの申請書を提出したが、国際推進チーム(IDT)の設置等、国際的な推進の枠組みが再構築され、計画の進め方が一新される状況となったため取り下げた。
- ・ILC推進パネルを中心に、他分野との対話によるILCへの理解促進を進めている。

※ILC推進パネル：高エネルギー研究者会議を代表する高エネルギー委員会により設置(2020年10月)。時宜を得た実現に向けてILC計画を発展させるために日本の高エネルギー物理学コミュニティを主導することを任務とする。

※※ 学会会議のマスタープラン2020にて検討されたプロジェクト150件中、ヒアリングに進んだのは59件(うち素粒子物理学分野5件)、その中から重点大型研究計画に選ばれたのは16件(うち素粒子物理学分野はJ-PARC とSuperKEKBの2件)。

ILC準備研究所期間での取組：

- ・ILC準備研究所で人材・予算の課題を国際的に解決していく。
- ・ILC準備研究所期間に実施する技術課題への取り組みや物理研究を通して、分野を超えたILCの技術的波及効果や学術的意義を広げ、幅広い分野でのILCへの理解を促進する。 21

当時の状況：

- 2018年当時、高エネルギー物理学者コミュニティは、2017年の将来計画委員会答申で、ILCは最優先で実現を目指す基幹計画として位置付けていた。
- 他分野、特に近隣分野への理解を得る努力は指摘の通りまだ十分ではなかった。

これまでの取組と進展：

- 学術会議マスタープラン2020において、学術分野を横断する議論が行われ、ILCの学術的意義の理解が促進された。
- 学術会議のマスタープラン2020にて検討されたプロジェクト150件の中からヒアリングに進んだのは59件(うち素粒子物理学分野5件)、その中から重点大型研究計画に選ばれたのは16件(うち素粒子物理学分野はJ-PARC とSuperKEKBの2件)。
- 2018年10月以降も、一般向けおよび科学コミュニティ向けの講演会等の理解促進に向けた取り組みを継続（コロナ禍においては、オンライン開催も活用して努力を継続）。
- さらに以下のような新たな活動を展開してきた。

その他のアプローチ

- | | |
|----------------|----------------|
| • グッズ販売 | 外部の有志の方のサポート |
| • 広告会議大賞 | • ILC サポートーズ |
| • YouTube | • 百人委員会（例：島耕作） |
| • SNS | |
| • 寄附金 | |
| • サポート署名(38万人) | |



着実に認知度が上がってきている。

準備研究所期間での取組：準備研究所で世界の研究者がILCに向け協働する姿からILCの持つ幅広い可能性とその価値の端緒を国民の皆様に見ていただくことでILCの意義の理解が格段に進むよう努力する。

3. 技術的成立性の明確化

3. 技術的成立性の明確化

[1] ILC加速器等【有・学】(ア)(イ)(ウ) ※ コストに関連することは4. (イ) でまとめて扱う

指摘された技術的成立性について、以下のような大きな進展があった。

世界の状況と課題への取組：

- ILCで使用される超伝導加速技術を用いたEuropean XFEL (ILCの10%規模) がFELユーザー運転を順調に続けている。また、同技術は米国LCLS-IIでも採用され、建設が続いている。
これは同技術の高い信頼性を示している。
- 国際協力により、ILCに必要なナノビームをATF2で実現し、超伝導空洞の高電界・低損失、材料コスト低減という成果を得た。
- 世界の加速器施設で活躍する研究者で組織された国際推進チームIDT-WG2で、残された一部技術課題の解決にむけた準備研究所における計画を策定した。

準備研究所での取組：

- 策定された計画に基づき研究開発を行い、残された技術課題を解決する。
- 物納貢献における品質管理、整合性の担保は、国際間の取り決めでそのルールを決定する。

準備研究所における課題の例

WP-1：世界で120台の超伝導加速空洞を製造し、高性能空洞の歩留まりを評価・確認。

WP-2：クライオモジュール6台を分担製造し、海上移送の安全性と規格を確認。

WP-15：ナノビームを国際協力で実施しているKEK-ATFで最終収束系の最適化評価。



超伝導加速空洞



クライオモジュール



日本では、空洞評価設備やモジュール評価設備のような基盤設備の整備が別途必要。

3. 技術的成立性の明確化

[2] 土木工事及び環境・安全対策【有・学】

当時の状況：有識者会議では議論の対象はTDRに限定され、学術会議では地質調査（ILC 立地可能性評価に向けた北上山地地質調査報告書） および施設検討についての情報（ILC 施設・電気設備と非常時安全対策の検討）を参考資料として提供するにとどまった。建設地を想定した基本設計は未完了であった。

これまでの取組と成果：

- 有識者会議・学術会議からの指摘を受け、これまでの検討結果を『東北ILC施設計画』（土木施設基本計画）として整理した。
- 『東北ILC施設計画』は、土木学会 岩盤力学委員会 ILC施設計画評価小委員会から、[ILC施設建設の“技術的成立性を担保している”](#)との外部評価を受けた（2020）

『東北ILC施設計画』の主な内容

- 実際の地形地質によるルート設定
- 地形や地表の環境を考慮した地上施設（坑口）配置
- 国交省土木工事積算基準に準拠したトンネル設計
- 地形に合わせた施工計画
- 地下水排水設備の自然流下による実装
- 国交省土木工事積算基準に準拠した工程・工期、およびコスト算定

準備研究所での取組：

建設に向け、大規模調査・測量、設計、及び発注図書の整備（施工計画作成・積算）を行い、発注可能な状態にする。

[2] 土木工事及び環境・安全対策

(オ) 放射線防護対策、放射化物の長期維持管理の検討及び地域住民の理解【有・学】

当時の状況：

- 指摘されたとおり、地域住民に対し、放射線安全対策に特化した説明は始まっていなかった。
- 海外の研究者と共に高エネルギービームダンプの実績に基づいてILC主ビームダンプの基本設計をまとめていた。この基本設計では、放射化の核種・量、空間線量、必要な放射線遮蔽体、ビーム窓やダンプ本体の熱負荷・応力などは考慮されていた。一方で、土木、設備、ビーム窓交換等の検討は概念的なものに留まっていた。

これまでの取組と成果：

- 施設全体の放射線防護および放射化物の長期維持管理の基本設計を取りまとめた。
 - 特に放射化が強いビームダンプや陽電子標的の設計。
 - 国内外の大強度ビームの運用実績に基づく加速器設計。
 - 排水・地震・放射線の課題を踏まえた土木・施設設計。
- 2019年から11回にわたり、地域住民との対話による理解を目的に説明会を実施した。

準備研究所における取組：

- 加速器と土木施設の最終設計を完成させる。
- ビームダンプ窓交換装置およびビームダンプ水循環系の試作を踏まえたシステムの詳細設計、またビームダンプ地下空洞の土木設計を完成させる。
- 準備研究所期間、建設期間、運転期間を通じ、継続的な地域住民との対話を通じた理解促進への取り組みとして、引き続き説明会を実施する。

[2] 土木工事及び環境・安全対策

(カ) 広範な地下水位低下の可能性も考慮した環境影響評価方針の明確化【有・学】

当時の状況：

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、想定されるリスクについて洗い出しを行っていた。

- 有識者会議では地域を特定した説明は行わなかったが、東北地域では自主的に自然環境の予備調査を実施していた。
 - 自然環境調査(2013-14年度):トンネル計画ルート(50km)の周辺500mを対象。
 - 水文調査(2016年度):ILCトンネル計画ルート (50 km) の周辺水系の状況を把握。

これまでの取組と成果：

環境影響評価方針の明確化のため、以下の調査・検討をおこなった。

- 東京オリンピック・パラリンピック環境アセスメント評価委員会会長である柳先生を座長とした外部専門家による「ILC環境アセスメント評価アドバイザリーボード」(KEK)を設立し、アセスメントの基本指針、実施体制、プロセス、手法や評価対象等を調査・整理し、2021年2月に公開した。
- 準備研究所期間の前半で戦略的アセスメント、後半で実施段階アセスメントを段階的に実施し、住民との情報共有を深めることを基本指針とした。

準備研究所における取組：

確立された基本指針に沿って環境アセスメントを実施し、ILC建設開始前の環境影響評価を完了する。

[2] 土木工事及び環境・安全対策【有・学】

安全対策

当時の状況：

地下湧水、坑口付近の安全対策、掘削残土処理について、地元の大学が中心となって検討を行っていた。ただし、詳細な設計は未完了であった。

これまでの取組と成果：

耐震設計

- ・類似の既存土木施設の事例調査を実施し、一般的な耐震設計にて対応可能であるとの見解を得た
- ・二次元動的有限要素解析により、東北地方太平洋沖地震の地震動に対しても土木施設は健全であるとの結果を得た。

火災対策

- ・中央遮蔽壁による避難路の確保・避難経路の多重化等、土木施設にて考慮している。

大量湧水

- ・地質調査、水文調査、施工実績 から湧水量を推定し、通常の地下トンネルと同様の対処で処理可能との見通し。
- ・施工前にボーリング調査等で地下水の存在を評価した上で、その計画を策定する。
- ・施工中においても、前方探査によって状況を確認し、必要な対策を講じたうえで掘削を進める。

坑口周辺等の土砂災害対策

- ・土砂災害対策として、地滑り防止区域、急傾斜地崩壊危険区域、および砂防指定地を避けて坑口を設定。

掘削残土処理

- ・複数の掘削残土仮置き場候補地を選定した。また、坑口から仮置き場までの平均的な距離を用いた施工計画を立案し、コスト・工期とともに『東北ILC施設計画』に示した。

準備研究所における取組：

建設に向けた大規模な地質調査・水文調査・環境調査を行い、安全対策の合理的な実装設計を完成する。

4. コスト見積もりの妥当性

4. コスト見積もりの妥当性

(ア) 現時点での未計上の経費の算定や経費負担の在り方【学】

当時の状況：

立地に関わる経費は建設地の条件に大きく依存するものであり、地元自治体や大学が中心となって従来検討を進めていたが、詳細なコスト評価は未完了であった。

これまでの取組と成果：

- ILC加速器の配置計画案（『東北ILC施設計画（2020）』）および想定するキャンパス候補地案をもとに、具体的な建設地に依存するために未計上であった以下の経費について、概略経費を試算した。

- | | |
|------------|----------------|
| ○土地取得費、造成費 | ○電力引込み線・受電変電設備 |
| ○取付道路整備費 | ○トンネル掘削土の対処経費 |
| ○上下水道整備費 | ○環境保全経費 |

準備研究所（期間）での取組：

未計上経費の詳細を確定する。

当時の状況：

コストは、世界三極で分担して国際研究者組織GDEにより見積られた。各種リスクによるコスト上昇については、contingencyとして含め、各種リスクの詳細の分析は行っていなかった。

これまでの検討結果：

- TDRのコスト見積もり精度は約25%で、これには技術リスク、工期延長リスク、市場リスクは含まれていないため、これらへの対処について検討した。
- 技術リスク：2017年から運用が始まったEuropean XFELや、現在建設中のLCLS-IIでは同様の超伝導加速技術が使用されており、ILCの技術は確立してきている。これにより技術リスクは減少していると評価している。
- 工期延長リスク：工期延長リスクには物納貢献による物品製造の遅れ、土木工事の工期延長がある。有識者会議が指摘するようにEuropean XFELではこれらを原因とするコスト上昇は10%程度であり、ILCでも現状では同程度のリスクがあると評価している。
- 市場リスク：ヘリウムや超伝導空洞の材料であるニオブ材などには市場リスクがある。例えば、価格変動が懸念されるニオブ等の材料価格の占める割合は3%程度と評価している。

準備研究所における取組：

- 準備研究所で毎年コストレビューを行い、コスト上昇に迅速に対応する。
- 準備研究所における技術開発の遅れ、あるいは建設期間における製造の遅延などへのバックアッププランを作成し、国際合意の中に組み込む。European XFELの事例研究を進め、想定される最大リスクによるコスト上昇を予算に織り込む。
- 市場リスクについては、想定されるリスクを関連研究機関の協力を得て精査し、複数の調達先の確保や、直接調達などのバックアッププランを作成してリスクの低減に努めるとともに、想定される最大リスクによるコスト上昇を予算に織り込む。

5. 人材の育成・確保の見通し

5. 人材の育成・確保の見通し

(ア) 全体調整を担う指導的人材や総合指揮を執る加速器研究者【学・有】

当時の状況：KEKの加速器研究者を中心にILCに必要な人材について、KEKアクションプランとして人材計画をまとめていた。指導的人材の必要人数については、その概数を把握していたが、国際的な議論は行なっていなかった。

人材確保についての取組とその成果、状況：

- KEKアクションプランをもとにIDTで国際的に議論し、指導的人材の育成計画を作成した。その中身は、準備研究所での活動を有識者会議等で指摘された技術課題を中心にWPとしてまとめ、各WPを各リーダーのもとで遂行することで、指導的人材を育成するものである。
 - 世界の大型加速器プロジェクトのスケジュールが具体化し、ILC建設期には現行の大型プロジェクトの建設が終了することが明確になった。LHC、European XFEL、LCLS-II等で経験を積んだ人材は、ILC建設をリードする人材の大きな供給源となる。
 - 世界9か国19研究機関から約50名の加速器研究者が参加するIDT-WG2は、KEKの道園が部会長となり全体統括している。WG2では日本の研究者が中核的役割を果たしており、国際的な組織運営のできる日本の人材が育成されている。
 - KEK応用超伝導加速器センター、J-PARC、SuperKEKB等で全体調整や総合指揮の経験を積んだ研究者が、その供給源となる。

準備研究所における取組と展望：

- 準備研究所における技術課題への国際的な取り組みにより、さらに指導的人材を育成する。
- 建設期における全体調整や総合指揮のため、準備研究所で育成された人材と、これまで内外の大型加速器のプロジェクトで経験を積んだ人材の配置計画を作成する。

(イ) 国内の人材の所在の把握や人材育成計画の検討【学・有】

当時の状況：

ILC加速器建設に必要な国内人材の育成について、KEK-ILCアクションプラン(2018)で検討されていたが、人材確保のための幅広い分野での人材の所在把握や育成計画の検討が必要であった。

これまでの取組と成果：

- 現状のILC研究者に加え、現在育成中の人材、ILC以外のプロジェクトにおける潜在的人材を合わせた国内人材の確保の見通しを得た。また、今後育成すべき人材の検討も行った。
- **国内人材の所在**
 - ILCだけでなくJ-PARC、SuperKEKB/Belle II、LHC/HL-LHC等で経験を積む研究者・技術者(←建設・運転スケジュールがILCと整合している)
 - 機械工学・電気工学等、加速器と直接関係ない幅広い分野の人材
 - KEK応用超伝導加速器センター(2019年発足)(超伝導関係等の加速器人材育成も進行中)
- **国内で育成すべき人材の検討**
 - IDTによるILC準備研究所提案書の策定過程において、ILC準備研究所での技術課題(ワークパッケージ)・詳細設計への取り組みに必要な人材が明確になった。
 - 国内のILC加速器人材として、現在の40名程度(FTE)を、建設開始までに110人程度に拡充する必要があることがわかった。

ILC準備研究所期間における取組：

- ILC準備研究所における技術課題(ワークパッケージ)・詳細設計への取り組みにより、ILC建設に必要な国内人材を確保・育成する。
- 国内のILC加速器人材として、現在の40名程度(FTE)を、準備研究所4年目には110人程度に育成・拡充する。

(ウ) 供給可能な人材の量や時期を踏まえた国際分担【有】

当時の状況：

ILC計画の技術設計報告書(TDR, 2013年出版)やKEK-ILCアクションプラン(2018)でILC加速器建設に必要な人材の検討がなされたが、供給可能な人材の量や時期を踏まえた国際分担による人材確保の見通しを得る必要があった。

これまでの取組と成果：

- ILCの基幹技術である超伝導加速器の実用が大きく進展した。
 - 新たな超伝導加速器施設
 - 米国：LCLS-II, PIP-II
 - 欧州：European XFEL(稼働中), ESS
 - アジアでもインドや中国等における技術の進展
 - 技術発展とともに豊富な人材が育成されている(項目1-(ウ)参照)。
- 海外の大型加速器計画のタイムラインがより明確となった。
 - 各領域での大型加速器の建設計画の多くは2026年前後に建設完了予定(項目1-(ウ)参照)
 - ILCのタイムラインとの高い整合性からILC建設のための人材確保の見通しがより明確となった。

ILC準備研究所期間での取組：

- ILC建設で中核となる人材は、準備研究所における技術課題・詳細設計の国際分担により、参画する海外および国内の研究機関からの貢献で十分充足する見通しである。
- ILC計画に参画する人員全体に関しては、準備研究所期間における国際協議の合意の中で決定される。

当時の状況：

有識者会議では特定の立地についての議論はされていない。2013年の国内候補地選定の立地評価においてこの課題の検討がなされており、その際に東北地域の状況が既にまとめられていた。

実施状況、検討内容およびその成果：

東北地域地元自治体では、外国人へのサポート体制の充実・強化に努め、さまざまな取り組みが進行中である。

- ・ （一社）先端加速器科学技術推進協議会のプロジェクト推進部会において、ILCを契機とした地方創生・まちづくりWGを結成し、ILC立地地域の一般的な環境整備について検討を開始した。
- ・ 東北ILC事業推進センターでは、外国人のための住環境や家族の生活支援等を含めた環境整備について検討を進めるため、部会を設置し、検討を継続している。

準備研究所期間において期待される進展：

- ・ 当該地域ではさまざまな取り組みが確実に進展していることから、ILCに関わる外国人が来日するまでには、十分な環境が整備されると見込まれる。
- ・ 住環境等の整備にILC準備研究所が直接に関与することはないが、自治体との意見交換などを行う中で、環境整備がより進展すると期待する。

6. その他

6. その他 (ア) 準備研究所にかかる体制等 (現行の研究計画からリソースを移行する時期と範囲についてのKEKや国内外の関連研究者との議論など) 【有】

岡田 (KEK, IDT EB)

当時の状況：準備研究所についてはTDR/PIP(Project Implementation Plan)に記述があるが移行プロセスについては記述はなかった。KEK内における人員育成計画については、KEKアクションプランにて検討されたが、国際的な議論は行われていなかった。また準備研究所の組織および移行プロセスについては検討されていなかった。

これまでの取組と成果：

- ICFAにより設置された**国際推進チームIDTにより、世界協力で準備研究所の組織、事業内容、経費、人材、および移行時期とプロセスが提案**された。
- ILC国際ワーキンググループやIDTでの検討結果
 - 準備研究所の発足時に、各研究機関からのリソースの移行**を開始する。
 - 技術課題は欧・米・アジア（主に日本）でほぼ均等の分担を想定する。
 - 土木関連の準備作業は、日本の担当とする。
 - ILC準備研究所本部に必要な人的資源は30人規模**である。
 - KEK現行プロジェクトを維持しつつ、**準備研究所における研究活動を進める**。
 - 予算、人員は検討結果が提案書にまとめられている。
 - 日本の負担分はKEKで精査されている。

準備研究所に必要な物件費用、および人的資源

分野	物件費	人的資源
単位	[MILCU]	[FTE-yr]
技術課題	57.60	364
詳細設計	—	250
土木調査設計	65	70

ILC準備研究所本部に必要な人的資源

項目		FTE/年	計
役員付事務局	所長および部門長	4	12
	事務サポート、法務、広報、安全	8	
本部事務局	局長	1	9
	国際関係、財務・調達、人事・出張、現地IT関連	8	
中央技術オフィス	プロジェクト管理・技術調整	5	9
	物理・測定器の共通ニーズの調整	2	
	工学データ管理システムのITサービス	2	
合計	38±0		

(イ) 技術的・経済的波及効果【学】

当時の状況：

文部科学省からの調査委託によって、野村総合研究所による経済波及効果の評価が実施され、「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」として報告されていた。

これまでの取組と成果：

- 技術的・経済的波及効果について、2019年以降も、様々な分野の有識者、産業界、および地方自治体等との間で、議論・検討を行ってきた。
- 検討の結果、我々が最も重要視する5つの点を以下にまとめる
 1. ILCはアジア初の大型国際拠点→世界に誇る知の拠点
 2. ILCは若者に夢と希望を与える→多分野における高度人材育成に貢献
 3. ILCでは国家や宗教を超えて真理を探究→世界平和に貢献
 4. ILC(大型加速器)は総合科学→技術の発展・イノベーションの発生に貢献
 5. ILCを核としたエコシティ構想→SDGsへ貢献

準備研究所期間での取組：

準備研究所期間に、経済学・経営学の専門家の協力を得て、ILC 計画の技術的・経済的波及効果や分析方法に関する検討をさらに進める。

Backup

課題	現状	準備研究所での取り組み
超伝導高周波加速管の製造歩留まり向上、さらなる性能向上	ILCに必要な性能は高い製造歩留まりで実現されており、X-FELの運転がそれを実証している。	さらなるコスト削減、性能向上のため、WP1を実施し、コスト削減と性能向上を目指す。
物納貢献における品質管理、整合性の担保	プラグコンパチビリティという設計思想により、整合性を担保。	WP1およびWP2により取り組む。海上輸送試験を行い、安全輸送技術を確立する。移管手続きなどは国際合意により決定。
陽電子源開発の方針	準備研究所の3年目に技術選択を行う	WP5-11を実施し、その時点での技術的成熟性をもとに最適な技術を選択する。
衝突点のビーム制御や微小振動の許容値の評価	ATFにおいてビームサイズ・安定度評価を行っている。	WP15を実施し、ビーム制御および振動の各々の許容値を準備研究所において評価する。
ビームダンプの安全性の確立	加速器使用経験を考慮し窓材を決定。閉鎖系として設計することで放射線安全を確保。	定期的な窓材の交換を安全に行うメンテナンス機構の設計を含めたダンプシステムの設計をWP17として準備研究所で完成。

準備研究所における課題の例

WP-1：世界で120台の超伝導加速空洞を製造し、高性能空洞の歩留まりを評価・確認。

WP-2：クライオモジュール6台を分担製造し、海上移送の安全性と規格を確認。

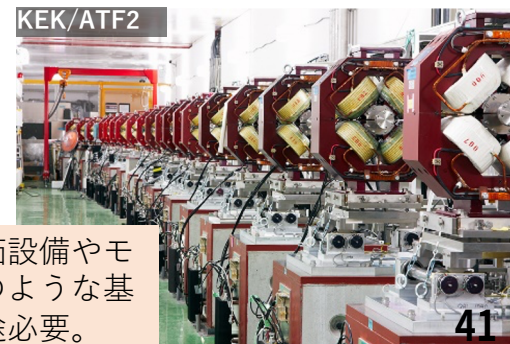
WP-15：ナノビームを国際協力で実施しているKEK-ATFで最終収束系の最適化評価。



超伝導加速空洞

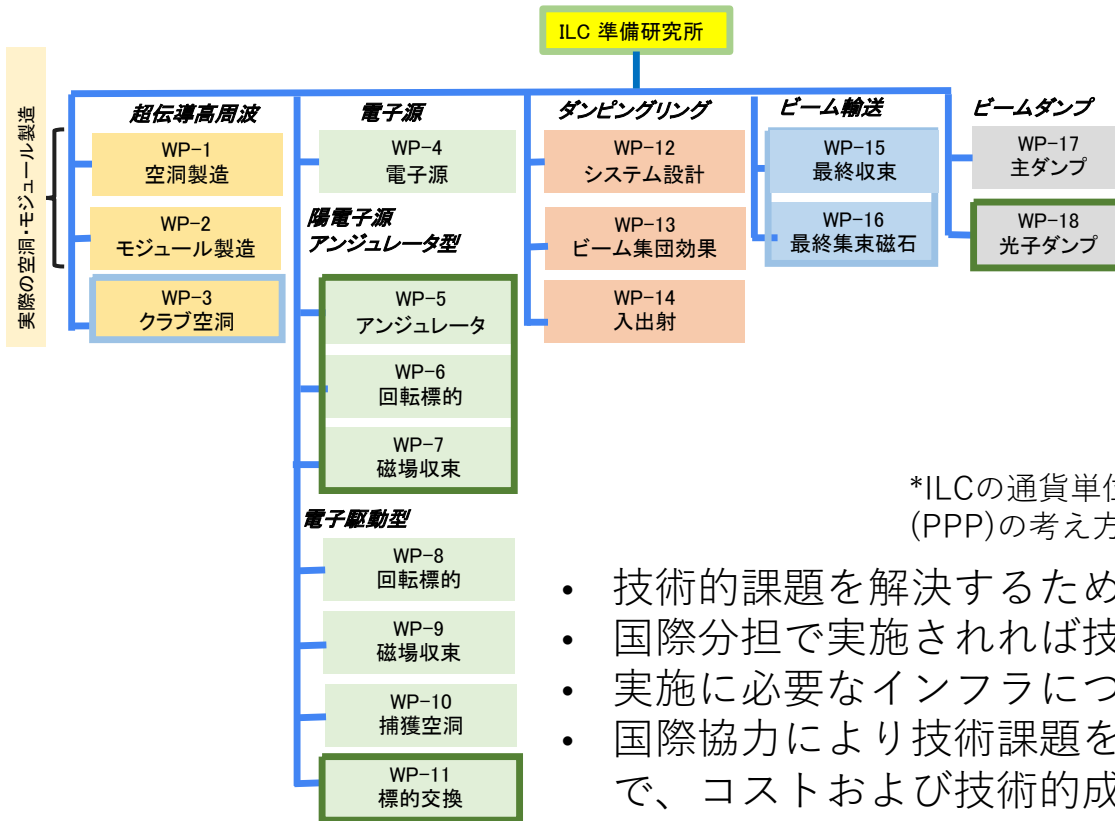


クライオモジュール



日本では、空洞評価設備やモジュール評価設備のような基盤設備の整備が別途必要。

技術課題に関する取り組み



	[MILCU]	[FTE-yr]
線形加速器及び超伝導高周波加速技術	41.25	285
電子源	2.60	6
陽電子源	5.85	15
ダンピングリング	2.50	30
ビーム伝送システム	2.20	16
ダンプ	3.20	12
合計	57.60	364

*ILCの通貨単位。1ILCUは2012年の1米ドルに相当。購買力平価(PPP)の考え方にに基づき有識者会議等では1米ドル=100円換算。

- 技術的課題を解決するためにワークパッケージとして整理。
- 国際分担で実施されれば技術課題が解決される見通し。
- 実施に必要なインフラについては各機関の責任で整備。
- 国際協力により技術課題を解決し、最終設計に取りまとめることで、コストおよび技術的成立性を確実にする。

WP-1:高性能空洞の大量生産

- 各40台の空洞を3極で製造(合計120台)
- 高性能空洞の歩留まりを評価



日本では、空洞評価設備やモジュール評価設備のような基盤設備の整備が別途必要。

WP-2:クライオモジュール製造・移送

- クライオモジュール各2台を3極で製造する
- 海上移送による性能劣化がないこと、モジュールが規格通りとなっているかを確認



クライオモジュール



陸上移送の例

WP-15:KEK-ATFでの最終収束評価

- 最終収束系の最適化
- KEKのATFへの物納貢献により実現

