

技術的成立性及びコスト見積もりの妥当性 (土木及び環境・安全対策)

資料「ILC計画に関する主な課題について(2021.7.19a)」の補足説明

KEK加速器研究施設 応用超伝導加速器センター(CASA)
照沼信浩

ILC計画の諸課題の進捗状況の確認の視点

- 前回報告書取りまとめ以降、土木工事及び環境・安全対策に関する技術的課題の解決に向けてどのような取組が進められたか。また、土木工事及び環境・安全対策に進展はあったか。(現地調査を行う前に解決すべき課題の状況等)
- 準備段階で解決すべき土木・環境関連の課題について、解決に向けた取組の計画が妥当であるか。
- 現状について、土木工事及び環境・安全対策に関する技術的課題の解決の見通しが明確であると言える状況にあるか。

※「5.コスト見積もりの妥当性」にも関連

※立地については、場所を特定しない範囲での確認を行う。

第1回有識者会議での委員からの指摘事項

- 放射線対策や環境・安全対策に関するリスクへの対応について、国民への説明を含めたしっかりとした体制が検討されているか。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

1

土木及び環境・安全対策 準備状況

現在までに、想定する地域における地質調査に基づいて(基本的)施設計画を策定、概算工事費を積算している。

次の段階は、土木施設の詳細設計、関連する具体的な安全対策設計であり、そのためには現地の詳細な地形・地質調査が必須である。また、環境アセスメントに着手する必要もある。

これらの詳細な調査・設計には、新たな経費による対応が必要となる。

	(TDR)	2021 ↓	(EDR)*	
土木	<ul style="list-style-type: none">● 研究者を中心とした立地評価● 地質調査	<ul style="list-style-type: none">● 現地モデルに基づく施設計画の策定、土木学会の評価● ビームダンプ空洞の基本設計	<p>現地の詳細な調査 加速器設計更新を反映</p> <p>詳細設計</p>	
安全対策	<ul style="list-style-type: none">● 地震影響事例調査● 基本的安全対策(火災、地震、停電、放射線)	<ul style="list-style-type: none">● 耐震設計事例調査● 地下湧水(水文調査、排水手法)● 放射線安全強化対策 ビームダンプ施設 産学連携による具体化● 住民説明会	<p>具体的な耐震設計 加速器設計更新を反映 住民説明会 現地関係機関との安全対策・協議</p> <p>詳細設計</p>	ILC建設
環境	<ul style="list-style-type: none">● 予備的環境調査	<ul style="list-style-type: none">● ILC環境アセスメントの考え方 (KEKアドバイザリーボード)	<p>戦略的環境アセスメント</p> <p>実施段階環境アセスメント</p>	フォローアップアセスメント

: ~2017年

: 2018年~2021年

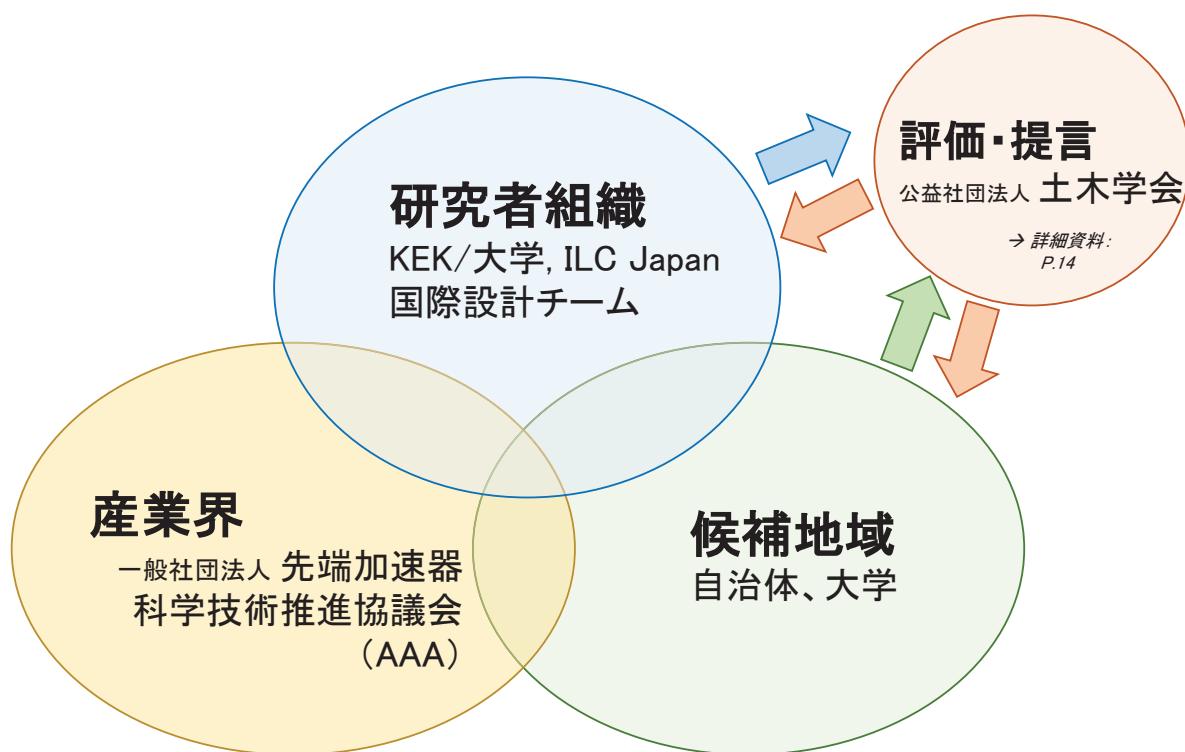
: Pre-lab

*EDR:建設開始に必要となる
詳細技術設計書

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

2

土木・環境・安全対策の設計・検討体制



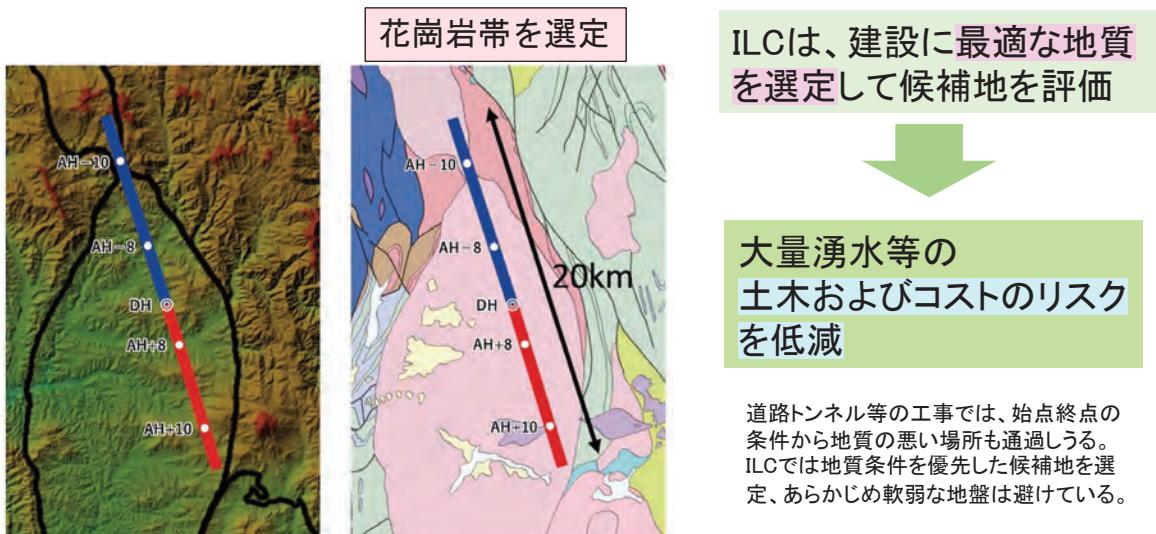
ILCに関する有識者会議 2021/10/18

3

ILCの土木設計で想定する地形・地質

→ 詳細資料:
P.15, 16

- 50 km の長距離に渡って概ね一様な岩盤
- 地盤振動の影響を受けにくい堅固な岩盤帯
- 活断層の可能性が予見される“既知の断層が横切らない”



- 弹性波探査(総延長30km)、電磁探査(総延長13km)、ボーリング調査(7本)を実施した。
- 加速器トンネルの領域には、硬く、割れ目の少ない花崗岩が広く分布すると考えられる。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

4

トンネル・空洞の耐震設計

→ 詳細資料:
P.17-19

■ 近年の大規模地震によるトンネル損傷事例調査

兵庫県南部地震(1995)～熊本地震(2016)

■ 硬岩体の地下における地震振幅の減衰例

強震観測網(防災科研): 地上および地下の測定

国立天文台 江刺地球潮汐観測所の事例:

(ガラス製の精緻な観測機器が東北地方太平洋沖地震でも無傷であった)

被害が出るのは弱層部(坑口等)である

ILC地下施設において特に注意する箇所

- 小土被り区間(坑口)
- 地質不良部
- 立坑部
- 断面急変部(立坑と空洞の接続部等)

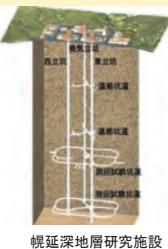
(AAA CIVIL部会)

“特に注意する箇所”: 類似の既存地下施設の事例調査を実施、耐震設計の方針を確認

立坑・大空洞など地下構造物の耐震設計事例調査

(AAAプロジェクト推進部会 安全・防災 WG)

- ・高山祭屋台美術館
- ・天ヶ瀬ダム放水路トンネル立坑
- ・幌延深地層研究施設
- ・首都圏外郭放水路
- ・波方国家石油ガス備蓄基地



施設計画段階における耐震検討事例調査

- ・地層処分施設 (NUMO)

立坑・水平抗交差部の構造解析(軟岩モデル)の評価結果を調査した。

一般的な耐震設計にて十分対応可能

であるとの見解を得た。

(必要に応じて調査事例の対策を準用する)

今後の詳細設計における対応

- 地表との接続部の耐震設計に留意する。
 - ・設備配管等について影響を軽減する設計
- 地下設備の耐震設計
 - ・地上に準ずる耐震設計
 - ・電気・空調・冷却水
 - ・ビームダンプ(遮蔽体構造、ダンプ水循環装置)
 - ・ヘリウム系は高圧ガス法に基づく基準

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

5

地下湧水の自然排水の検討(2019～2020)

→ 詳細資料:
P.21, 22

・様々な場合を想定した、機械的手段に頼らない地下水排水等の検討・対策【学】

地下湧水の排水

● 平常時(強制排水):

水平トンネルの湧水は、アクセストンネルを経由して、ポンプによる地上への強制排水。

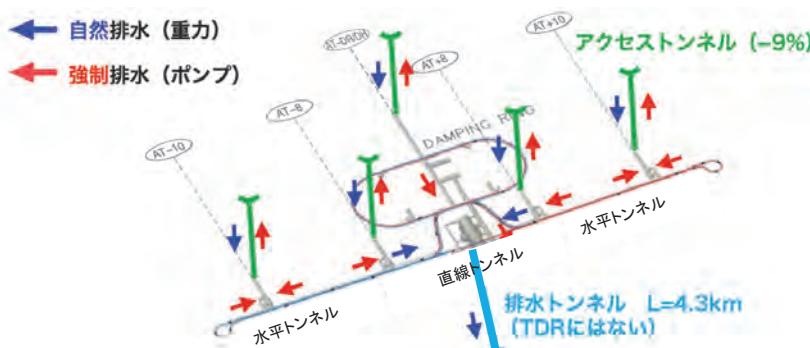
● 停電時(強制排水):

外部受電の停電時は、備蓄燃料を用いた非常用発電機で排水に必要な電力を賄う。

● 長期の停電(自然排水):

「トンネル床下導水路と排水トンネルによる自然排水方式」を検討、水理計算により十分に機能することを確認した。

(AAAプロジェクト推進部会 安全・防災 WG)



湧水量:

水文地質学的手法から
0.8m³/min./km と想定。

排水トンネル:

中央の検出器ホール周辺に接続。
接続口は標高100m程であり、より標高の低い河川への自然排水が可能である。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

6

掘削残土処理および重金属対策(2018年以降の進展)

→ 詳細資料:
P.23-26

- ボーリング調査サンプルの分析 → 重金属等は検出されなかった。



重金属含有量評価

- 蛍光X線分析
- 溶出量試験(2021年8月完了)

- 同花崗岩帯における二ヶ所の道路トンネル工事でも溶出基準値を下回った

選定されている地形・地質の状況から、重金属が含まれる掘削残土が大量に出る可能性は低いと見込む。

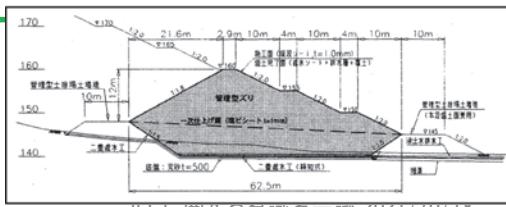
- 良質の花崗岩
 - 仮置き場に関する調査 → 複数の有望な候補地
 - 建設建材としての有効利用

- 掘削残土に重金属等が含まれていた場合 → 実績のある手法に従って管理する。

- 一般的に採用されている遮水シートを用いる場合、管理型ずり捨て場にかかる概算工事費の例: 1m³あたり4,500円(捨て場造成工等の一般土木工事費を除いた直接工事費。排水工、保護層設置工、遮水シート設置工、保護マット設置工、舗装工を含む。)

(「現場技術者のための重金属を含むずり処理に関するQ&A」ジエオフロンテ研究会環境対応WG, 2013年3月14日)

- 国交省 新技術情報システムで紹介されている「吸着層工法」では、残土処理費用は1m³あたり3,291円とされている。<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=HK-150010%20>



鉱山地域における掘削ずり処理と土捨場構造
服部修一・佐々木裕・夢沼慶正
トンネル工学・研究論文報告集,
第12巻, 2002年11月報告(58)

7

候補地モデルに基づいた施設計画・概算工事費

→ 詳細資料:
P.14, 20, 27, 28

想定する地域の地形・地質調査を踏まえた土木設計に基づき、施工計画を立案し、概算工事費を積算した。これらを「東北ILC施設計画」として取りまとめた。



地形・地質に基づく施設計画

- 加速器トンネル・空洞
 - 加速器の設計+安全設計により基本的長さ・断面が決まる
 - 土木工事の大部分。工事費は積算基準などから一義的に決まる
- 地上～地下へのアクセス
 - 坑口位置で、アクセストンネルの長さが変わる（最大勾配10%）
 - 建設地に依存した工事費の違い

TDRではアクセストンネル長を各1kmと仮定していた。想定する地域の計画では場所により増減するが、平均して1km程度であり、大きな違いはない。

概算工事費

- 国土交通省等から公表されている基準に準拠して積算している。（設計が決まれば一義的に決まる）

- 地形・地質調査に基づく土木設計（標準断面、補強設計）
- 土木工事積算基準に準拠した施工計画の立案
- 機械損料、材料単価、および労務単価に基づいて積算

Pre-labでは、必要な地形・地質調査を実施して詳細設計を行い、土木の施工設計を完了させる予定である。

候補地モデルによる土木工事費の概算（億円）「東北ILC施設計画」

部位	全長 20.5km	
	諸元	工事価格
アクセストンネル	AT:5 本, 延長 5,662m AS:5 か所, 248,354m ³ AS ヤード造成:18,193m ² ×5 ケ所	247
加速器トンネル	かまぼこ型, 延長 20.5km 隔壁:現地製作, 延長 15.3km DR:端部ループ, BDS(ビーム・サービス), 他	644
測定器ホール	大空洞, 立坑, 周辺トンネル AT-DH/AT-DR 坑口共用 ヤード造成:78,500m ²	134
排水設備	トンネル, 貯留槽, 暗渠, 総延長 4,335m 坑内横断排水, 坑外設備	73 30
合計		1,127

- 今まで提示している土木コストとほぼ同じ
- *排水トンネル（案）を含む。中央キャンパス建築を除く。

「東北ILC施設計画」 <https://tipdc.org/document/ilc>

岩盤力学・工学の視点による技術的成立性の評価

土木学会 岩盤力学委員会「ILC施設評価検討小委員会」

委員長 大西有三(京都大学名誉教授)

“「東北 ILC 施設計画」は技術的成立性を担保しているものと評価、その内容は妥当であると結論する。”（2020年3月）

http://www.rock-jsce.org/index.php?ILC_subcommittee_2th

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

8

サイト調査・土木施設検討の現状

土木学会の示すトンネル工事手順で見た場合、

現段階

- 施工へ向けた設計に必要な計画と調査を終える段階

従って、次の段階は、

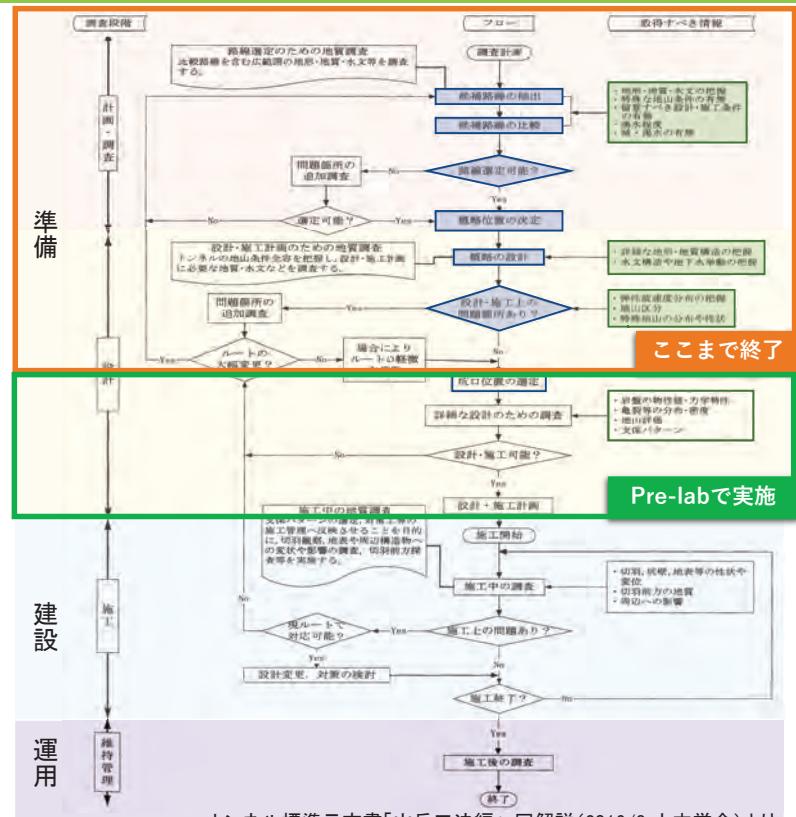
- 詳細な設計のための調査の実施
 - 設計・施工計画の策定
- するのが自然である。

土木計画

トンネルはILCの大部分を占めており、従って土木学会の『トンネル標準示方書』の手順に従い準備・計画を進めることが妥当である。

現在の状況

- 示方書の「計画・調査」段階は終了
- 地下に設置する加速器トンネルについては、「基本設計」もほぼ終了
- 地表と地下を結ぶアクセストンネルについては、建設位置(坑口位置)の評価を進めている。



ILCに関する有識者会議 2021/10/18

9

放射線安全および地域住民の理解

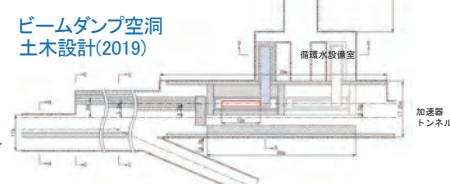
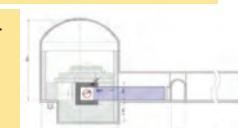
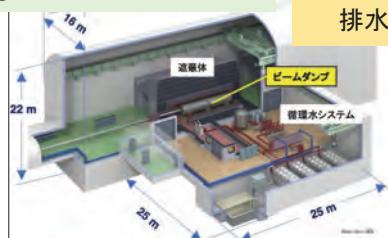
→ 詳細資料:
P.29-33

放射線安全に関する施設設計 (放射線防護および放射化物の長期維持管理)

- KEK および世界の大型加速器の実績
✓より放射化の厳しい陽子加速器での実績
(ビームダンプ窓や陽電子標的の素材選定)
- シミュレーションによる安全性評価
- ビームダンプなど、安全に運用可能であると判断している

- 放射線遮蔽の構造、放射化した機器の保守方法、ビームダンプ水の漏洩対策、放射化物の長期維持管理など、安全を追求した最終設計を KEK を中心に国際協力で進めている。

- 産学連携による施設・設備の具体的な設計
(一社)先端加速器科学技術推進協議会
プロジェクト推進部会 安全・防災 WG
排水・地震・放射線の対応を検討



地域住民の理解促進のための説明会

KEK、地域大学
および自治体

- 安全管理・環境影響対策を中心に説明
- 地域住民の幅広い参加を得るために地域の交流センターなど11会場で開催、延べ673名の参加を得ている。
- 説明会での質問や地域住民から寄せられた疑問や不安に対する回答を取りまとめ、ホームページで公表している。

<https://tipdc.org/inquiries#qa>



ILCに関する有識者会議 2021/10/18

10

環境関係の取り組み (2018年以降)

→ 詳細資料:
P.34-38

■ 環境影響評価方針の検討

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」を設立(2019)

座長:柳憲一郎(明大名誉教授)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

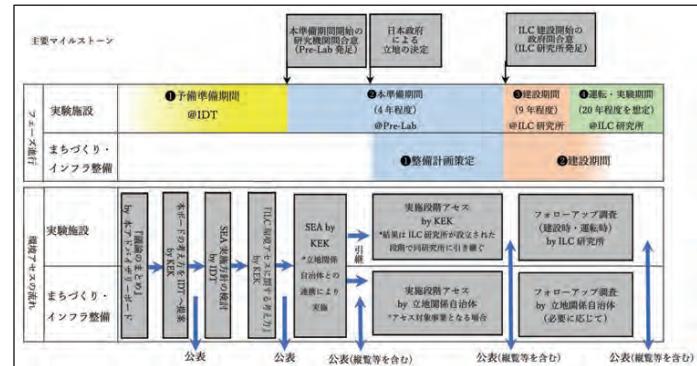
● ILCの事業特性を踏まえた検討

- 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

(環境的影響、社会・経済的影响)

「議論のまとめ」2020年12月

https://www2.kek.jp/ilc/ja/contents/docs/Strategic_Environmental_Assessment_of_the_ILC_Project_Summary_of_the_Disussion_on_japanese.pdf



ILC計画に係る環境アセスメントの流れ(想定)

■ 環境に配慮した「グリーンILC」の検討

(一社)先端加速器科学技術推進協議会 技術部会 グリーンILC WGほか

<https://tipdc.org/assets/uploads/2020/12/guideline03.pdf>
<https://tipdc.org/assets/uploads/2020/12/guideline04.pdf>

- エネルギー対策: バイオマス、Power-GRID、廃熱利用
- 資源の活用: 地元木材のILC関連施設への活用、トンネル掘削時に出る良質の花崗岩の利用

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

11

まとめ

■ 土木

想定する地域の地形・地質調査および水文調査に基づいた施設設計を進めた。

- 耐震設計について、類似の既存土木施設の事例調査を実施し、これらと同様の一般的な耐震設計にて対応可能であるとの見解を得た。
- 地下湧水について、自然勾配の排水トンネルを用いた機械的手段によらない排水方式が成立することを確認した。
- 掘削残土処理は建設地に強く依存する。候補地域の大学および自治体による調査・検討では、その仮置き場の候補地を挙げるとともに、残土輸送を考慮した施工計画を立案した。
- これらの施設設計とその概算工事費を取りまとめた「東北ILC施設設計計画」を策定、岩盤力学・工学の視点から土木学会に評価を依頼、技術的に妥当であるとの評価を得た。

■ 環境・安全対策

- 放射線防護と放射化物の維持管理の方策について、安全を追求した設計を国際協力で進めると共に、産学連携による施設・設備設計を進めた。
- 地域住民の理解促進のため、ILCの安全管理・環境影響対策について説明会を実施した。
- 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」を立ち上げ、基本指針、実施体制、プロセス、手法や評価対象を整理し、環境影響評価の方針を取りまとめた。

■ 次の段階は、詳細な設計のための地形・地質調査の実施、環境影響調査の着手であり、それらに基づいて最終的な施設設計・施工計画・安全対策の実装を策定する。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

12

詳細資料

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

13

土木学会による技術提言・評価

→ 関連:
P.3, 8

『 加速器建設の土木技術に関する調査研究報告書 』

(2008年3月)

2006-2008 土木学会 岩盤力学委員会・トンネル工学委員会「リニアコライダー土木技術研究小委員会」

委員長 清水 則一 山口大学 工学部 社会建設工学科
①計画・マネジメントWG ②調査・試験・環境アセスWG ③設計・環境設計WG ④施工・メンテナンスWG ⑤海外情報調査WG

- ILC研究施設を日本に誘致する場合の課題と可能性のある対応策について、整理・検討した。

<https://www.jsce.or.jp/committee/rm/ILC/ILC-index.html>

『 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)

2010-2013 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」

委員長 近久 博志 (株)地盤システム研究所
①計画調査部会 ②大空洞部会 ③水平坑部会 ④特殊坑部会 ⑤防災部会

- ILC研究施設に対して、経済的で高品質な施設建設が可能になるように、これまでの施工経験を通じて培ってきた我が国の地下空間構築のノウハウや知見を集約させて、ガイドラインとしてまとめた。

<http://www.rock-jsce.org/index.php?国際リニアコライダ施設の土木工事に関する指針策定委員会>

『 東北ILC施設計画 』の技術的成立性を評価

(2020年3月)

2019-2020 土木学会 岩盤力学委員会 「ILC施設計画評価小委員会」

委員長 大西 有三 京都大学名誉教授

- 地質・地形の条件を踏まえたILC施設計画について、岩盤力学・工学の視点から技術的成立性を評価した。

”「東北 ILC 施設計画」は技術的成立性を担保しているものと評価、その内容は妥当であると結論する ”

<https://tipdc.org/document/ilc>

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

14

建設適地選定の経緯

→ 関連: P.4

- 建設地(始点・終点)が決められている道路トンネル・鉄道トンネルと異なり、**建設地を特定せず**に地盤・地質・地形の条件から建設の適地を検討した。
- 建設時のコスト・工期の増大を防止するため、建設に係るリスク(断層、地層境界等)に注目した。

1997: 国内全域で立地可能なサイト調査開始

地盤、地質、地形を重視し、全国から条件に当てはまる土地を絞り込んだ

2006: 土木学会との連携開始

2006: リニアコライダー土木技術研究小委員会

2010: 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



2010: 日本物理学会領域シンポジウムにおいて2候補地を公表

2010: 地元大学・自治体による調査開始

2012: 国の予算による2候補地点に於ける地質調査

2013: ILCコミュニティにより、北上サイトを最適と評価

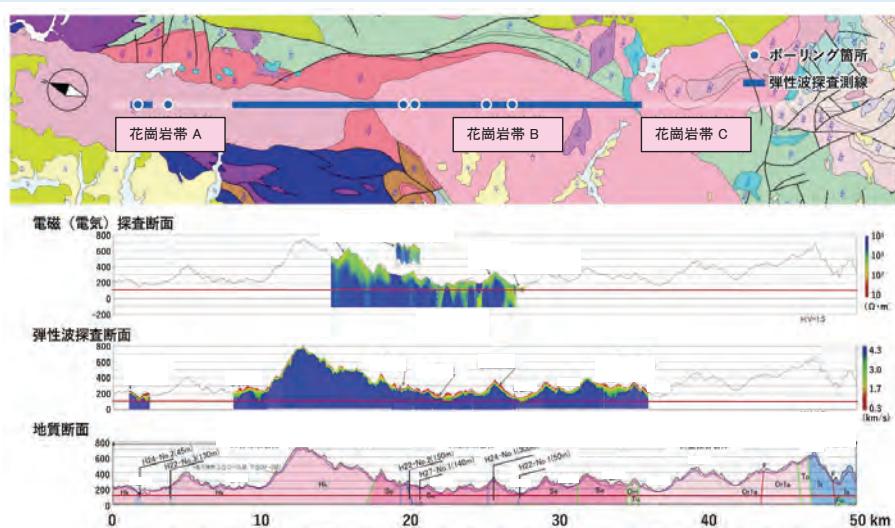
ILCに関する有識者会議 2021/10/18

15

想定する花崗岩帯の地質調査

→ 関連: P.4

- 弹性波探査(総延長30km)、電磁探査(総延長13km)、ボーリング(7本)を実施した。
- 加速器トンネルの領域には、硬く、割れ目の少ない花崗岩が広く分布すると考えられる。



- 風化は地表付近に限られる(弹性波探査)

- 水文地質学的手法による恒常湧水量の推定は $0.8\text{m}^3/\text{min./km}$ 程度

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

16

ア. 様々な場合を想定した地下水浸水対策、耐震設計を含めた地震や火災など不測の事態への対策についての経費算定も含めた計画【有・学】

→ 関連: P.5

- ・メインライナックトンネル等の地震時安定性確保や基本的機能の維持
- ・近年の大規模地震によるトンネル損傷事例も踏まえた耐震補強対策
- ・耐震性能の具体的検討に至っていない施設設備の詳細な検討
- ・地下の実験ホールとその周辺の耐震設計
- ・地震や火災などの不測の事態への対策についての経費算定も含めた計画立案

地震対策：法令を遵守する

地上施設 • 建築基準法を遵守する

地下施設 • 建築基準法に対応する法令はない

- ・『トンネル標準示方書（共通編）・同解説／（山岳工法編）・同解説（土木学会トンネル工学委員会、2016年8月）』に「地山が良好なトンネルについては一般に地震の影響は考慮する必要はない」とある
- ・近年の大規模地震の事例を参考にする

2018年以降の進展

- ・近年の大規模地震の際のトンネル損傷事例調査から、トンネル全線にわたって被害が発生している事例はなく、比較的狭い範囲に限定的に発生していることを確認できた。
- ・土木研究所から示された耐震工法の検討フローと、ILC建設候補地の地質条件や東北地方太平洋沖地震時の被害状況を考え合わせると、耐震設計が必要になるのは坑口付近となる。
- ・土木施設の検討結果をまとめた『東北ILC施設計画』の内容は、土木学会 岩盤力学委員会 ILC施設評価検討小委員会（委員長：大西有三 京都大学名誉教授）による評価を受け、「東北 ILC 施設計画」は技術的成立性を担保しているものと評価、その内容は妥当であると結論する。との評価を受けた。

ILC-Prelabで行うこと（設計・開発から実証へ）

- ・坑口位置を決定した後に詳細な地質調査を実施し、調査データに基づいて適切な耐震設計とする。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

17

近年の大規模地震によるトンネル被害事例調査

→ 関連: P.5

トンネルの地震被害 事例調査

- ・熊本地震 2016年 4月16日
- ・東北地方太平洋沖地震 2011年 3月11日
- ・岩手・宮城内陸地震 2008年 6月14日
- ・新潟県中越沖地震 2007年 7月16日
- ・新潟県中越地震 2004年 10月23日
- ・兵庫県南部地震 1995年 1月17日

- 多数のトンネルがある中で、損傷を受けたものはごく一部である。

■ トンネル全線にわたって被害が発生している事例はなく、比較的狭い範囲に限定的に発生している。

■ 被害原因の推定

- 地質的な要因
 - ・断層、破碎帯、弱層部、地層境界
- トンネルの構造的な要因
 - ・覆工コンクリートの巻厚不足
 - ・地質的な要因がある場所で、適切な床コンクリート（インバート）の施工が無い場合など

(AAA CIVIL部会)

地震による山岳トンネルの被害

【地図名】 発生日時、震源、深さ、規模 (M)	【被害トンネル】 延長、竣工年、仕様、立地条件	【トンネル被災状況と被災原因の推定】
①【熊本地震】 発生日時：2016.4.16 1:25 震源：熊本県熊本地方 深さ：10km M：7.3 発震機構：南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型（日奈久断層帶） ◆本震	【国道 28 号佐伯山トンネル】 延長：2,057m 竣工：2002 年 仕様：NATM、2 車線道路 開後のトンネルも覆工コンクリートにひび割れが発生。覆工コンクリートは 40cm の隙ぐれによりヨココリクトが発生した。 ●被災原因の推定：建設時に覆工コンクリート付近で剥離が確認。剥離した部分が落石となり、覆工コンクリートの段落が発生した。 ●被災原因の推定：建設時の地質観察団では安山岩で構成されていたが、流れ目と差し目が相互に分布する地山の変化層であった。流れ目の層は非常に脆い。	【熊本坑口から TD=115m】 覆工コンクリートの断面でトンネル全周、 TD=115m にわたり剥離が発生。覆工コンクリートの崩落（写真-4.2.1）や陥没されることはインバートトランクリートの段落が発生した。 ●被災原因の推定：建設時の地質観察団では安山岩で構成されていたが、流れ目と差し目が相互に分布する地山の変化層であった。流れ目の層は非常に脆い。



【被害トンネル】 延長、竣工年、仕様、立地条件	【トンネル被災状況と被災原因の推定】	【トンネル復旧状況】	文献
【国道 28 号佐伯山トンネル】 延長：2,057m 竣工：2002 年 仕様：NATM、2 車線道路 開後のトンネルも覆工コンクリートにひび割れが発生。覆工コンクリートは 40cm の隙ぐれによりヨココリクトが発生した。 ●被災原因の推定：建設時に覆工コンクリート付近で剥離が確認。剥離した部分が落石となり、覆工コンクリートの段落が発生した。 ●被災原因の推定：建設時の地質観察団では安山岩で構成されていたが、流れ目と差し目が相互に分布する地山の変化層であった。流れ目の層は非常に脆い。	【TD=115m (付近)】 ・支保工（約 23m）：縫返し（1/2 ～1/3）、ロックボルト埋打 ・覆工（4 スパン）：打ち換え ・地盤（約 350m）：3D-GPR ・インバート（付スパン）：打ち換え（厚：450mm → 500mm） ・再構築した覆工、インバートのコンクリートは单軸筋筋強化	【TD=115m (付近)】 ・支保工（約 23m）：縫返し（1/2 ～1/3）、ロックボルト埋打 ・覆工（4 スパン）：打ち換え ・地盤（約 350m）：3D-GPR ・インバート（付スパン）：打ち換え（厚：450mm → 500mm） ・再構築した覆工、インバートのコンクリートは单軸筋筋強化	地盤 1) 被害 2) 被害 3) 被害
【熊本坑口から TD=40m】 覆工コンクリートの斜め方向にひび割れが発生し、コンクリート片が DIA であったため、剥離鉄筋の効果により大規模な覆工コンクリートの陥没はない。 ●被災原因の推定：建設時に地層境界の存在を確認しており、古期粘性堆積物の地層境界付近で変状発生。	【TD=40m (付近)】 ・支保工（既設）利用 ・覆工（2 スパン）：打ち換え（厚、鉄筋：設計通り） ・インバート（2 スパン）：打ち換え（厚、鉄筋：設計通り）	【TD=40m (付近)】 ・支保工（既設）利用 ・覆工（2 スパン）：打ち換え（厚、鉄筋：設計通り） ・インバート（2 スパン）：打ち換え（厚、鉄筋：設計通り）	地盤 1) 被害 2) 被害 3) 被害



調査例

● 現在のトンネル工法(NATM)と適切な耐震補強で十分対応可能。

● ILC施設において耐震設計が必要な箇所として、

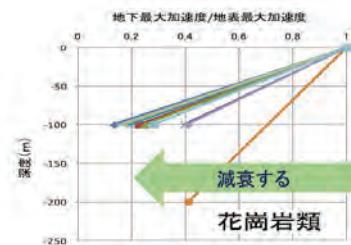
- ・小土被り区間(坑口)、
- ・地質不良部、
- ・立坑部、
- ・断面急変部(立坑と空洞の接続部等)

を挙げる。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

18

地震の振幅は、地上に比べ 地下では1/2~1/4 になる

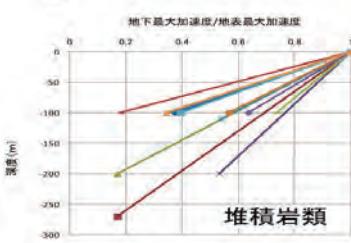


■ 地下では地震に対する尤度が高まる。

(独)防災科学技術研究所の強震観測網(KIK-net)の地震計データでは、東日本大震災での地下100mの測定は、地表に比べて0.13~0.29倍であった。

(福岡・西方沖地震でも同様の減衰が観測されている)

■ 同じ深度では花崗岩類の方が加速度の減衰が大きい



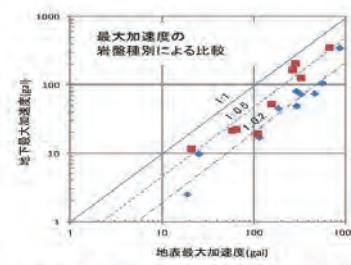
■ 地震に対する影響は地表付近が大きい。

● アクセストンネル坑口付近

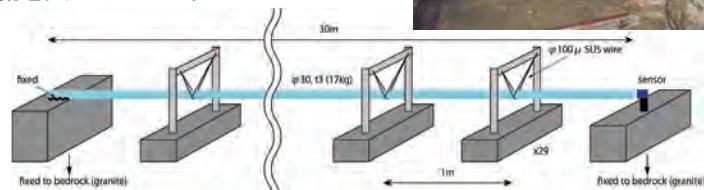
山岳道路トンネルなどの実績から大きな問題は無いと考えるが、**地下と地上を繋ぐ設備配管**には十分な注意をはらう。

江刺地球潮汐観測施設の例

北上山地・阿原山中腹の延長250mのトンネルに設置された国立天文台江刺地球潮汐観測施設の石英管ひずみ計は、東日本大震災でも全く損傷を受けなかった。



東日本大震災で観測された最大加速度と地盤



ILCに関する有識者会議 2021/10/18

19

ILC 加速器トンネルにおける非常時・緊急安全対応 - 地下100mの大型加速器LHCを参考として -

→ 関連: P.8, 17

	ILCでの対応(計画)	LHCでの対応(実績)
地下からの避難	・アクセストンネル(傾斜10度の斜坑)および立坑(中央部)	・立坑(深さ100m、エレベーター)、(加圧待機室で救助待ち)
停電 (全期間)	<30秒:蓄電池(制御・モニター機器) >30秒:非常発電機(照明、移動機器、排水、He回収) (注:He系を+1気圧に保持。迅速な回収が不可欠) <3日間:復電(発電機燃料備蓄)	<30秒:蓄電池(制御・モニター機器) >30秒:非常発電機(照明、移動機器、排水) (注:He全系、20気圧まで加圧可) ~1日:復電(発電機燃料備蓄)注:復電後He系復旧可
火事 (保守時)	1) 蒲鉾型トンネル・非火災側に退避→避難 2) 中央遮蔽壁は防火壁・防煙壁を兼ねる。中央遮蔽壁には避難経路を400~500m毎に設ける。 3) 空調循環速度を人の移動速度以下に制御。 煙より早く避難(距離<2.5km+アクセストンネル) 注:ケーブルなど、全て難燃性	1) 単トンネル・非火災側に退避→避難 2) 空調循環速度を人の移動速度以下に制御。 煙より早く避難(距離: <3.4 km+エレベーター) 注:ケーブルなど、全て難燃性
Heガス漏洩 (保守時)	1) 酸素マスクを装着、トンネル底部に沿って退避 (Heはトンネル上部に拡散・留まる) (液体窒素は地下で使用しない) 2) He漏洩箇所(Cryo-unit)以外は、通常のHe回収	1) 酸素マスクを装着、トンネル底部に沿って退避 (Heはトンネル上部に拡散・留まる:実験検証有り) (液体窒素は地下で使用しない) 1) He漏洩箇所(Cryo-unit)以外は、通常回収
地震 (保守時)	1) 地震発生と同時に、安定な大型機器横で待機。 2) 摆れの減衰時に避難。 注:地震振動は、深度100mでは、地表の~1/4レベルまで緩和	1) この地域で、これまで大規模地震経験無し。 2) 特別な指針無し。 注:深度100mでは、さらに安定。
湧水(・建設時) (・保守時)	・先進坑などの事前察知、排水力増強 ・トンネル床下導水路およびアクセストンネルで地上に排水。トンネルに湧水が漏れた場合は、安全をモニターして排水。	・周辺土壤の凍結法により湧水防止(CMS立坑建設時) ・立坑経由で地上に排水。建設完了後のトンネル内への大きな湧水無し。微量の湧水は、組み上げ→安全モニタ→排水
トンネル 入域対応	1) 講習・試験を経て入域ライセンス発行(ID管理) 2) 入域時装備: ・放射線線量計 ・安全装備(ヘルメット、ライト等) ・携帯酸素(<30分)、酸素濃度計(アラーム付き) ・自転車、電動作業車(オプション) ・個人位置情報・避難誘導システム(J-PARCで使用開始)	1) 講習・試験を経て入域ライセンス発行(ID管理) 2) 入域時装備: ・放射線線量計 ・安全装備(ヘルメット、ライト等) ・携帯酸素(<30分)、酸素濃度計(アラーム付き) ・自転車、電動作業車(オプション)

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

20

ア. 様々な場合を想定した地下水浸水対策、耐震設計を含めた地震や火災など不測の事態への対策についての経費算定も含めた計画【有・学】

→ 関連: P.6

- ・様々な場合を想定した、機械的手段に頼らない地下水排水等の検討・対策

2018年までの達成状況

- ・東北地域の検討では、長期に亘る電源喪失の際でも排水を可能にするため、自然流下によって排水するための排水トンネルを計画した。

2018年以降の進展

- ・排水トンネルを含む地下水浸水対策の実装計画およびコストについては、東北ILC事業推進センターが公表した『東北ILC施設計画(2020)』[29](10.2節)の中で示されており、その「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によって技術的成立性・コスト・工期の面から適切な計画であると評価された。
- ・(一社)先端加速器科学技術推進協議会の下にプロジェクト推進部会 安全・防災WGを設置し、動力を用いない排水方式が機能することを水理計算によって確認した。

ILC-Prelabで行うこと（エンジニアリングデザイン）

- ・建設地において詳細な地質調査・水文調査を実施し、データに基づいた合理的な設計を行う。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

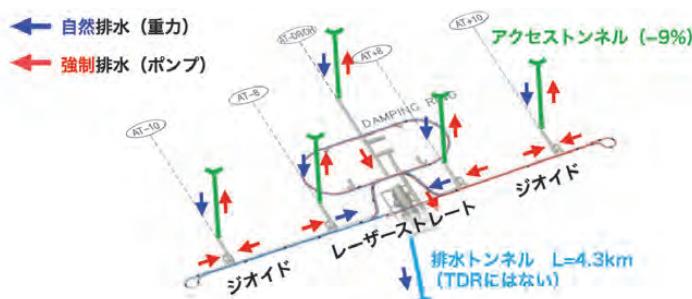
21

地下湧水の自然排水の検討(2019～2020)

→ 関連: P.6

「トンネル床下導水路と排水トンネルによる自然排水方式」を検討、水理計算により十分に機能することを確認した。

(AAAプロジェクト推進部会 安全・防災 WG)



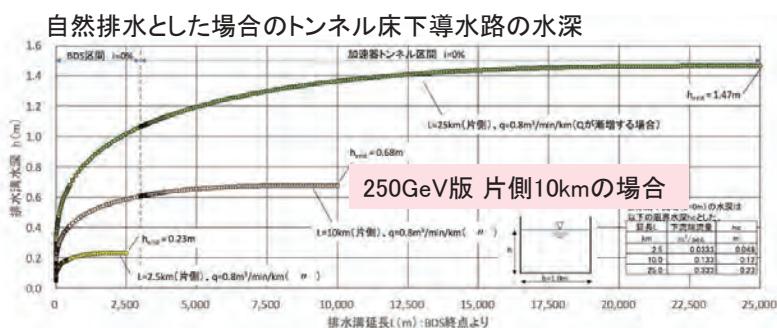
平常時:

水平トンネルの湧水は、アクセストンネルからポンプで地上に送り、冷却塔に利用、排水する。
中央直線トンネル部では、排水トンネルを経由する排水も可能である。

長期の停電:

全ての湧水はILC中央部に自然流下が可能であり、排水トンネルにより排水が可能となる。

- ・水文地質学的手法から恒常湧水量を想定
- ・片側10kmの場合、最大水深は約70cmである。
- ・想定規模のトンネル床下導水路と排水トンネルで自然排水が可能である。



トンネル延長の可能性に対しては、(1)あらかじめ排水路を大きくする、(2)延長分の排水は別系統にするなどを検討。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

22

イ. 大量の掘削残土の処理方法や処分場所の確保【有】

→ 関連: P.7

- ・残土に重金属等が含まれる場合の処理方法等の検討と関連機関との事前協議 等

2018年までの検討状況

- ・ 残土に重金属等が含まれる場合の処理方法については、平成22年3月に国土交通省から公開された『建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壤への対応マニュアル（暫定版）』に示されている。
- ・ 平成27年に土木研究所と土木研究センターから『建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック』が刊行され、岩石掘削ずりなどの適正処分について詳しく述べられている。

2018年以降の進展

- ・ 東北地域において掘削残土の仮置き場に関する調査を実施し、複数の有望な候補地を挙げることができた。
- ・ 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（2020）』[29](7.2節)に示した。
- ・ 2021年度は、これらの調査を継続しており、掘削残土の具体的な仮置き場候補と運搬経路を調査し、概算費用を算定する予定である。
- ・ ポーリング調査で得た岩石の分析を実施し、重金属等は検出されなかった。

掘削残土処理に関する方針

- ・ 分析の結果からは重金属が含まれる掘削残土が大量に出る可能性は低いが、対応が必要となった場合には、『建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壤への対応マニュアル（暫定版）』『建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック』に示された処理方法を準用する。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

23

ウ. 大量湧水があった場合の工事費用や工期への影響の検討と対策【有】

→ 関連: P.7

- ・ 変状現象に遭遇した場合の工事費用や工期への影響のリスク
- ・ 湧水に重金属等が含まれる場合の処理設備やそのコストへの留意
- ・ 局所的な水量増に対応するための処理設備とそのコスト発生のリスク 等

- ・ 局所的な水量増が見られた際には、濁水処理機を増設する。濁水処理機増設は標準品であり、必要が生じた時点ですぐに設置が可能である。従って、工期への影響は少ない。
- ・ 標準的な $60 \text{ m}^3/\text{時}$ の処理能力を持つ汚濁水処理設備の概算費用は、設置・撤去費：約 ¥7,000,000/1ヶ所、使用料：約 ¥200,000/日 である。（2014年）
- ・ 一般的に自然由来重金属等を含有する排水の場合、重金属等はSS（懸濁物質）に付着していることが多く、工事の濁水処理で通常行われる凝集沈殿処理だけで排水基準を満足する場合が多い。（『建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック』（土木研究所・土木研究センター、平成27年））従って、湧水に重金属が含まれる場合であっても、一般的な濁水処理設備で対応可能である。

2018年以降の進展

- ・ 含有量試験・湧出試験・酸性化可能性試験のいずれの結果も、リスク対策は不要であることを示している。
- ・ ILC建設想定地域と同一の花崗岩体内で掘削されたトンネルの事例を調査し、掘削中の湧水が少なかつたこと、また重金属は見られなかったことが分かった。

ILC-Prelabで行うこと（エンジニアリングデザインへ）

- ・ 建設地が確定した後、詳細な調査・試験を実施し、得られたデータを元にリスクの評価と対応策案を作成する。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

24

エ. 抗口周辺や掘削残土の捨て場等の環境調査や土砂災害対策【有】

→ 関連: P.7

2018年までの達成状況

- 東北地域においては、地元大学・自治体が中心となって掘削残土の仮置き場を検討し、有望な候補地が見つかっている。
- 碎石場跡地は、環境・土砂災害対策がすでにされているという点で有利と考えている。

2018年以降の進展

- 2021年度は、掘削残土の具体的な仮置き場候補と運搬経路を調査し、概算費用を算定する予定である。

ILC-Prelabで行うこと（エンジニアリングデザインへ）

- 掘削残土の扱いについては建設地に強く依存することから、ILC準備研究所で掘削残土の処理方法と処分場所を確定する。
- 確定した後に、残土処理に係る環境調査を実施し、適切な災害対策を行う。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

25

掘削残土に重金属が含まれている場合の処理

→ 関連:
P.7

候補地のボーリング調査・サンプル分析から、重金属が含まれる掘削残土が大量に出る可能性は低いが、国土交通省等[#]で示されている処理方法を準用するなど、必要な対応を想定する。



候補地選定における検討項目

- 鉱山・鉱床・変質帯など重金属等が含まれる可能性の高い地域を避けて候補地の評価が行われた。
- 地層境界通過を避け、花崗岩体が広がる地域を選定している。
- 評価された候補地域において、旧鉱山はILCの想定ラインから離れた地層境界に集中しており、重金属処理が大きな問題となる可能性は低いと考えられている。

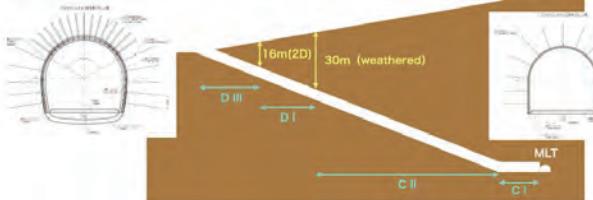
『建設工事で発生する事前由来重金属等含有土対応ハンドブック』(左図)による検討

- 候補地のボーリング試料による含有量試験・湧出試験・酸性化可能性試験の結果は、いずれも対策の必要がないことを示している。
- この「一般的な判断の流れ」に従えば、重金属処理の対応が必要となる可能性は低い。

候補地モデルに基づいた施設計画・概算工事費

地質調査に基づいて検討した施設設計

- 実施した地質調査から岩区分を想定、掘削断面積に応じて標準断面図・補強設計(支保パターン)を設定



岩区分の想定(もろい岩盤～堅い岩盤)

- アクセストンネル(左図): 地表付近から段階的に堅い岩盤区分に推移すると想定。(地山等級 DIII から CI)
- 加速器トンネル: 深さにかかわらず地山等級 CI で共通とした
- 検出器ホールは: 深度100m以上ある。地山等級 B～CH と想定

概算工事費

岩区分及び掘削断面積に応じた標準断面図、補強設計(支保パターン)を設定

- 地下の加速器トンネル・空洞の長さ・形状は現地地形にはよらない。** 加速器設計・安全対策で決まる。
- アクセストンネルの長さは、現地地形の影響を受ける。**
 - トンネルの最大斜度は10度、坑口標高に従いトンネル長が変わる。モデル地域では(TDRの仮定と同じ)平均1km。
- これらの設計に「国土交通省土木工事積算基準」等を適用し概算工事費を算出**

概算工事費の積算

施工計画: 平成26年度版国土交通省土木工事積算基準に準拠

- 一部のトンネルでは、同基準と同等の日本道路協会道路トンネル技術基準に準拠
- 立坑: 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社設計要領及び日本道路協会道路トンネル技術基準に準拠

機械損料等: 建設機械等損料表(平成26年度版)に準拠

材料単価: 建設物価及び積算資料(平成26年度8月)に準拠

労務単価: 平成26年度公共工事設計労務単価に準拠

部位	全長 20.5km	
	諸元	工事価格
アクセストンネル	AT:5 本, 延長 5,662m AH:5 か所, 248.354m ³ AS ヤード造成:18,193m ² ×5 ケ所	247
加速器トンネル	かまぼこ型, 延長 20.5km 隔壁:現地製作, 延長 15.3km DR:端部ループ, BDS(ピーム・サービス), 他	644
測定器ホール	大空洞, 立坑, 周辺トンネル AT-DH/AT-DR 坑口共用 ヤード造成:78,500m ²	134
排水設備	トンネル, 脳留槽, 暗渠, 総延長 4,335m 坑内横断排水, 坑外設備	73 30
合計		1,127

候補地モデルによる土木工事費の概算

- 今まで提示している土木コストとほぼ同じ
- *排水トンネル(案)を含む。中央キャンパス建築を除く。

「東北ILC施設計画」より
(億円)
2014積算単価に基づく

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

27

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あり方【学】

→ 関連: P.8

現時点で建設費に未計上の経費

建設地及び施設配置に依存する経費については、東北ILC事業推進センターと周辺自治体によって概算経費が試算された。

- 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検討、これらの経費負担のあり方はまだ決まっていない。

- | | |
|-------------|-----------------|
| ○ 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 |

(イ) 追加経費発生リスク(技術、工期延長、市場等)への十分な留意【有】

- 土木における技術リスク

土木学会による「東北ILC施設計画」の評価で、詳細な地質調査と設計検討が必要とされた場所

- | | |
|---------|-------------------|
| ○ 坑口付近 | ○ トンネルと実験ホールの接続部分 |
| ○ 河川横断部 | |

準備期間において詳細な調査を実施し、結果に基づき合理的な設計を行う。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

28

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】

- ・加速器や制御システムの信頼性の向上や信頼性の高いビーム損失モニタの装備
- ・ビームダンプ等の放射化された実験装置や空洞等の実験終了後の維持管理方法の検討
- ・放射性廃棄物の処理を含めた科学的な説明と地域住民の理解
- ・発生源と核種及び量を明らかにした放射化物の影響と対策の検討
- ・実験遂行に支障を来たさないための実験室内の放射能汚染への万全の対策
- ・放射性物質が環境の地下水系に混入する可能性と対策についての入念な調査と十分な配慮等

2018年以降の取り組み

→ 関連: P.10

- 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。
 - ・世界の高出力ビーム標的・ビームダンプ専門家の協力を得て、ILCビームダンプ基本設計の検証を進めた。ビーム窓およびダンプ本体の構造解析による安全性の評価、ビーム相互作用シミュレーションによる放射化の評価を行い、設計の妥当性を確認した。
 - ・一般社団法人先端加速器科学技術推進協議会の協力の下、ビームダンプ、陽電子標的部について、排水・放射線の課題を踏まえた土木・地下施設設計を進めた。
- 地域住民との対話による理解を目的に説明会を計11回実施した。
 - ・地域住民の幅広い参加を得るために地域の交流センターなど11会場で実施、延べ673名の参加を得た。

今後の取り組み

- ・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主要部品の試作・試験を行い、耐震設計を含むシステムの詳細設計を完了させる。
- ・これら装置の詳細設計を踏まえたビームダンプ地下空洞の土木設計を完成させる。
- ・地域住民との対話を通じた説明会を引き続き実施し、安全対策等、地域住民の理解を得る努力を継続する。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

29

ビームダンプの進展

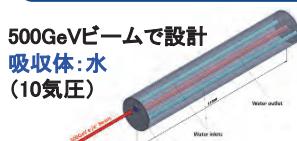
→ 関連: P.10

~2017

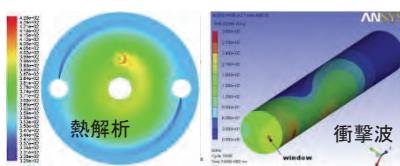
2018~2021

2022~

技術設計
(欧米研究者が担当/取りまとめ)



シミュレーションによる安全性の確認
●ビーム窓の熱・応力、ダンプ水の熱・衝撃波
●放射化・遮蔽体の評価



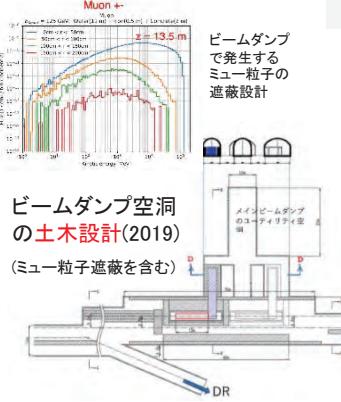
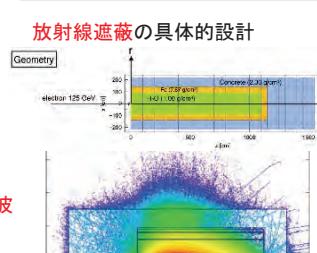
ILCの枠を越えた世界のビーム標的/ダンプ専門家との協議



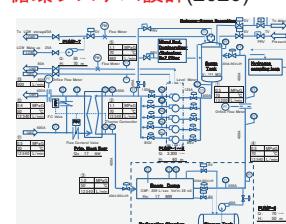
LHCビームダンプ

RADIATEコラボレーション

設計再検証・設備設計の具体化
(KEKが中心となって実施)

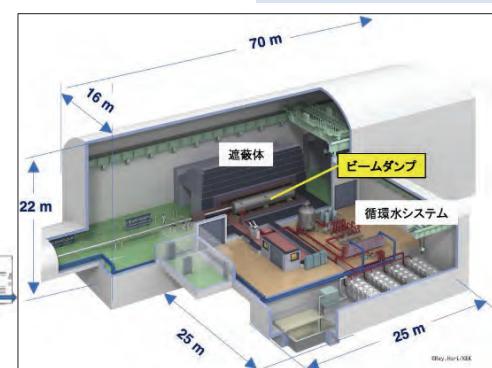


ビームダンプ水循環システム設計(2020)



- 循環水システム主要部品の試験
- ビーム窓交換装置
- 放射化するダンプ水の漏水対策
- 耐震設計

システム詳細設計
(安全設計の追求)



ILCに関する有識者会議 2021/10/18

30

地域住民への安全に関する説明会

→ 関連: P.10

- 2018年以降、東北ILC準備室とKEKが協力し、対話形式の説明会を実施。
- 地域住民の幅広い参加を得るために地域の交流センターなど11会場で開催、延べ673名の参加を得た。今後も実施し、ILCの安全に対する住民の理解促進に努める。

- 加速器における放射化の仕組み、発生する放射性物質の性質、その放射線防護等について、スライド・配付資料を基に説明している。

<https://tipdc.org/document> 「参考資料」欄



- 地域住民から頂いた質問(計524件)に回答し、その全てをホームページに公開している。
 - 説明会場で受けた質問
 - 説明会以外にメール/FAX/郵送等で受け付けた質問は、質問者に回答を送ると共にその内容を公開。

<https://tipdc.org/inquiries#qa>

【当日(口頭)】質問への回答一覧(令和2年1月 19日「ILC 解説セミナー」(一関市及び奥州市))		
質問番号	質問分野	質問内容
一問-1	放射線 管理	ILC で 100 管ベクレルのトリチウムが生じるのと が、安全な量なのか。また、生物に影響があるのか。 放射線というより原発事故で問題となったセシウム137よりも多いと思 いますが、トリチウムは放射性シンクでは、放出する放射能の種類が 異なり、放射線の種類に応じた管理方法がそれぞれ求められています。具 体的には、トリチウムの場合は、エネルギーの低いベータ線(電子)を放出 しますが、ベータ線は透過力が弱く、衣服などで放射能が止まるため、外部 被ばくの影響はありません。一方、放射性セシウムが放出するガンマ線は 透過力が強く、衣服を通して人体にまで到達し、外層被ばくが生じるおそれ があります。 また、内部被ばくは、トリチウムが体内に取り込んだ場合に、そのトリチウ ムから発生する放射線のエネルギーが人体が吸収するということです。トリ チウムは水素の放射性同位体であることから、水の割合で取り込まれるこ とが多く、環境中から取り込まれたりチウムは、いずれは排水へ排出され ることになります。ILC のビームダンプの中で生成されるトリチウムは、外部 に出ないで、体内に取り込まれることを中心とする必要はありません。
一問-2	自然環境	ILCトンネルの工事で大量に発生する土砂に雨水が積 みこむと、トンネル内の地下水やアリの取扱いについては、一般の道 筋としてしたまはれ水は、最終的に河川に流入するか、道路、鉄道トンネルと大きめは変わりません。県内の最近のトンネル工事として 下に浸透することとなるため、約 10 年の工事期間中には、国道 107 号の梁川トンネル(約 1 キロメートル)や国道 106 号の新区界ト ンネル(約 2 キロメートル)があり、新区界トンネルには避難坑が設けられて この地盤の水道水道は、砂鉄川の水が流れています。梁川トンネルは、いずれは排水へ排出され ることになります。ILC のビームダンプの中で生成されるトリチウムは、外部 に出ないので、体内に取り込まれることを中心とする必要はありません。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

31

→ 関連: P.10

ビームダンプ水中にできる放射性物質

- ビームダンプ中にできる放射性物質は、酸素が壊れてきます。作られる放射性物質は、酸素よりも小さなものだけです
- ビームダンプ中にできる放射性物質は、右表の通りです
- 炭素11、窒素13、酸素15は半減期が短く、運転終了後に減衰します
- ベリリウム7はイオン交換樹脂に吸着して除去します
- トリチウムはビームダンプ水中に残るため、厳重に管理します

核種	半減期
炭素11	20.34分
窒素13	9.96分
酸素15	123秒
ベリリウム7	53日
トリチウム	12.3年

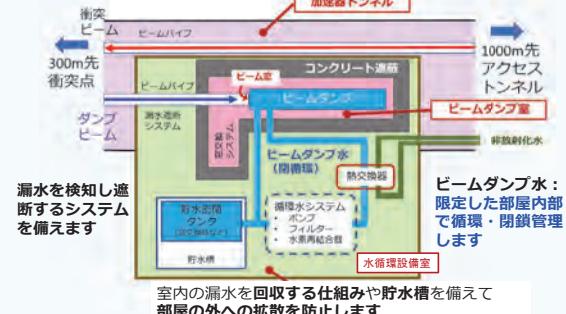
トリチウムの特徴

- β放出: 最大 18.6 keVの電子を放出
- 最大飛程: 空気中 5 mm
水中 0.006 mm
- 外部被曝は無視できる
- 内部被曝に留意する
- 水(HTO)またはガス(HT)として存在

2020.02.02 ILC解説セミナー

参考資料 - 12

ビームダンプの水の管理と拡散防止対策



2020.02.02 ILC解説セミナー

参考資料 - 13

冷却水システムの概要

- 加速器装置の冷却に用います。
- 地下のアクセスホールで地上との熱の受け渡しをします。
- 装置までは熱交換器を介した2段または3段階の冷却水系で接続します。
- 全て密閉した循環水系(純水)です。
- 放射化はビームがぶつかる限られた場所でおこります。ビームダンプ水は厳重に管理します。



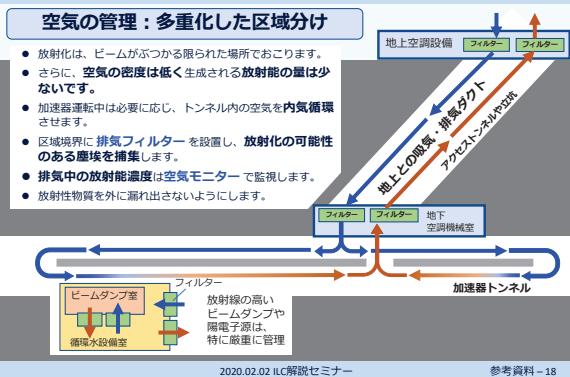
2020.02.02 ILC解説セミナー

参考資料 - 15

換気システムの概要

空気の管理: 多重化した区域分け

- 放射化は、ビームがぶつかる限られた場所であります。
- さきに、空気の密度は低く生成される放射能の量は少ないです。
- 加速器運転中は必要に応じ、トンネル内の空気を内気循環させます。
- 区域境界に排気フィルターを設置し、放射化の可能性のある塵埃を捕集します。
- 排気中の放射能濃度は空気モニターで監視します。
- 放射性物質を外に漏れ出さないようにします。



2020.02.02 ILC解説セミナー

参考資料 - 18

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

32

ILCにおける主な放射化物と実験終了後の対応

→ 関連:
P.10

- ILC加速器において放射化する場所は限定的である。
 - ・ ビームが物質に当たることで放射化が起こる。ビームパワーに依存する。
 - ・ ビームダンプ(2.6MW)、陽電子標的(12kW)など
- 局所的に遮蔽体で覆い、トンネル・空洞等の放射化を抑える。
- 実験終了後は遮蔽体などの放射化物は地下から搬出し、再利用のために法令に則り保管・処分を行う。

ILCと今までの高エネルギー加速器との比較

- 電子(陽電子)加速器は、同じパワーの陽子加速器と比べて放射化が桁で低い。
 - ILCはビームパワーが大きい → 水を吸収体としたビームダンプ
- ビームダンプ水(密閉循環水)
- トリチウムが蓄積するため、ビームダンプ区域構造の多重化、ビームライン側に遮断バルブなどの漏水対策を行い、周辺環境への拡散を防止する。
 - ビームダンプ2ヶ所で、およそ100トンの水(石油貨車2台分)であり、十分に管理可能な量である。実験終了後は別途容器に移して保管する。
- ビームダンプ容器や遮蔽体
- 放射化するが固体放射化物であり、金属やコンクリート中の放射性物質が拡散する恐れはない。
 - 最も放射化するビームダンプ容器でも、数年で地下からの搬出が可能となると評価。実験終了後に撤去できる構造とする。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

33

力.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】

→ 関連: P.11

- ・ 建設工事の前後や途中段階における植生や生態系、小川・沢等の水量の調査
- ・ 2050年時点における国際的な環境問題の観点からも誇れる施設としての計画と基本的な方向性の明確化
- ・ 大規模トンネル工事の環境アセスメントに対する地域住民の納得
- ・ 環境アセスメントにおける、生態系への影響、放射化物の生成と処理・保管方法、地下水の放射化の可能性とその対策、掘削土砂の保管・再利用法、掘削土砂に基準値以上の重金属等が含まれる場合の処理等の考慮等

2018年までの状況

- 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。
 - ①自然環境に係る既存文献の収集整理、
 - ②現地踏査の実施と植生図の作成、
 - ③ILCトンネル建設にあたり配慮すべき事項の整理と自然環境情報マップの作成、
 - ④現地踏査を含む猛禽類調査
 - **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。
- さらに、2014年から先端加速器科学技術推進協議会(AAA)の技術部会において、**環境に配慮した「グリーンILC」**ワーキンググループの活動を開始していた。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

34

2018年以降の取り組み

■ 環境影響評価方針の検討

- 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」を設立 (KEK, 2019年9月)

座長：柳憲一郎（明大名誉教授） 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

→ アドバイザリーボード「議論のまとめ」2020年12月

アセスメントの基本指針、実施体制、プロセス、手法や評価対象を整理

“かかる事業特性を鑑みると、ILC 計画の環境アセスメントは、実施段階のアセスメントに先立って、より早期の段階(政策、計画やプログラム段階)における環境配慮を行う仕組みで、**自然環境のみならず、社会的・経済的影響についてもカバーする戦略的環境アセスメント**(Strategic Environmental Assessment)の手法を導入することが円滑かつ着実な計画推進にとって望ましい。”

■ 環境に配慮した「グリーンILC」の検討を継続

- バイオマス、Power-GRID、廃熱利用
- 地元木材資源のILC関連施設への活用
- トンネル掘削時に出る良質の花崗岩の利用

今後の取り組み

- 環境アセスメントの具体的技術指針（評価内容・評価基準を含む）を策定する。
- 準備期間中に**戦略的環境アセスメント、実施段階アセスメント**を段階的に実施する。

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

35

ILC環境アセスメント評価アドバイザリーボード「議論のまとめ」より抜粋

アセスメントの基本指針、実施体制、プロセス、手法や評価対象を整理

付表1: ILC 計画の事業特性を踏まえた環境アセスメント整理表

● 戰略的環境アセスメント (SEA)

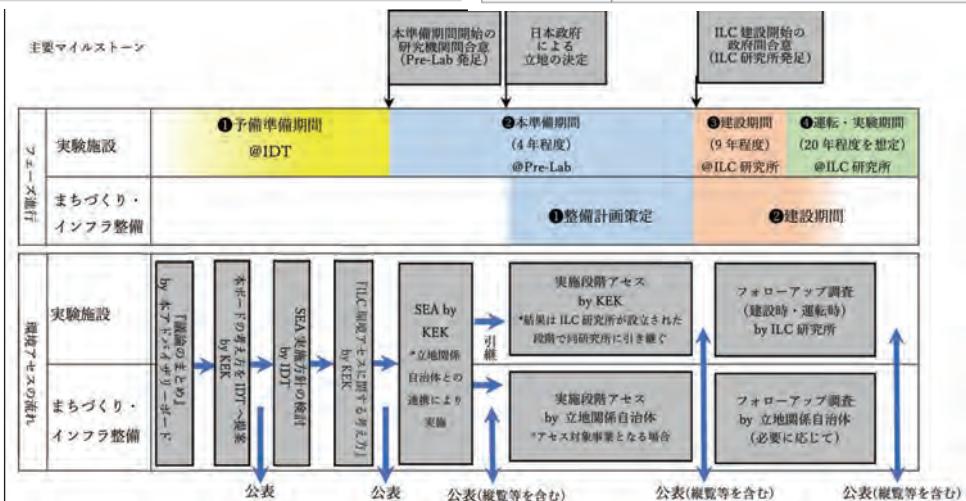
実施時期	Pre-Lab 発足後に開始。
実施主体	Pre-Lab のホスト機関となることが想定される KEK が望ましい。
実施範囲	プロジェクト全体(*)を対象とする。 * 実験施設、ILC 研究所、共同研究所周辺のまちづくり・インフラ整備
評価項目	自然環境のみならず、社会的・経済的影響もカバーする。
結果の活用	SEA の結果は実施段階アセスメントに引き継ぐ。
立地関係自治体との連携	SEA の実施範囲を鑑み、立地関係自治体との連携により実施する。
実施手順	環境省『戦略的環境アセスメント導入ガイドライン』を参照。
情報交流	環境アセスメント学会『適切な環境配慮を組み込むために「環境アセスメントにおける情報交流の基本」』を参照。

● 実施段階アセスメント及びフォローアップ調査

実験施設

実施時期	政府による ILC の立地決定後に開始。
実施主体	Pre-Lab ホスト機関となることが想定される KEK が主体となって開始する。ILC 研究所が発足した後、KEK によるアセスメント結果を同研究室に引き継ぐ。
実施要項	ILC は法アセスの対象とならないことが予想されるため、公的な第三者が定める実施要項により実施。この場合の実施要項策定主体は KEK、ILC の所管省庁となることが予想される文部科学省が望ましい。
結果の引き継ぎ	ILC 建設開始の政府間合意で、KEK による SEA の結果を踏まえて実施段階アセスに引き継いだものであることを確認しておく。
フォローアップ調査	実施段階アセス実施後のフォローアップとして、建設・運転期間の双方においてフォローアップ調査を実施する。

図2: ILC 計画に
係る環境アセスメ
ントの流れ(想定)



ILCに関する有識者会議 2021/10/18

36

ILC環境アセスメント評価アドバイザリーボード「議論のまとめ」より抜粋

付表2 ILC計画におけるSEAの評価項目とその考え方

環境項目			→ 関連: P.11									
	環境項目	環境影響										
ILC研究所及び周辺施設の建設、運用による環境へのネガティブな影響を最小化し、環境を向上するための項目、地域及び地球環境の持続性を維持し高めることを目的とした項目。 (備考) 環境の持続可能な利用の観点から資源利用の項目を追加。放射性物質の項目も追加。												
主要環境	大気、水、土壤等環境の自然的形成要素の汚染が人の健康（住民、研究者とその家族等）、生活環境及び自然環境に悪影響を及ぼさない水準であることを確実にすることを目的とした項目。 (備考) 震度、騒音、振動は、地域特性等から生活環境に対する影響のみと考え。生活環境で取り扱う。	大気 水質・水象 土壤・地盤	自然との触れ合い活動の場（公園、緑地、水辺）へのハード面での影響（変更、阻害や新たな創出）の程度と、自然の触れ合い活動内容に見えるソフト面での影響を予測する。 史跡・文化財 歴史文化財の保護・保存及び活用への影響程度を予測する。									
生態系	生物多様性、健全な生態系の維持、再生を目的とした項目。 生物の生育、地形等からなる生態系を支える無機環境基盤への影響を予測する。	生物多様性、健全な生態系の維持、再生を目的とした項目。 生物の生育、地形等からなる生態系を支える無機環境基盤への影響を予測する。	温室内効果ガス 温室内効果ガス エネルギー	水利用 廃棄物 エコマテリアル (脱硫油)	水の効率的利用への取組、貢献の程度を、雨水・再生水利用に着目して予測する。 廃棄物の削減及び適正処理の推進（燃却及び埋立の削減）、掘削土の適正処理への取組、貢献の程度を予測する。 資源の循環利用を促進するため、再生資源等エコマテリアルの活用の程度、これによる資源保全効果を予測する。	自然との触れ合い活動の場（公園、緑地、水辺）へのハード面での影響（変更、阻害や新たな創出）の程度と、自然の触れ合い活動内容に見えるソフト面での影響を予測する。						
生活環境	騒音 渋滞 振動 悪臭 通信遮害 (電波障害) 日影 放射線量 快適で風格ある都市環境を形成することを目的とした項目。	工事車両含む自動車等の増加、工事、実験施設の稼働による騒音の影響について予測する。 工事車両含む自動車の増加による交通渋滞の影響について予測する。 事業特性に基づき、建設期の工事車両等の増加並びに運用期の実験施設稼働による振動影響を予測する。 事業特性に基づき、建設期の工事車両等の増加並びに運用期の実験施設稼働による悪臭影響を予測する。 工事・実験施設稼働による通信遮害の程度を予測する。 建設物等による周辺地域への日照の阻害の程度を予測する。 ILC加速器の運転に伴い発生する放射線の発生量及び当該放射線からの防護方法を予測する。 現在の景観への阻害の程度と、美しく風格ある景観形成への貢献の程度（主に目に見える緑の量と電柱・広告物等の規制の景観阻害要因に着目）を予測する。	地域住民の生活環境への阻害を極力生じさせないことを目的とした項目。	地域住民の生活および経済活動の基盤となる、社会経済面でのサステナビリティ向上を目的とする項目。	土地利用 地域分断 移転 文化活動	自然地の有効利用 施設整備 する。 施設改修 文化活動の活性化を目的とす	消防・防災 交通 公共交通へのア クセシビリティ 交通安全 農林水産業 商工業 観光業 ILC研究所による適切な経済効果を確実にす る。	ILC研究所サイト等について、ラ イセンスの程度について予測する。 ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 全ての人にとって安全な移動 を。	ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究所のスタッフやその家族 立地周辺地域への観光訪問の可 能性を予測する。	ILC研究所のスタッフやその家族 立地周辺地域への観光訪問の可 能性を予測する。	ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究所による経済波及効果を 確実にする。	ILC研究所による雇用創出の程 度を予測する。
アーティスト・文化	景観			安全・衛生・安心	消防・防災 交通 公共交通へのア クセシビリティ 交通安全 農林水産業 商工業 観光業 ILC研究所による適切な経済効果を確実にす る。	ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究所のスタッフやその家族 立地周辺地域への観光訪問の可 能性を予測する。	ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究所のスタッフやその家族 立地周辺地域への観光訪問の可 能性を予測する。	ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究所のスタッフやその家族 立地周辺地域への観光訪問の可 能性を予測する。	ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究所のスタッフやその家族 立地周辺地域への観光訪問の可 能性を予測する。	ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究員の通勤アクセス セシビリティについて予測する。 ILC研究所のスタッフやその家族 立地周辺地域への観光訪問の可 能性を予測する。		

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

37

環境に配慮した「グリーンILC」の検討

→ 関連: P.11

加速器の効率化

ILC加速器の各コンポーネントを徹底的にエネルギー高効率化するための議論。
RF電源、冷凍機、超伝導空洞、等々の省エネ化。さらにそれらのコンポーネントをILC加速器の全体システムとして構築するための議論。



ILC-City構想(バイオマス、Power-GRID、廃熱利用など)

地域の活動、AAA技術部会 グリーンILC WG



ILC-Cityでの廃熱利用ネットワーク構想

トンネル掘削時に出る良質の花崗岩の再利用

- コンクリートの骨材(ILC土木施設のコンクリートに使用。残りはILC-City建材)
- キャンパス等の用地の造成
- 建材
- 農地改良
- 低地の嵩上げなど

<https://tipdc.org/assets/uploads/2020/12/guideline04.pdf>

ILCに関する有識者会議 2021/10/18

38

学術的意義や 国民及び科学コミュニティの理解

欧洲戦略 2013, 2020 ともに委員

FCCの意思決定機関
ステアリングコミッティー
アジア代表(9月まで)



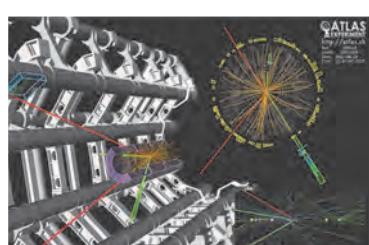
CERN LHC
ATLAS実験
日本共同代表
(9月まで)



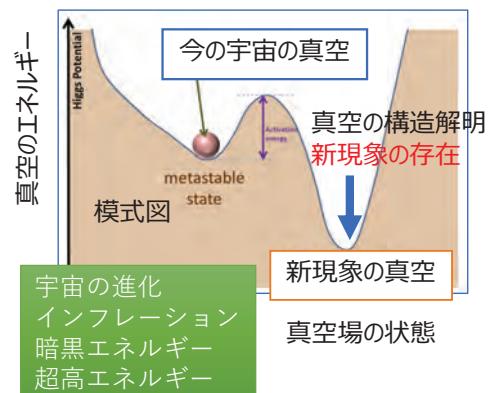
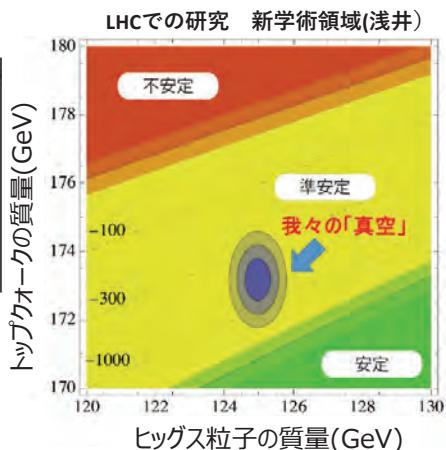
欧洲の素粒子研究・欧洲の戦略策定に関与

浅井祥仁 (東京大学)
ILC Japan 代表 1

学術的意義（見えてきたパラダイムシフト）



2012年ヒッグス粒子発見



パラダイムシフト
ヒッグス粒子を使って
この世界の「**真空**」を研究
(ヒッグス粒子が大事なの
ではなく、この**真空**が大事)



欧洲戦略2020 :

- 「電子・陽電子ヒッグスファクトリーが最も優先度の高い次世代の加速器である。」

2019 : 米国政府がILCをサポート

2017 : ILC250

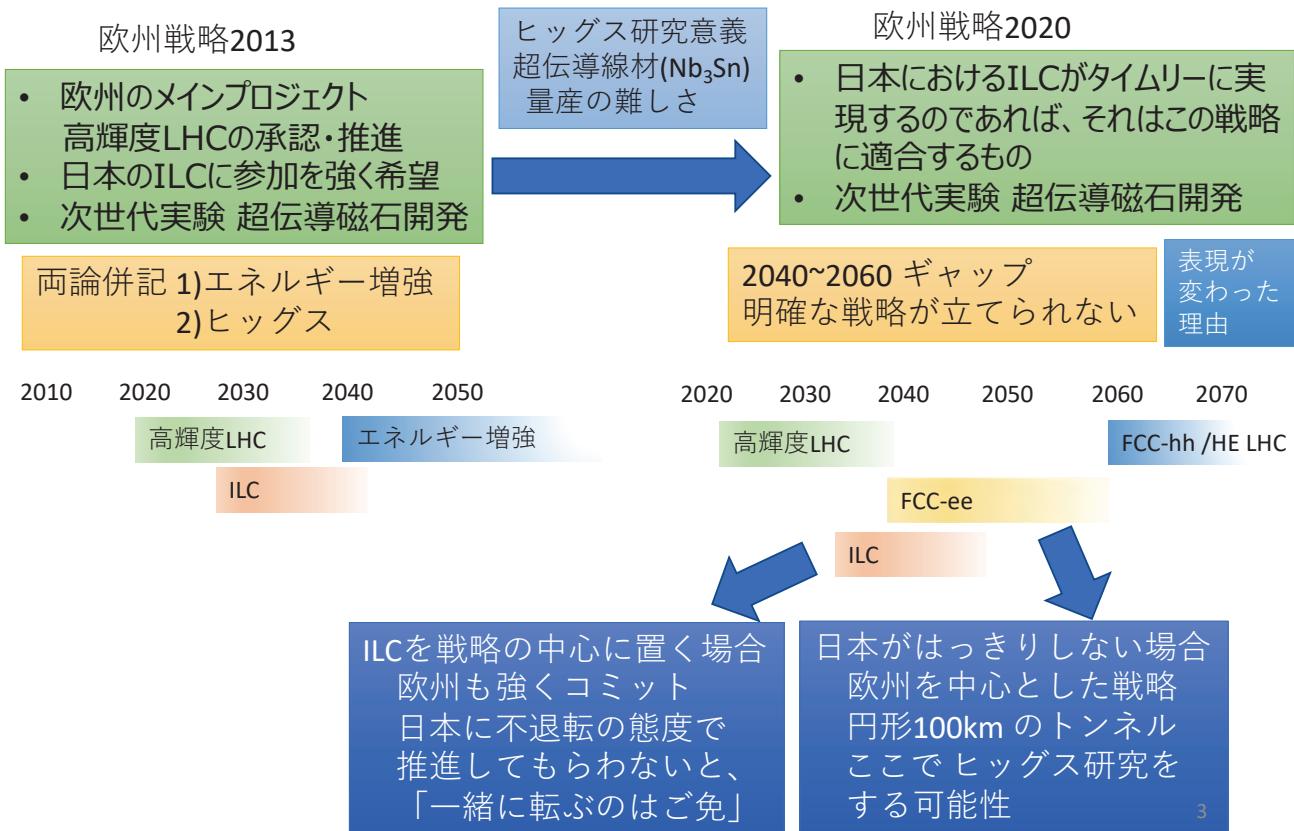
日本の戦略の正しさの証明



学術的意義の変化があり、両論併記から第一プライオリティー

2

欧洲戦略の変化と欧洲の対応



FCC(将来円形加速器) 可能性評価

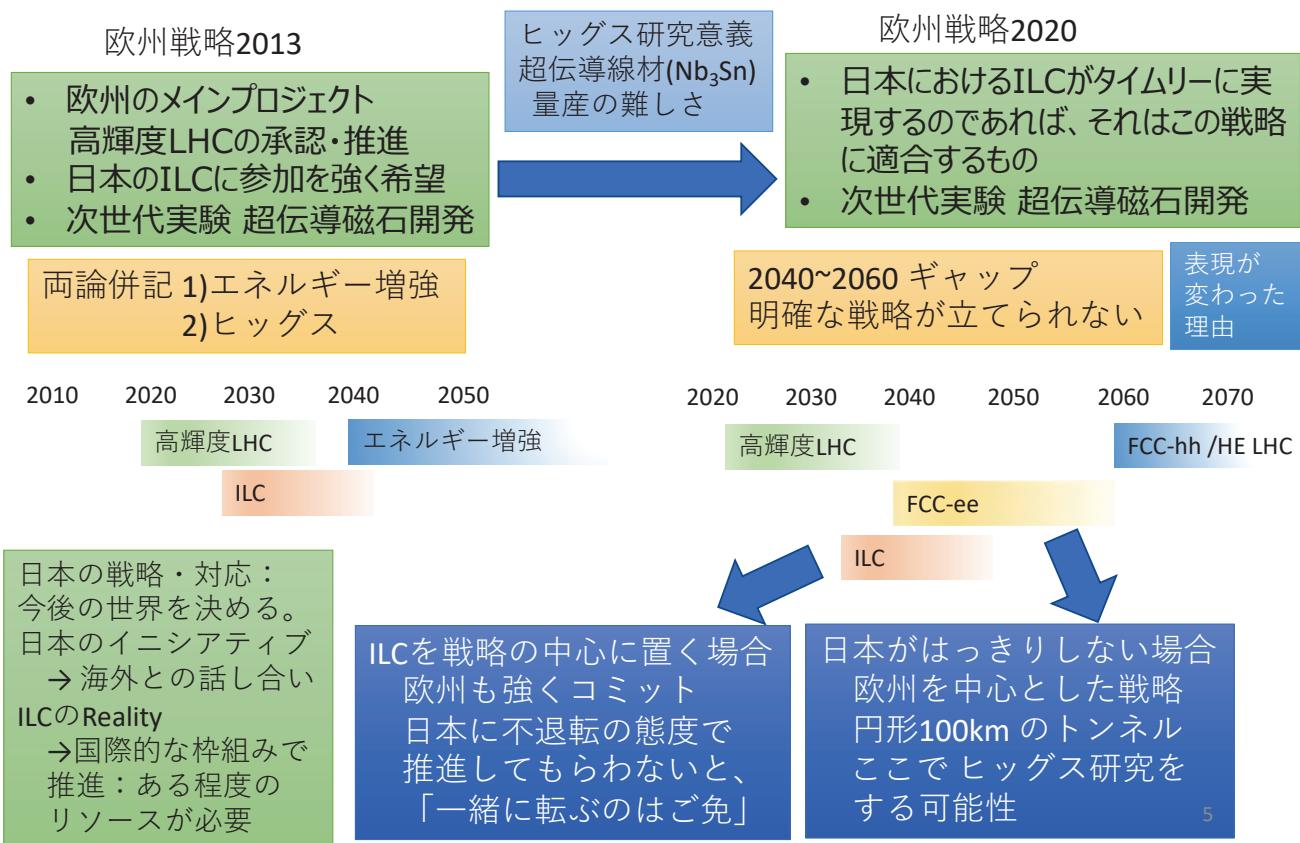
歐州戦略 2020 ヒッグスを研究する能力は、FCC-eeとILCは同じ 2021 9月 FCC・CB資料

2025年（次回の歐州戦略 2027）までに 7点フィーズビリティー研究

- optimisation of placement and layout of the ring and related infrastructure, and demonstration of the geological, technical, environmental and administrative feasibility of the tunnel and surface areas; （土木・インフラの設計）
- pursuit, together with the Host States, of the preparatory administrative processes required for a potential project approval, with a focus on identifying and surmounting possible showstoppers; （土木の問題点 環境）
- optimisation of the design of the colliders and their injector chains, supported by targeted R&D to develop the needed key technologies; （加速器技術）
- development and documentation of the technical infrastructure concepts;
- elaboration of a sustainable operational model for the colliders and experiments in terms of human and financial resource needs, environmental aspects and energy efficiency; （人・環境 300MWの電力 ⇄ 100MW(現在CERN、ILC)）
- identification of substantial resources from outside CERN's budget for the implementation of the first stage of a possible future project; （コスト 1.2兆円(50% トンネル 50% 加速器)） ⇄ ILC 5800億円(20% トンネル 80% 加速器)）
- consolidation of the physics case and detector concepts for both colliders.

4

欧洲戦略の変化と欧洲の対応



科学コミュニティの理解（1）

- 国際素粒子物理学分野：ICFAは、ILCを**次期
国際計画**と位置づけ、IDTを作り推進

ICFA会議(2019 東大)



- 国内素粒子物理学分野：
高エネルギー研究者会議(JAHEP)
将来計画(2017)を作成
ILCは最優先新規プロジェクトと位置づけ

実現にむけて現行プロジェクトとの調和 ILC-Japan 設立

- 素粒子物理学分野を超えて JAHEPと連携して推進、応用の議論

- 1) 国立天文台、理化学研究所、量子科学技術研究開発機構、東京大学物性
研究所、分子科学研究所、産業技術総合研究所など：
19回、約2700人参加 (2016-2020)

- 2) 大学・研究所でのセミナー：**95回、約2250人参加 (2016-2020)**

- 3) 物理学会シンポジウムなど：**15回 約2350人(2014-2020)**

2018年3月17日(土)

応用物理学会・特別シンポジウム

「物質と宇宙の基礎研究とそれがもたらす最先端産業技術」聴衆:300名⁶



科学コミュニティの理解（2）



技術のシンポジウム多くの参加者

2018年 6月25日(月)@東大

「国際リニアコライダーのための超伝導高周波技術に関する
シンポジウム」(160名)

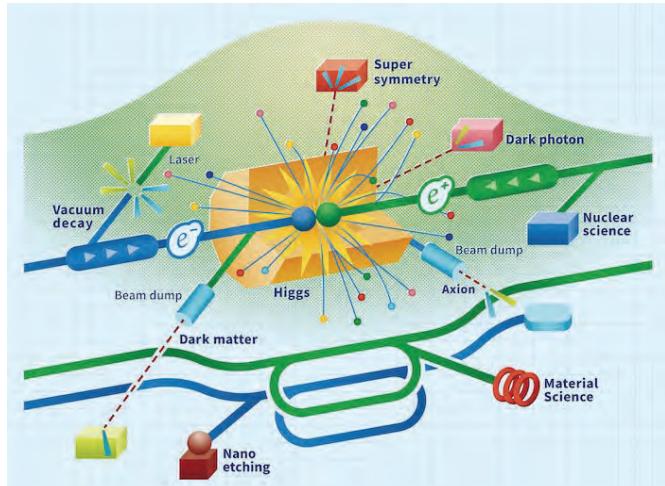
発信型から対話型へ 共同利用型へ

多彩な分野への応用を目指して

- ・核物理学
- ・放射光・マテリアル
- ・ナノ量子ビーム

国際workshop ILCXを日本で10月末に開催

ILCを核に、素粒子研究だけでなく
多彩な研究分野／施設の可能性を



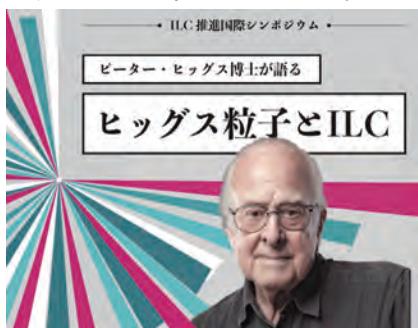
7

国民の理解(1)

一般向けシンポジウム



(2018年 1000名 @東京)



(2020年 600名
@東京、東北、九州、広島)

多数の講演会 のべ 19万人参加 (2015-2020)

ILC100人委員会

多くの国民はILC計画のことを知らないし、仮に名前は知っていても、この施設が日本にもたらす恩恵について理解されていない。このような現状を踏まえ、幅広い分野の有識者の皆様にILCのことをご理解いただき、いろいろな場面で広めて頂くために100人委員会の設置を決めた。様々な分野からご賛同頂き、日本を代表する方々に委員にご就任頂いている。（発起人：増田寛也氏）

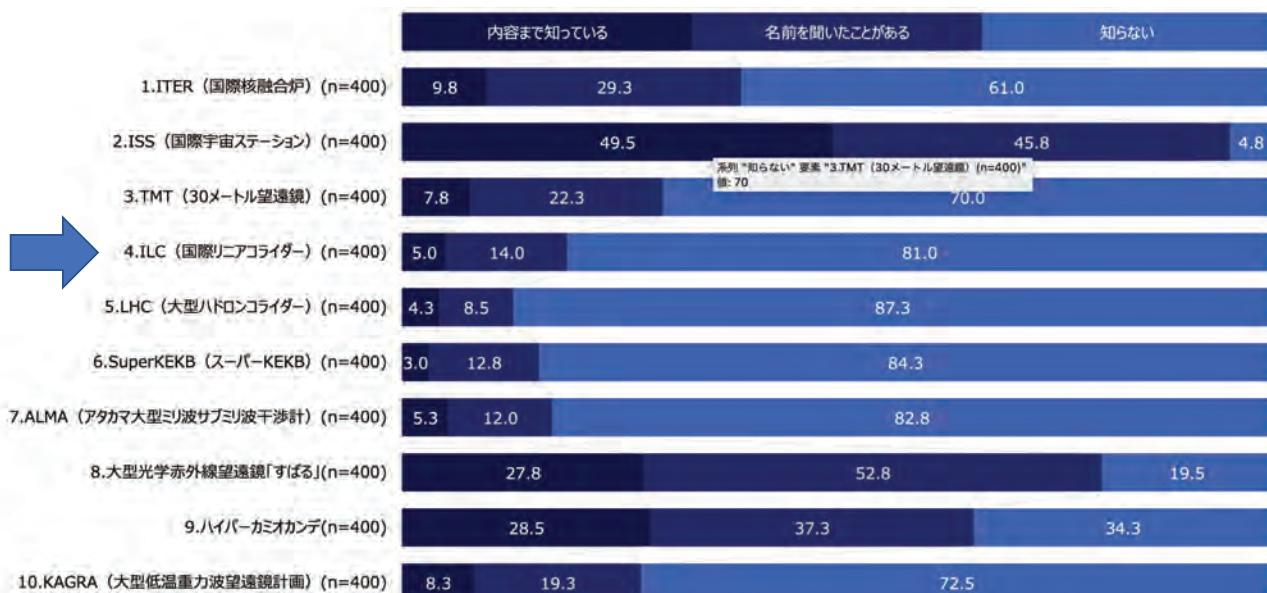
2018年6月23日 ILC100人委員会発足記念式典にて



8

国民の理解(2)

認知度アンケート結果(2021年)



19%の認知度(未着工にもかかわらず、高い認知度)

今後も様々な媒体での発信やセミナーをすすめ、理解を進めて行く

9

まとめ

- 1) 2018年以降 「ヒッグス粒子を用いて真空を研究する」
学術的意義がますます高まってきた。第一プライオリティー
- 2) 欧州戦略2020 2040-2060問題 ILCを戦略の中心にするには
日本の強いリーダーシップが必要
- 3) 日本に依存しない戦略のためFCCの検討がはじまった
2025年までにフィーズビリティー研究
(個人的見解ですが) コスト、土木、電力などが問題になる
- 4) 科学コミュニティの理解を得る努力を続けている。発信型から
対話型、共同研究型へ
- 5) 国民の高い認知度。今後も、努力をつづけていく
基礎科学の面白さや、日本の科学技術の将来

10

追加資料

11

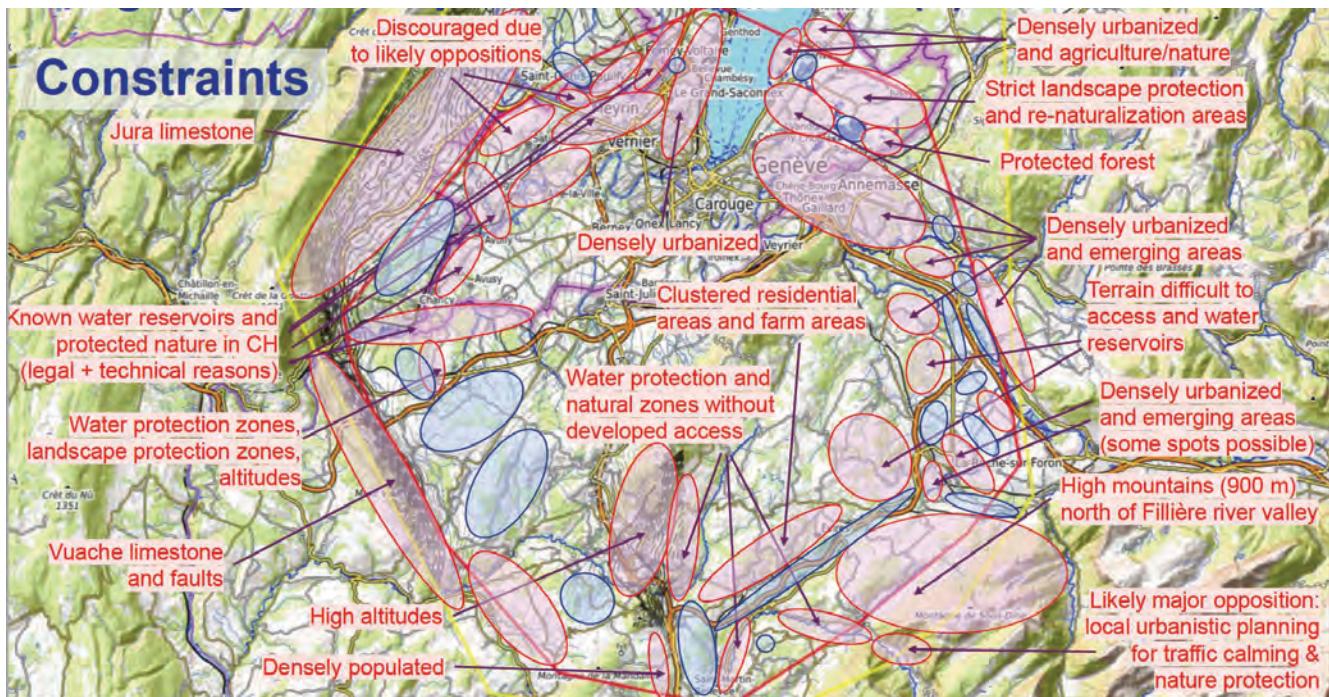
FCC(将来円形加速器)

	ILC	FCCee
Higgs Factory	◎	◎
Spin polarization	◎	×
エネルギー拡張性	◎	×
及び長期プラン	新しい加速技術で高いエネルギーへ	2060年ころに、ハドロンマシン(FCChh)へ転用
技術的成熟性	◎	△(CDRだけ これから)
加速器建設費	5800億円 うち土木建築約1200億円	1.2兆円 うちトンネル6000億円 (1CHF=120JPY 240GeV)
電力	111MW (250 GeV)	282MW (240 GeV)

2021-2025 年
100ミリオンスイスフラン (4年間) をCERNが準備して、
フィーズビリティー研究

12

FCC(将来円形加速器)



土木工事

2021年9月 FCC CBより

13

国民の理解(3)

ILC理解増進のための寄附金

KEK寄附金 活動報告書2020 「年度別寄附金受入総額」よりILC寄附金のみ抜粋

【趣旨】 ILC計画の意義をより広く、より深く一般に理解してもらうための活動資金として募集

【年度別寄附金受入額】

- 2016年度第4四半期から開始
- 2021年度は7月末時点
- 総額：6,443,072円

目標 1000万円

年度	2016	2017	2018	2019	2020	2021
寄付額	153,000	2,866,630	1,604,712	1,085,730	603,000	130,000
申込件数	法人		5	4	2	1
	個人		41	60	79	58

【寄附時に寄せられたメッセージ】 KEK寄附金HP 寄附者メッセージ <https://www2.kek.jp/kff/message.html>

2018.5.23 私たちは壮大な宇宙の一部であり、この宇宙とは何か、という真実を知ることは、我々とは何か、を知ることでもあると思います。ILCの実験によって明らかにされる真実は、一般的私たちに、現代をどう生きるべきか、という洞察をもたらしてくれるでしょう。ILCを心から応援致します。

2018.6.07 科学技術週間のキャンパス公開で寄付を集めているのを知ったのですが、その時はお話を伺っただけだったので、改めてネットから寄付させていただきます。TwitterでもILCが盛り上がっているようですので、ぜひ実現していただき、また施設を見学させてもらえればと思っております。

2018.6.14 ILC実現に向けて頑張りましょう。

2018.6.22 国際リニアコライダー(ILC)をはじめとして素粒子・高エネルギー物理の発展を応援しております！

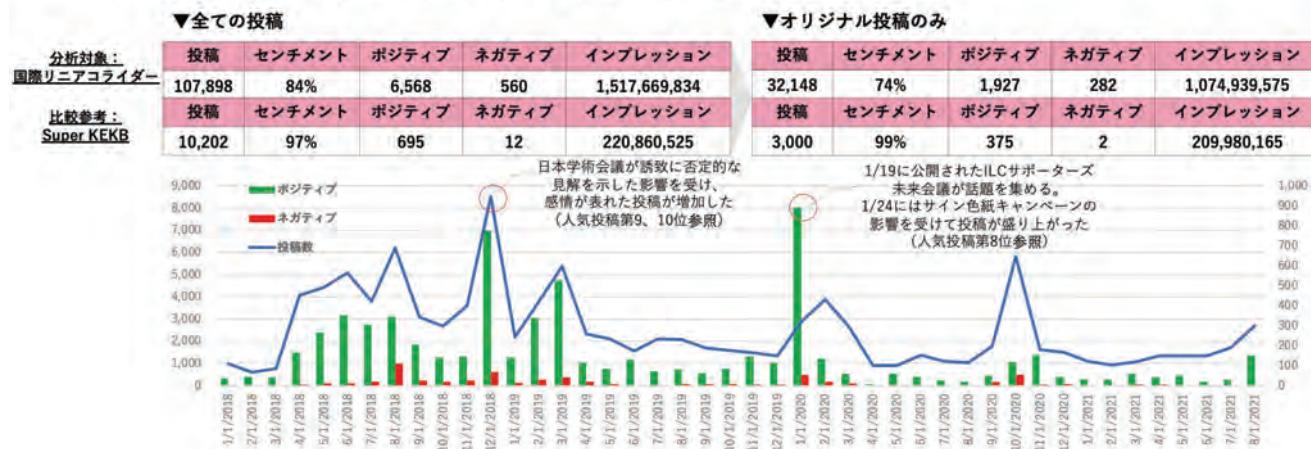
2018.12.31 学生時に物理を専攻しておりました。素粒子の研究に大変興味があります。是非、ILCを東北に建設し、物理学の進展に貢献していただきたいと思います。

2019.01.09 最大の理由は今後の世界人類のためになる事業を是非わが国(東北)で実施して頂きたいことと、現在の職場が岩手県内で且つILCでの建設と類似工事(トンネル)を施工していることにより関係者の方々と知り合うことができたため。

国民の理解(4)

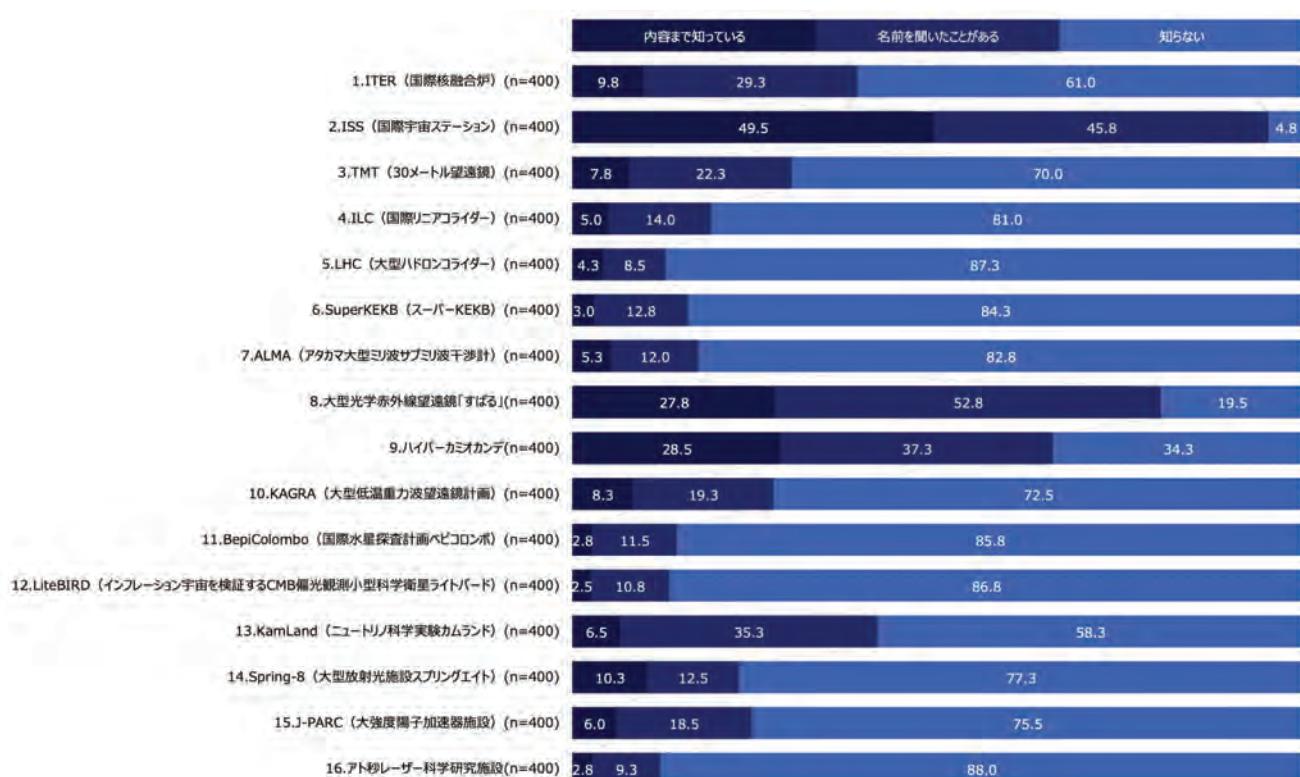
SNSを調査

- 2018年12月及び2020年10~11月には誘致に否定的な姿勢を示した日本学術会議に対する批判の声が増加した。
- 全体を通して話題のボリュームに対して高いポジティブ意見の比率が目立つ。
- 2020年1月には公式からの発信が反響を集め、関連話題が増加した。



15

国民の理解(2)



16

国際的な研究協力及び費用分担の見通し

内 容

- 国際的研究協力の進展
 - ・ 物理・測定器に関する研究協力
 - ・ 加速器に関する研究協力
- 国際的費用分担の見通し
 - ・ 米国政府の姿勢
 - ・ KEK国際ワーキンググループ
 - ・ 欧州素粒子物理学戦略アップデート2020
 - ・ 米国の研究者の議論
- 国際協力による人材の育成・確保の見通し
- その他、コメント

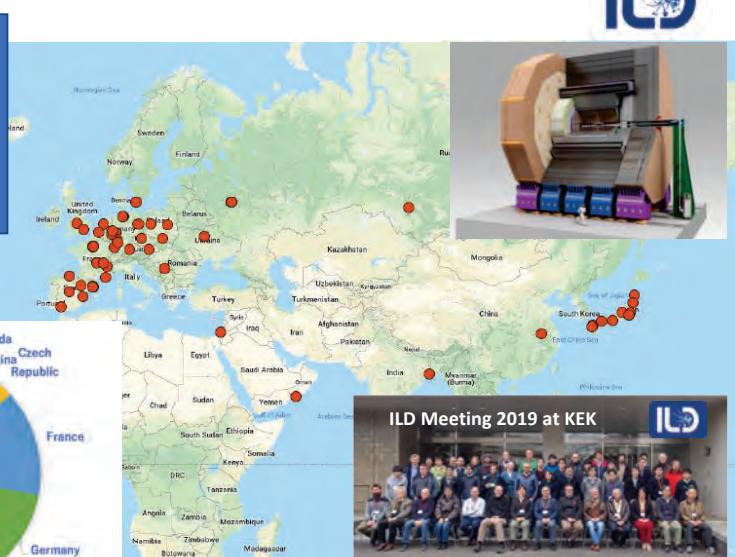
2021年10月18日
ILCに関する有識者会議
KEK 山内正則

1

国際研究協力の進展① 一物理・測定器の研究一

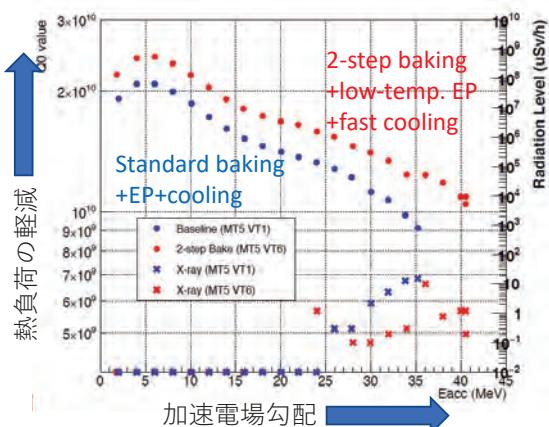
ILD測定器コンセプトグループ(2007年発足、約350人)

- ・ 测定器コンセプトグループは、ILCで用いる測定器の全体設計および、ILCで得られる成果を最大化するための研究を行う。
- ・ ILCのために2つの測定器コンセプト（ILDとSiD）が提案
- ・ 2021年7月時点で世界21カ国から68研究機関。
- ・ 日本の研究者は組織運営、ハードウェア・ソフトウェア開発、物理解析の全てに貢献。



国際研究協力の進展② ー加速器の開発研究ー

I. 日米協力による超伝導空洞の改良

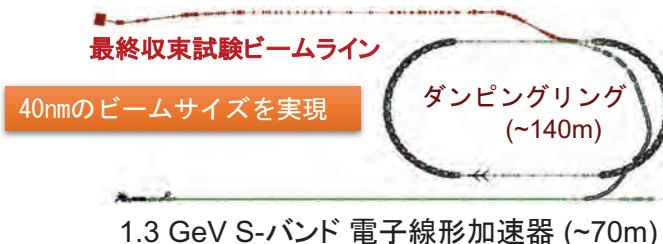


II. 日欧協力による超伝導空洞の製造技術の改良



フランス・サクレー研究所では、ロボット技術をESS空洞に適用し、ダスト混入を排除したクリーンルーム組立を開始

III. 国際研究チームによるナノビームの研究



国際研究協力の進展③

3年間の進捗を顧みて、ILCの実現につながる国際研究協力の進展が起こっていると言えるか？

Yes.

ただし、コロナ禍による研究協力の停滞や心理的効果は軽視できない。今後いかに早期に回復基調に戻すかが重要。

国際費用分担の見通し① —政府間協議の進展—

この質問にはお答えする立場ないので、一点だけ、米国政府の姿勢について紹介する。

U.S. Government Perspective on ILC

The U.S. government, including DOE, Department of State, and Office of Science & Technology Policy (OSTP), has been very supportive of the ILC in Japan.

Oct. 2019: DOE Under Secretary Paul Dabbar visited Japan and met with MEXT officials and Diet representatives in order to advance the ILC project in Japan, focusing first on the Pre-lab stage because in the U.S. it takes at least 2 years to formulate the budget.

Feb. 2020: A letter from DOE Secretary of Energy Dan Brouillette to Japan's Minister of State for Science & Technology Policy Naokazu Takemoto in the Cabinet Office stated:

The Japanese model of investments in major research infrastructures, and your government's continued commitment to our shared values, gives the U.S. Department of Energy (DOE) confidence that the ILC can become a center of excellence in particle physics research in Japan and across the globe.

DOE is therefore ready to begin engaging with Japan and other international partners to discuss topics of shared, collaborative resources towards the project, the proposed governance models for a potential ILC Laboratory, and the remaining research and development efforts that are needed to realize a future facility.

Such discussions would naturally form the basis of the "pre-laboratory" phase of the ILC project.

DOE welcomes recent statements from MEXT Minister Hagiuda regarding international partners coming to the table. DOE would be eager to come to the table.

03/15/2021 Lankford - ILC status in America 9

新政権でもILC支持の方向に変わりなし

ICFA (2021年3月11日)にて
米国エネルギー省からの発言
昨年DOE長官（閣僚）から内閣府科学技術担当大臣へのレターにある米国のILCを支持するスタンスに現在も変更はなし。

文科省萩生田大臣の発言（2月25日国会予算委員会第4分科会での答弁）を歓迎。米国DOE（エネルギー省）は国際協議を是非したい。

国際会議 LCWS2021 2021年3月15日 米国(A. Lankford) 発表より

5

国際費用分担の見通し② —研究者間の議論—

KEK国際ワーキンググループにおける検討

- KEKは2019年5月に世界から研究者を招き、ワーキンググループを設けた。文科省やICFAとの意見交換と並行して、ILCの具体化について検討を行った。
- WGのミッション：Revised ILC-PIP*を出発点として、特に以下についてより具体的な提言を求めた。
 - ILCの建設と運転に関する国際的な費用分担の考え方
 - ILC研究所の組織と運営について
 - 残された技術的開発項目を進める際の国際分担
- 2019年10月にKEKは国際WG報告書を公表。文科省に提出。政府機関や財政機関の間のILC計画に関する議論に有用なインプットとなることを期待している。



国際WGメンバー
Klaus Desch (Bonn)
Andy Lankford (UC, Irvine)
Kajari Mazumdar (TIFR, India)
Patricia McBride (FNAL)
Shinichiro Michizono (KEK)
Yasuhiro Okada (KEK)
Claude Vallée (Marseille)

* ILC Project Implementation Plan (ILC-PIP): ILCプロジェクト実施計画書
2013年ILC技術設計書(TDR)附属文書、2015年に改訂)

6

国際費用分担の見通し③ ー研究者間の議論ー

KEK国際ワーキンググループの結論 (2019.10)

- **国際的な費用分担の考え方**
 - 土木建設および土地の取得費用はホスト国が負担
 - 加速器本体はメンバー国が物納で分担
 - 運転経費はメンバー国で分担
- **ILCの組織のあり方**
 - 各国政府の了解のもと世界の研究機関間で覚書に基づいて準備研究所（プレラボ）を設置。約4年間かけて本格的な準備作業を推進
 - プレラボは技術的準備および政府間交渉の補佐が任務！
 - 政府間合意ができた時点でプレラボは発展的に解消してILC研究所へ
 - ILC研究所では各国代表者からなる理事会が最高意思決定機関。理事会から十分な権限を委託された所長がCEOとしてILC研究所を運営。
- **残された技術的課題に取り組むための国際分担**
 - 残された技術的項目を挙げて、国際協力が期待される国名、および技術的な準備計画を記述

ホスト国の建設費負担は
平均約400億円/年 ×10年
これによって真に国際的な研究施設が可能になる

この結論を踏まえてIDTにおいてさらに精密な検討が行われ、「準備研究所の提案」(2021.6)に至っている。政府においてもこれらに基づいた検討を進めたい。

7

国際費用分担の見通し④ ー研究者間の議論ー

欧州の研究者による議論

欧州素粒子物理戦略アップデート2020

3. 優先度の高い将来の取り組み

- a) 電子陽電子ヒッグス・ファクトリーが、最も優先度の高い次のコライダーである。長期的には、達成可能な最高エネルギーで陽子-陽子衝突型加速器を運転するという野心を欧州の素粒子物理学コミュニティは、持っている。これらの説得力のある目標を達成するには、新機軸と最先端テクノロジーが必要になる。
- 素粒子物理学コミュニティは、高度な加速器技術に焦点を当てた研究開発の取り組み、特に高温超電導体を含む高磁場超電導磁石のための取り組みを強化する必要がある。
 - 欧州は、その国際パートナーと共に、少なくとも100 TeVの重心エネルギーを持つCERNの将来ハドロンコライダーの技術的および財政的実現可能性を調査するべきである。そのコライダーは第一段階として電子陽電子ヒッグス・電弱ファクトリーとなる可能性を持つ。そのコライダー、および関連するインフラストラクチャの実現可能性調査は、グローバルな取り組みとして確立され、次の戦略更新のタイムスケールで完了されるべきである。

日本における電子陽電子国際リニアコライダー (JLC) のタイムリーな実現は、この戦略に適合するものであり、その場合、欧州の素粒子物理学コミュニティは協働することを望む。

Note: CERNは出資する政府機関による意思決定機関であるCERN Councilのもとで運営されており、このアップデートはこのCouncilの承認を得たもの。一研究所の将来計画と位置付けるのは適当でない。

8

国際費用分担の見通し⑤ ー研究者間の議論ー

米国の研究者による議論

米国では6年に一度スノーマス会議
+P5委員会で将来の方向性を議論

Building for Discovery
Strategic Plan for U.S. Particle Physics in the Global Context

2014年5月にP5委
員会より公表された
計画の優先順位づけ



2014年5月のP5報告書におけるILCの扱い

Recommendation 11: Motivated by the strong scientific importance of the ILC and the recent initiative in Japan to host it, the U.S. should engage in modest and appropriate levels of ILC accelerator and detector design in areas where the U.S. can contribute critical expertise. Consider higher levels of collaboration if ILC proceeds.

⇒米国政府がILC計画を強く支持する根拠となった

現在、次のP5報告書へのプロセスが始まっている

スノーマス会議(2022年夏)
世界中から集まつた研究者が一
週間に及ぶ議論の末に米国の素
粒子研究の方向性をまとめる会合



世界中の研究者コミュニティ

P5委員会(2023年春)
DOEとNSFの諮問委員会であるP5で、ス
ノーマス会議の結論をインプットにして米国
の素粒子研究計画案をまとめる。

9

国際協力を前提とした人材の育成・確保の見通し

- 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。

10

その他、コメントなど

- ILCの最終設計段階では相応の予算や人員を必要とするため、これは国際協力で実施することが適切。これが準備研究所（プレラボ）。また、これはILC実現のための人材育成にも大きな役割を果たす。
- プレラボは、各国研究者と連携して、各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補佐することもその重要な役割で、各国の支援を得てILCを実現するために必要な組織。これを適切にスタートすることで、ILCへの大きな貢献を呼び込むことが可能となる。いわば先行投資。
- 各国研究者・研究所は日本政府がILCに踏み出す兆候を示してくれればプレラボを開始する準備を整えている。関係国政府との対話では、実現したいという姿勢を示したうえで話を始めていただきたい。

11

人材の育成・確保の見通し及びその他

高エネルギー加速器研究機構 岡田安弘

2021年10月18日
ILCに関する有識者会議

指摘事項

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
- (イ) 国内の人材の所在の把握や人材育成計画の検討
- (ウ) 供給可能な人材の量や時期を踏まえた国際分担
- (エ) 外国人のための、住環境や家族の生活支援を含めた環境整備の検討

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の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）
- (イ) 技術的・経済的波及効果

1

人材育成・確保計画（国内）

加速器人材の育成・確保の考え方は、KEK-ILCアクションプラン（2016年、2018年改訂）に示されている。準備期間の技術準備研究開発及び現行プロジェクトからの移行により、建設のためのコア人材を育成・確保する。

- 超伝導加速器技術に係る新規人材は、大型加速器や超伝導加速器の開発拠点となっている応用超伝導加速器センター(CASA)においてOn-the-Job-Trainingで育成する。
- CASAでは既に人材育成で実績を上げている。2018-2021: 新規採用9名、大学院生10名
- さらに、加速器開発に新たに関わる人材についてはSuperKEKBやJ-PARCなどの大型加速器等でOn-the-Job-Trainingにより育成。
- 大型加速器の経験者も既存プロジェクトに所属しつつILC準備を支援する。（加速器技術継承による人材育成）

		現状	P1	P2	P3	P4	計(人・年)
加速器	日本	43	65	78	94	112	349
	海外		87	106	114	105	412
	世界		155	181	207	216	759
土木	日本	1	11	11	13	17	52
	海外		3	5	5	5	18
	合計		14	16	18	22	70
事務局			21	21	21	21	84
	世界		190	218	246	259	913

新たに必要とする人材についてこれまで同様、30~40%は業務委託を想定。（例：初年度22増の8名程度。）

第1回会合指摘事項

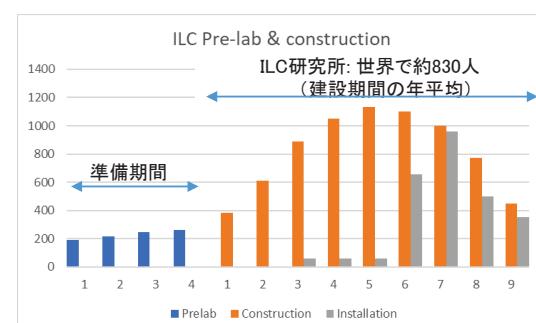
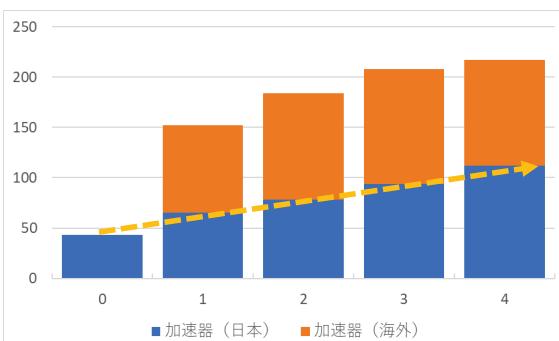
技術者・技能者の育成や技能や技術の継承についての対応状況や考え方。特殊な装置等の生産や管理、維持について見通しがあるか。

バックアップ資料参照

- KEKの加速器では、技術職員配置、業務委託によりこれらの課題に対処している。
- 現状では、KEKにおけるILC加速器開発は、CASAを中心に常勤スタッフ25FTE(うち技術職員5名)、業務委託18名で実施している。
- 技術継承、特殊な装置の管理、維持は、ILCに限らない重要課題である、KEKで適切に取り組む。2

人材育成・確保計画(国際)

- 世界にはILCを遂行するのに十分な加速器人材が潜在的に存在する。欧州研究所の加速器人材、3700人程度、北米・アジアには千人規模の加速器研究所が10ヶ所程度存在。
- 国際的な人材育成・確保計画については、ILC準備研究所提案書に示されている。**必要な技術や専門人材を持つ世界の研究機関はリストされている。**(中田達也氏の発表)
- 技術課題（ワークパッケージ）の取り組みやILC加速器の詳細設計の物納貢献を通じてさらにILC建設に向けた人材育成が行われる。



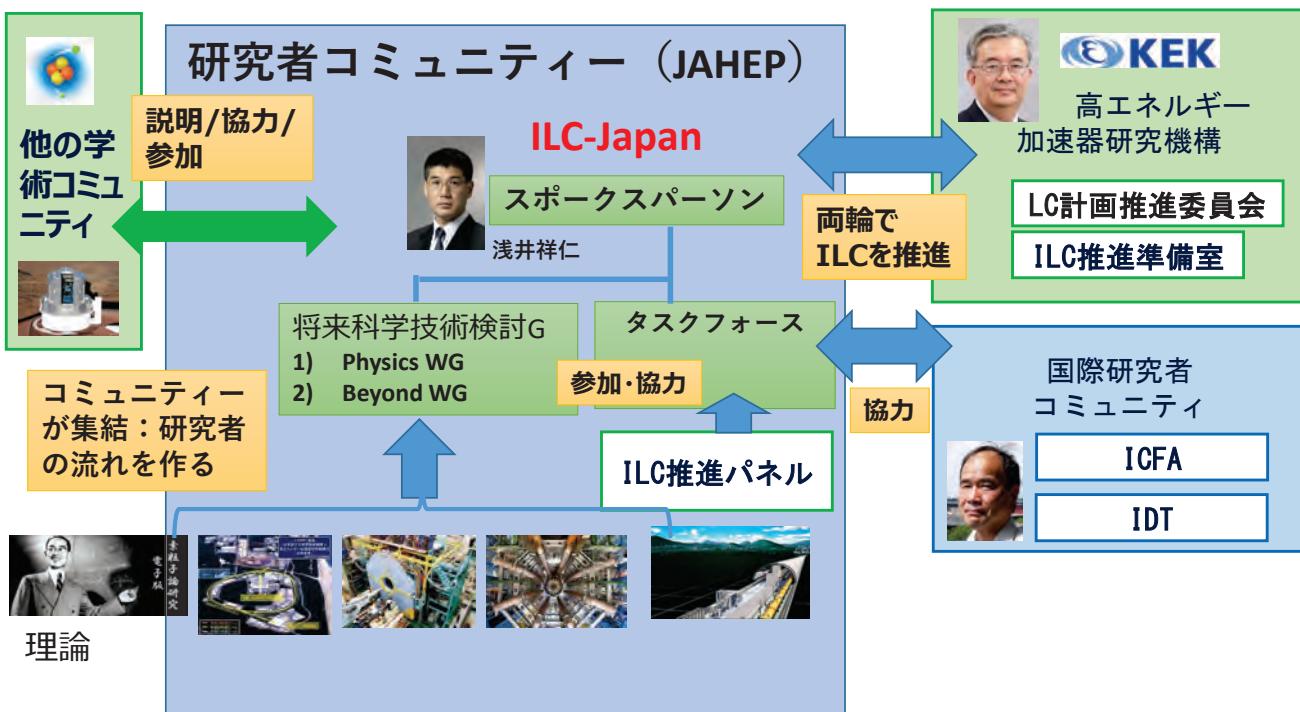
現時点では、IDTの活動には、世界で100名近くの研究者が加速器や準備組織の検討作業にかかわっている。本格的な準備作業期では、年間150-200人換算の人員が加速器等の準備作業に従事する。実際に係る実人数はその数倍。

ILC物理や実験の検討は広くコミュニティにオープン

最近の国際会議(LCWS2021)では、参加登録者800名、LCスクール参加大学院学生160名。物理実験提案の検討は、世界中から数千人が参加が期待される。

3

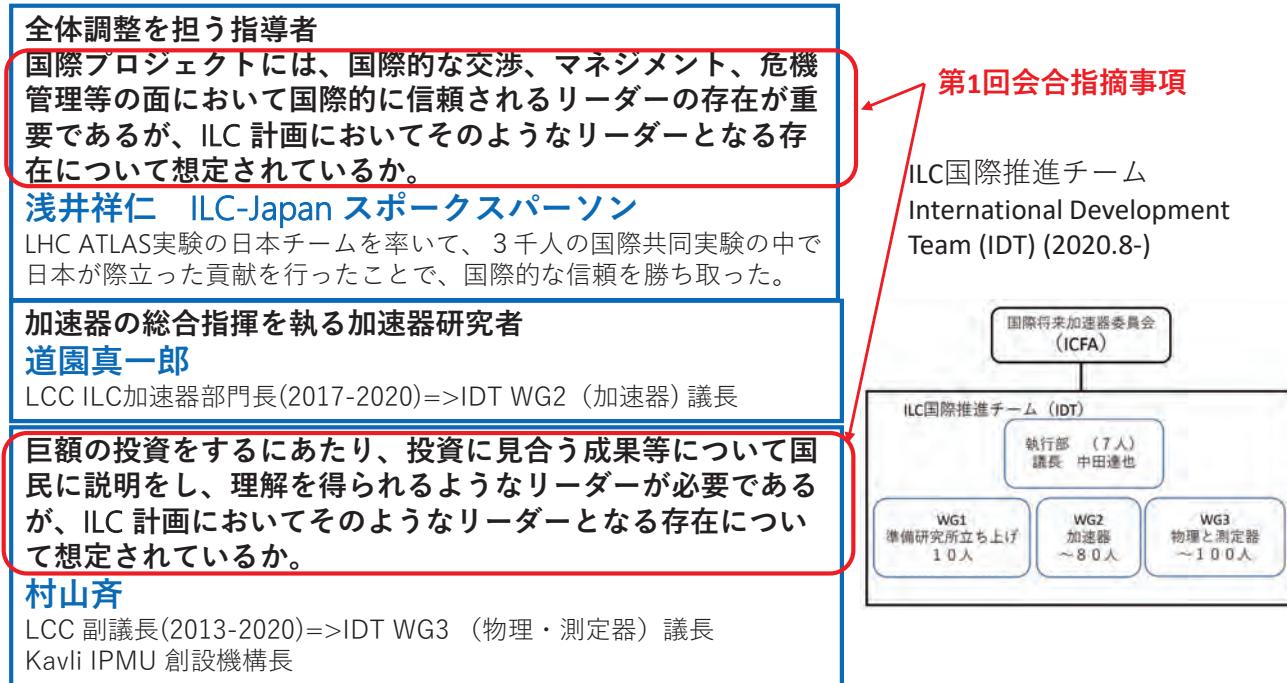
ILCジャパンを中心とする国内のILC推進体制



JAHEP=高エネルギー物理学研究者会議

4

リーダーシップ



Linear Collider Collaboration (LCC)
(2013-2020) 首脳部⁵

外国人のための、住環境や家族の生活支援を含めた環境整備の検討

- 現にKEKでは、1000人規模の大型国際共同実験をホストしており、様々な課題を認識し、対応を進めている。
- 研究機関での検討を超える環境整備については、产学の推進組織や地域で検討を開始している。

準備研究所に係る体制等

- KEK-ILC アクションプランで、準備期間を経て建設へ移行するシナリオを提唱。
- 準備研究所に必要なリソースや立ち上げプロセスは、IDTによる準備研究所提案書で提案。（中田達也氏の発表参照） 少数の主要な研究所で創設手順について話し合い。->創立メンバーでスタート->参加研究所を拡大し、本格的に活動開始。
- KEKの今後の研究推進の指針を示す「KEKロードマップ2021」策定のなかで、ILC推進に関しては、IDTの提案に沿って、早期に準備段階へ移行することを目指すことを基本方針とした。

技術的・経済的波及効果

- 技術的・経済的波及効果については、前回有識者会議で文部科学省の委託調査結果が報告されているが、物理研究者だけで精査することには限界がある。今後、経済学・経営学の専門家の協力を得て、ILC計画の技術的・経済的波及効果の分析方法に関する検討を進める。（すでに、大型研究プロジェクト推進の意義について専門家のアドバイスを受ける機会を持った。）

6

まとめ

- 世界の加速器研究機関には、ILCを遂行するのに十分な加速器人材が、潜在的に存在する。
- 準備期間の加速器技術準備作業によりILC建設のためのコア人材を育成する計画が立てられている。
- ILCジャパンを中心とした国内推進体制確立により、ILC計画を国際的にリードする体制を整えた。
- 外国人のための環境整備や技術的・経済的波及効果などの課題は、専門家や関係者と協力してさらに検討していく。

7

詳細資料

8

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る。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。

9

(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。

10

(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。

11

(エ) 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の検討【有】

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。

12

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】

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

ILC準備研究所
本部に必要な
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

項目	FTE/年	計
役員付 事務局	所長および部門長	4
	事務サポート、法務、広報、安全	8
本部 事務局	局長	1
	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
	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		30

(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求→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：

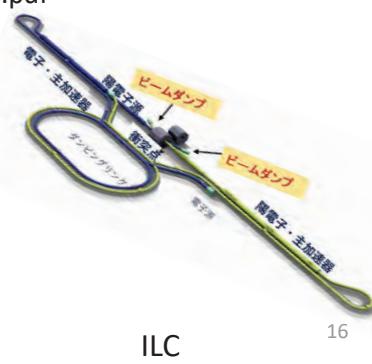
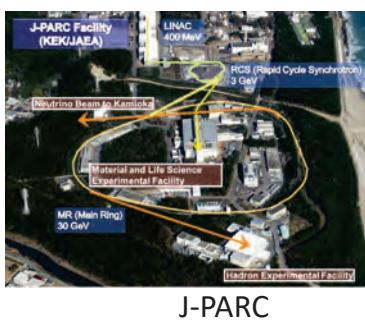
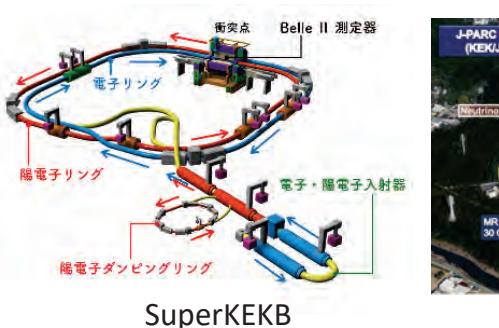
準備研究所期間に、経済学・経営学の専門家の協力を得て、ILC 計画の技術的・経済的波及効果や分析方法に関する検討をさらに進める。

バックアップ

技術者・技能者の育成や技能や技術の継承 特殊な装置等の生産や管理、維持 (I)

- 加速器の種類（電子・陽電子、プロトン、パルス、CW、線形、リング）によらず、**粒子源、高周波源、加速空洞、（超伝導・常伝導）電磁石、電磁石電源、ビーム診断、真空、ダンプ・ターゲット**などの構成要素を含む。
- 加速器構成要素は幅広い精密機器（電気部品、機械部品等）の集合体。
- KEKでは、TRISTAN（電子・陽電子）→KEKB（電子・陽電子）→J-PARC（プロトン）,SuperKEKB（電子・陽電子）などの**加速器プロジェクトを通じて各分野で人材の育成**を行ってきた。（次頁例）
- 海外においては、In-kindで他研究機関のプロジェクトに貢献する形が定着しており、LHC、European XFEL、ヨーロッパ中性子源ESSなどで**継続的に人材の育成・継承**が行われている。
- 高性能の加速器には高度な技術者が不可欠であるが、最近は加速器関連の研究開発・ビーム調整などへの**AIなどの活用が進んできている**。(別頁)
- KEKロードマップ2021*においても、「これからもAIや量子情報などを含む新しい発想や技術にも常に注目し、加速器・基盤技術に積極的に取り込みつつ発展させ、社会に還元する」としており、**今後も技術継承を含めてAIやロボットなどの活用を図っていく**。

*https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2021/06/KEKroadmap2021_J.pdf



16

技術者・技能者の育成や技能や技術の継承 特殊な装置等の生産や管理、維持 (II)

- これまで培った技術者の技能・技術は、新しい技術(高性能化など)と組み合わせて新たな人材に引き継がれる。
- 新プロジェクトやアップグレードがあれば、**技術者の教育・伝承**として極めて良い機会となる。
- 加速器部品は**電気部品、機械部品、ソフトウェアなどの組み合わせ**。電気、機械、ソフトなどの専門知識を持った人が技術者として活躍できる。
- 新たな技術者は、研究者のサポートや経験者からの技術引き継ぎにより**機器製造監督・保守の中核**を担う。
- 機器の運転・保守は、技術者が作る**運用仕様**にあわせ、訓練を受けた**業務委託の人材**が担う。

(例)パルス高周波源(真空管であるクライストロン)@KEK

クライストロンは大型加速器の高周波加速に不可欠な大電力高周波源。

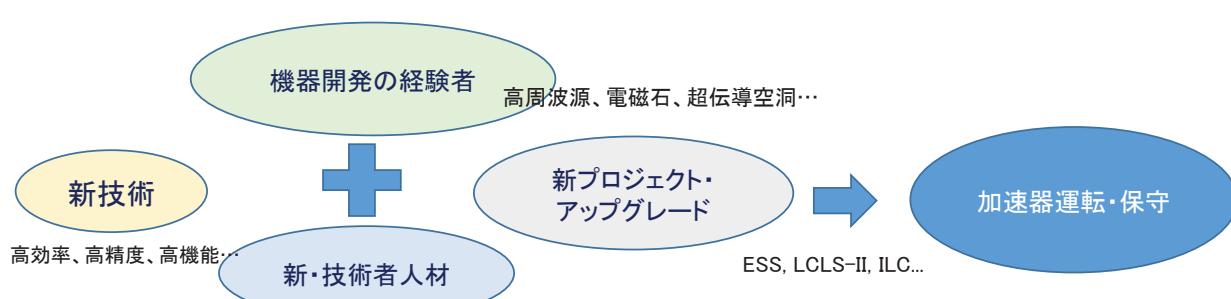
TRISTAN(1980年代、2856MHz 30MWクライストロンを開発、国内メーカー製造の技術支援)

→ KEKB(1990年代、2856MHz 50MWクライストロンを開発、国内メーカー製造の技術支援)

→ J-PARC(2000年代、314MHz クライストロンを開発、国内メーカー製造の技術支援)

→ J-PARC(2010年代、972MHz クライストロン製造の技術支援)

プロジェクトを跨ぎながら高周波源の開発に関わる人材を育成。開発に関わった研究者・技術者がそのまま加速器の運転・保守に携わる。



17

加速器関連へのAIなどの活用事例

世界の加速器で機械学習やロボットなどの活用が広まっている。

(国内)

加速器ビーム調整への機械学習などの活用例:

- 機械学習を使用した KEK Linac 加速器運転調整システムの開発(KEK、大阪大学、大阪市立大学)
http://beam-physics.kek.jp/mirror/www.pasj.jp/web_publish/pasj2019/proceedings/PDF/THPH/THPH007.pdf
- 重イオンビーム輸送系へのExtremum Seeking制御の適用(理研・仁科加速器科学研究所、2021年加速器学会発表)
- 機械学習手法を用いたXFELの自動調整(理研、SACLA、2021年加速器学会発表)
- ベイズ最適化によるcERLビームの自動調整(KEK、cERL、2021年加速器学会発表)
(2021年加速器学会) https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2021/abstracts/index.html#tag_10

加速器関連作業の自動化の例:

- 超伝導空洞の防塵作業自動化(KEK)

(海外)

加速器ビーム調整への機械学習などの活用例:

- Bayesian Optimization of a Free-Electron Laser(米国LCLSでの機械学習による調整時間の大幅短縮)
Phys Rev Lett. 2020 Mar 27;124(12):124801. doi: 10.1103/PhysRevLett.124.124801.
- Laser wakefield acceleration with active feedback at 5 Hz(遺伝的アルゴリズムを使った5Hzのアクティブフィードバックによるレーザーウェークフィールド加速)
<https://journals.aps.org/prab/pdf/10.1103/PhysRevAccelBeams.22.041303>
- Physics model-informed Gaussian process for online optimization of particle accelerator(粒子線加速器のオンライン最適化のための物理モデルに基づく自動調整)
<https://journals.aps.org/prab/pdf/10.1103/PhysRevAccelBeams.24.072802>

加速器関連作業の自動化の例:

- Robotic Solutions for CERN Accelerator Harsh Environments(過酷環境におけるCERNでのロボットの活用)
https://indico.cern.ch/event/814717/attachments/1849470/3035661/Robotic_Solutions_for_CERN_Accelerator_Harsh_Environments_EP_DT_Seminar_21_5_19.pdf
- Development of a cavity flanges cleaning solution with an industrial robot(産業用ロボットによる空洞フランジ洗浄)
<https://agenda.linearcollider.org/event/8622/timetable/#20201022.detailed>

18

技術的・経済的波及効果の検討（例）

- 2019年10月11日にKEK主催で「ILC計画を経済学的な側面から検討する勉強会」を開催。
- 経済学の専門家により「研究開発投資の経済効果」や「科学技術政策の評価の方法と事例」について話題提供を受けた。
- 基礎科学における大型の国際プロジェクトがもたらす技術波及やイノベーション誘発、その経済効果や指標の取り扱いと分析法、などについて広い立場から議論した。
- 今後も専門家のアドバイスを受けながら、このような検討を進める。

19