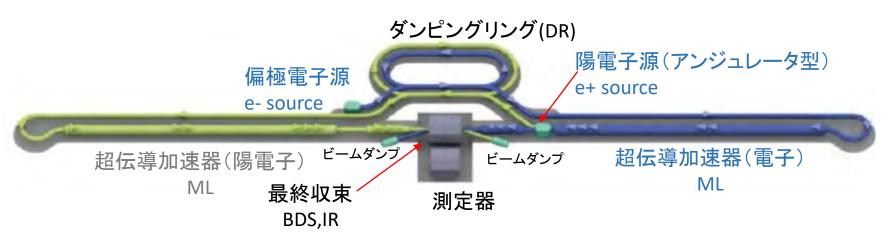
ILC準備・アクションプラン 資料2-1

道園真一郎·宮原正信 LCC (Linear Collider Collaboration) KEK加速器研究施設



これまで・準備期間の研究開発



アメリカ

ILCのコスト削減に向けた日米共同研究 2017年度から実施中。 高電界・高効率空洞処理(フェルミ研究所開発) ニオブ材料の低価格化

KEK ILCアクションプラン



ILC 準備アクション

- 準備から建設を展望したアクションプラン
 - 日本および外国からの貢献・協力を前提とする
- これまでの予備準備期間に、現有の設備、人員で設計・技術開発を推進し、建設可能な技術レベルに達している。
- 候補地域に特化した地形、地質、環境調査は、候補地域の協力を得て、 予備調査が実施され、良好な条件が確認されている。
- 本準備期間には、加速器詳細設計・建設に向けた技術実証、施設(土木・建築・設備)の基本設計、実施設計および候補地域の本地質調査、環境アセスメントなどを経て建設準備が推進される。

ILC 建設·全体計画

年次		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
予備準備段階	2																	
本準備	4																	
建設	9																	
(組み込み)																		
コミッショニング	1																	
物理実験開始																		

ノート:

- ここでは予備準備期間を2年と想定した。
- 予備準備段階から建設完了まで、~15年間を想定する。
- 現在、予備準備段階として、設計、技術開発が進展している。 また予備的な地質・環境調査、施設設計が地域の努力により進展している。

ILC 建設準備・取り組み

時	PP	/P1 P2 P3	P4	Construction	Beam
段階(仮定)	予備準備期間	準備期間		建設(9年)	
加速器設計	加速器パラメータの最適化	詳細設計	建設準備		
超伝導RF STF/CFF	STF2 整備・ビーム加速実現 CFF-空洞製造技術	STF-COI ハブラボ機能・技術実証 空洞製造・量産技術の習熟	建設準備		
Nano-beam ATF	IRナノビーム実証、 IR ビーム位置・安定化実証	IRナノビーム実証、 IRビーム位置・安定化実証			
陽電子源 ビームダンプ	基礎技術・検証	プロトタイプによる実証			
施設	IR地質調査 加速器位置	基本計画、 詳細設計·図面化、 用地調査 環境調査、土地準備	建設準備		

ILC 加速器・土木工事準備の進め方(案)

	(これまで)	1	2	3	4	5	6	7 ~ 15
期間	予備調査	予信	⋕準備	本準備 - 1	- 2	- 3	- 4	建設
土木工事:								
基本計画		基本計	·画 (改定)					
地形測量•地質調査	2007 ~ 2018	•••••	事前準備	測量∙調査	詳細			
基本設計	2017 ~ 2017	•••••	••••••	基本設計				
実施設計					実施	設計発達	主図書	
施工計画						施工計画		
実施準備						基準書	•積算 契約	
土木工事								工事 (~5年)
環境評価:								
準備			事前準備	配慮書·方法	書:			
アセスメント	2012 ~ 2015	•••••			現地調	査、予測、公告→ [≥]	集備書 評価	
モニター								モニター
用地取得:								
調査・準備	2012 ~ 2017	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		 準·	備測量			
取得						事業認定 → 取	双得/収用∙補償	

注)前提条件:

- ここでは、予備準備期間を2年と想定している。
- 候補地域で実施された予備調査結果が活用されつつ、予備準備および本準備期間の合計6年間で準備。
- 現在は予備準備期間の段階。政府方針が示された段階で本準備(予算を伴う)期間となる。 事業主体は国又は準ずる機関としての位置付け。
- ・ 本準備期間の<u>1年目から調査費(</u>地質調査・環境影響評価・測量等)の予算措置が必要。<u>3年目に所要の法整備</u>。土地収用法(第3条)の収用対象事業(国等が行う試験研究)となり、租税特別措置・控除の対象となることを想定。 森林法に対応した届出協議を想定。
- 環境影響評価は任意アセスを想定。 法令の規定によるアセスとなった場合にも所要期間を確保する。

ILC 準備・アクションプラン

- KEK を中心としたILC 準備アクションプラン
 - KEK ILC アクションプラン(2016年1月)を公開
 - URL:https://www.kek.jp/ja/newsroom/2016/01/06/1400/
 - KEK ILC アクションプラン改定(2018年1月)を公開
 - URL:https://www.kek.jp/ja/newsroom/2018/04/24/1200/
- ・欧州におけるILC 準備プラン
 - Horizon2020/E-JADE (Europe-Japan Accelerator Development Exchange Programme)として、欧州 (CERN)、ドイツ(DESY)、フランス(LAL、LAPP、CEA)、スペイン (IFIC)、イギリス (Oxford) 研究者らがまとめたもの。
 - URL:https://www.e-jade.eu/sites/sites_custom/site_e-jade/content/e49893/e65922/e73204/ILC-EIPP.E-JADE.v2.12.20180703.pdf

ILC 加速器技術達成状況

パラメータ	単位	要求仕様	設計仕様	達成値	実証場所など
<u>電子源技術</u>					
バンチ電荷	nC	3.2 4.8		8.0	SLAC-SLC
ビーム電流	uA	21	42	1,000	JLab
ビーム偏極度	%	80	80	90	名古屋大、SLAC、KEK
<u>陽電子源技術</u>					
バンチ電荷	nC	3.2	4.8	8.0	SLAC-SLC
陽電子偏極度	%	30	30	80	SLAC E166
<u>超伝導加速技術</u>					
モジュール加速勾配	MV/m	<u>31.5 (+/- 20%)</u>		~ 31.5	European-XFEL
空洞クオリティー値(Q ₀)			10 ¹⁰	~10 ¹⁰	DESY, FNAL, JLab, Cornell, KEK,
9連空洞(単体)	MV/m	3	5 (±20%)	33.4 MV/m	,
ビーム電流	mA		5.8	> 5.8	DESY-FLASH), KEK-STF
ビームバンチ数			1312	1312	DESY
バンチ電荷	nC		3.2	3	
バンチ時間間隔	ns		554	333	
ビームパルス長(時間)	ms		730	800	DESY, KEK
RF パルス長(時間)	ms		1.65	1.65	DESY, KEK, FNAL
パルス繰返し(周波数)	Hz		5	10	DESY
ナノビーム技術					
ATF-FF ビームサイズ (y) ILC-FF ビームサイズ(y)	nm nm		37 日 7 李学術会議 201	41 at ATF (@ 1.3 GeV) 8/10/02	ATF hosted at KEK

KEK ILC アクションプラン

2018-1(改定)

- 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) を建設することを提案。
- 同年、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。
- ILC250GeVの加速器の詳細については、"The International Linear Collider Machine Staging Report 2017" にまとめられている。
 - https://arxiv.org/abs/1711.00568
- ILC250GeVに合わせ、2018年1月にKEK ILC アクションプランを改定(補遺を追記)。
- 本準備期間では、加速器詳細設計、超伝導加速技術(SRF)の試験評価及びハブラボ機能の構築、ナノビーム安定制御技術実証、陽電子源、ビームダンプ等の要素技術実証が重要課題となる。
- SRF加速器部分は半減されるが、試験評価及びハブラボ機能の構築等、準備作業自体はILC500GeVと同様となる。
- SRFについてのコスト削減の研究開発が日米共同で進められている。
- 施設(土木、建築、電気・機械設備)部分は、主線形加速器部分の長さを半減。 トンネル全体配置、構造、アクセスなどについて検討が継続され、理解が深まっている。

ILC加速器準備への技術課題、国際連携

分 野	課題	国際連携・状況	人材比率 日本·外国
加速器ビーム設計	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(日米) - KEK-STF(日) - E-XFEL 運転(欧), LCLS-II 建設(米)	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 (KEKがホスト)	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)、 ダンプ技術実証: 熱バランス、冷却、安全	KEK, DESY, CERN(日欧)協力	日本中心
施設(CE-CF)	モデル(候補)地域を想定した基本計画、 詳細設計、図面整備、環境調査・整備、地域理解促進	KEK·東北(国内候補地域)連携	同上
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 (日米欧) ネットワーク国際調整	同上
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	同上

* TTC: Tesla Technology Collaboration, STF: Superconducting RF Test Facility

E-XFEL: European X-ray Free Electron Lase, LCLS-II: Linac Coherent Light Source II

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)

欧州 ILC 準備プラン

THE EUROPEAN INTERNATIONAL LINEAR COLLIDER PREPARATION PLAN (EIPP)

本準備期間におけるヨーロッパでの活動、役割についてもまとめられている。

July 2, 2018

Preparation Plan for European Participation in the International Linear Collider

Towards a European Contribution to the ILC

Authors: Philip Bambade (LAL Orsay)

Philip Burrows (Oxford)

Angeles Faus-Golfe (IFIC-Valencia and LAL)

Brian Foster (DESY)

Andrea Jeremie (LAPP Annecy)

Benno List (DESY)

Olivier Napoly (CEA-Saclay)

Thomas Schörner-Sadenius (DESY)

Marcel Stanitzki (DESY)

Content

	:xecutive Summary
1	Introduction
2	Past European contributions to the ILC and current activities within Europe
3	Preparation phase for the ILC construction 2019–2022
4	European in-kind contribution to the ILC construction
5	Possible involvement forms of Europe
6	References
_	

工	ク	<i>†</i> '' ~	ゼ	1	7	テ	イ	ブ	゛サ	7	IJ	_
	~			~								

1はじめに

- 2 ILCへのこれまでのヨーロッパ貢献と現 在のヨーロッパ内の活動
- 3 ILC建設のための準備段階2019-2022
- 4 ILC建設に対するヨーロッパの現物出資
- 5ヨーロッパの可能な参加形態

欧州ILC準備プラン

ILC 準備に向けた欧州・日本共同・技術開発協力の進展

Item/topic	Brief description	CERN	France CEA	Germany DESY	Time line
	Cavity fabrication including forming and EBW technology,	√			2017-18
SCRF	Cavity surface process: High-Q &—G with N-infusion to be demonstrated with statics, using High-G cavities available (# > 10) and fundamental surface research		>	>	2017-18
SCRI	Power input-coupler: plug compatible coupler with new ceramic window requiring no-coating	✓			2017-19
	Tuner: Cost-effective tuner w/ lever-arm tuner design	✓	✓		2017-19
	Cavity-string assembly: clean robotic-work for QA/QC.		✓		2017-19
Cryogenics	Design study: optimum layout, emergency/failure mode analysis, He inventory, and cryogenics safety management.	✓			2017-18
HLRF	Klystron: high-efficiency in both RF power and solenoid using HTS	✓			2017- (longer)
CFS	Civil engineering and layout optimization, including Tunnel Optimization Tool (TOT) development, and general safety management.	>			2017-18
Beam dump	18 MW main beam dump: design study and R&D to seek for an optimum and reliable system including robotic work	✓			2017- (longer)
Positron source	Targetry simulation through undulator driven approach			✓	2017-19
Rad. safety	Radiation safety and control reflected to the tunnel/wall design	✓			2017 – (longer)

欧州 ILC 準備プラン

ATF2: ナノビーム技術開発課題と欧州協力

	CEDAL	France		Germany	Spain	UK	
	CERN	LAL	LAPP	DESY	IFIC	Oxford	RHUL
Goal 1							
Very-low β	1	-					
Ultra-low β	1						
Halo control		1			1	7	
Wakefield/Intensity	1				1	1	1
Instrumentation	/	1			1	1	1
Ground motion	V		1	-		4	
Background				1			1
Goal 2							
Stabilisation/Feedback		1				1	

重点技術課題 (1/3)

1. 加速器詳細設計

加速器詳細設計パラメータを確立する(モデル地域を想定)。

2. 超伝導高周波技術(SRF)

2-a. 超伝導加速空洞システム(空洞、クライオモジュール、高周波電力)の量産技術

- 超伝導加速空洞システム要素の量産技術の実証、習熟を図る。
- 量産に備えたプロトタイプ試作(国際的競争力を持つ企業の育成)
- KEKが工業化技術開発を先導・習熟し、企業に適切な指導・助言可能な技術力集積。

2-b. 総合性能評価を担うハブラボ機能

- 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できる協力体制を整備。
- 欧、北米、アジア(各地域)において製造を監督・統括し、性能に責任をもつ中核研究所(ハブラボ) の構築を進める。アジア地域のハブラボ機能をKEKに整備。
- 超伝導加速空洞システムの総合組み立て・性能評価施設を整備しつつ、人材養成を図る。
- 超伝導加速空洞を用いたビーム加速技術に習熟する。
- 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 で再現されることを実証。 地域間輸送に伴う様々なプロセスおよび性能再現性を実証。

重点技術課題 (2/3)

3. ナノビーム技術

- KEK-ATFを活用し、ILCが求める最終収束・ビーム衝突点(IR)でのナノビーム技術の確立。
- 加速機器の制御技術に加え、地盤振動や温度変動などに対応した制御・フィードバック技術の確立。

4. 加速器要素の重点課題

4-a. 陽電子源

- 偏極陽電子の発生に特色をもつ「アンジュレータ駆動・陽電子源」をベースラインとしつつ、「電子駆動・陽電子源」技術をバックアップとする。
- 陽電子発生回転ターゲット要素技術実証が重点課題となる。

4-b. ビームダンプ

- ・ビームダンプの詳細設計。各要素技術の開発およびプロトタイプによるパラメータの実証、耐久性の確認。
- 保守リモートハンドリング各要素技術の開発、プロトタイプによる実証。
- 安全対策の確立。

重点技術課題 (3/3)

5. 施設

- これまでに実施した予備調査(2007~2018)結果を踏まえ、建設工事準備を推進する。
- 土木工事の基本計画 → 基本設計 → 実施設計を進める。
- 詳細な地形測量、地質調査を進め、候補地域の詳細な絞り込み、安全立地条件を確立する。
- 詳細な環境アセスメントを進め、環境保全への対応策を確立する。
- 土木工事・建設準備(工事仕様書・図面、工事費積算)、契約に向けた準備を進める。
- 設備について、様々なリスク、自然災害を含む非常時対応を踏まえた設計を確立し、契約準備を進める。
- 用地取得については、国または準ずる機関が主体となる研究施設としての事業認定プロセスを経て、ILC加速器のための(地表土地)取得・収用作業を進める。 ILC メインキャンパス(研究棟、一般施設)については、加速器本体とは別に、用地取得準備・作業を進める。

6. 共通技術課題

- 各種(放射線、高圧ガスなどの)安全基準の確立、必要な申請・認可への準備を進める。
- 加速器、物理実験測定器に共通する技術課題への支援を準備する。

Appendix

ILC準備の進め方

• 国際分担:

- 加速器要素:工業化、ハブラボ機能整備・検証は、国際的に応分な分担
- 施設:土木、建築関係は、日本が主として分担

・段階的な準備:

- 予備準備段階: 現存の先端加速器技術開発予算·人員で技術開発を継続し技術的な見通しを立てつつ、本準備期間における技術実証計画を準備する。
- 本準備期間: ILC プロジェクト実現にむけた判断後には、プロジェクト準備 費を伴う本格的な準備に取り組む(4年間を想定)。
- ・ 総合的な準備期間として、6年間を想定する。

ILC準備段階 における主要技術課題

- ADI and Parameters: 加速器の詳細技術設計・建設にむけたパラメータの最適化;
 - 250 GeV ~ 500 GeV への加速器システム設計
 - ビームダイナミクス詳細パラメータの確立
- Hub-lab functioning demonstration: ハブラボとしての機能実証(特にKEK: Appendix 参照):
 - 建設時の技術統括・監理を行うことができる施設の充実、人材の育成。
 - SCRF 空洞・CM 組み立て、性能試験技術の実証(パイロット施設を構築し、作業を実証)。
- ACC component industrialization technology, verification: 加速器要素・工業化技術の習熟、実証:
 - 特に、超伝導加速空洞インテグレーション技術の再最適化技術開発
 - クライオモジュール組み立てに伴う性能(確率的)低減の克服
 - 陽電子源のデモンストレーション、耐久性実証試験
 - ナノビーム技術の実証、
 - 衝突点でのビームコミッショニング技術の実証
- CFS Engineering Design and Drawing: 建設候補地の詳細地質調査、地上施設・アクセスポイントの具体設計、
 - 建設準備・地質調査(各工区でのボーリング)、地上施設、アクセスポイントの具体化、
 - 環境アセスメント
 - 特に、地域の自然との調和、地域活動との調和、環境保護
 - 電気、水、放射線、高圧ガス、地震等に対する危機対応、
- Cost and Human-Resource Estimazte to be further accurate: コスト、人員、年次計画の精度向上
 - 特に、サイト候補地が絞られた段階で可能となるより詳細、具体的な検討に基づく、コスト再評価
 - 不定性、税金、インフレーションに対するコスト評価方法の整理、行政当局との相互理解、
 - 国際協力によるコスト、人員の配分の具体的な議論18交渉02

Technical Status in 2018

•Key Technologies advanced!

Nano-beam Technology:

KEK-ATF2: FF beam size (v): 41 nm at 1.3 GeV (equiv. to 7 nm at ILC)

SRF Technology :

European XFEL completed: <G = ~ 30 MV/m> achieved with 800 cavities and accelerator commissioning/operation reaching > 90 % design energy.

LCLS-II: construction in progress

H-FEL (Shinghai): construction approved

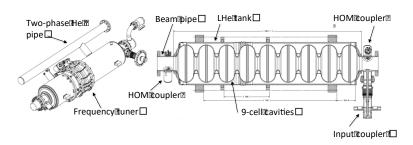
US-Japan: Cost Reduction R&Ds in progress, focusing on "N Infusion" process demonstrated, at Fermilab, for High-Q and High-G

General design updated:

ILC 250 GeV proposal has been authorized by ICFA/LCB

空洞・CMの製造および性能試験

Cavity/Cryomodule Fabrication



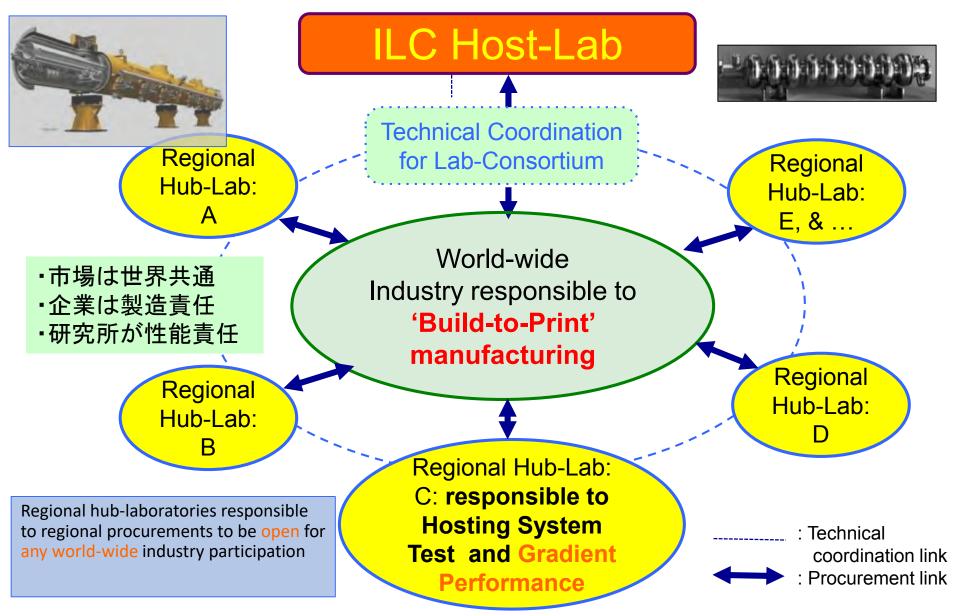
16,024 台 x 1.1



1,855 台



SCRF Procurement/Manufacturing Model



A Model for Cavity and CM Production and Qualification Process

空洞とクライオモジュール製造と性能評価

Step hosted	Industry	Industry/Labora tory	Hub- laboratory	ILC Host- laboratory
Regional constraint	no	yes or no	yes	yes
Sub-comp/material - Production/Procurement	Nb, Ti, specific comp		Procurement	
9-cell Cavity - Manufacturing	9-cell-cavity, Process, He-Jacketing	<\!	Procurement	
9-cell Cavity - Performance Test			Cold, gradient test	
Cryomodule component - Manufacturing	V. vessel, cold-mass		Procurement	
Cryomodule/Cavity - Assembly		Cav-string/ CM-assembly	7	
SCRF Cryomodule - Performance Test			Cold, gradient test	
Accelerator integration, Commissioning				Accelerator sys. Integ

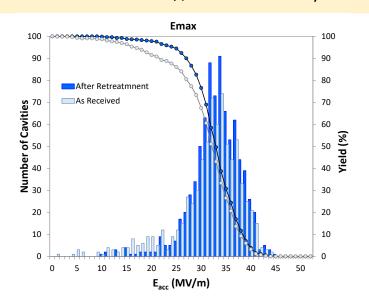
超伝導加速空洞量産性能の成熟度

· 欧州XFEL超伝導加速空洞実績:

• 量産実績 2 x 400台

• 最高電界 A社 (400): 34.7 MV/m

B社 (400): 31.5MV/m 全体: 33.0 MV/m



空洞内面 研磨回数	E-XFEL-A 実績 電界: [MV/m] 率: [%] (Q値達成)	ILC 計画 電界: [MV/m] 率: [%] (Q値達成)
10	33 MV/m 63%	35 MV/m 75%
2,3回	33 MV/m 82%, 91%	35 MV/m 90%

<u>•E-XFEL実績</u>: _ILC 計画目標に対して、電界、 Q値を合わせ、90%の技術レベルを実証。



Extrapolation to ILC - VT



- ILC TDR assumed VT acceptance > 28MV/m (XFEL > 20 MV/m)
 - Average of 35 MV/m (XFEL 26 MV/m)
 - Assumed first-pass yield: 75%
 - 25% cavities retreated to give final yield of 90% >28 MV/m (35 MV/m average)
 - 10% over-production assumed in value estimate

(assumed)				
(assumed)	max	usable		
75% 35 MV/m	86% 36 MV/m	53% 33.5 MV/m		
90% 35 MV/m	92% 36 MV/m	80% * 33 MV/m		
	35 MV/m 90%	35 MV/m 36 MV/m 90% 92%		

but close!

More re-treatments - but only HPR Number of average tests/cavity increases from 1.25 to 1.46 20% over-production or additional re-treat/test cycles

