

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

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-Trainig**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

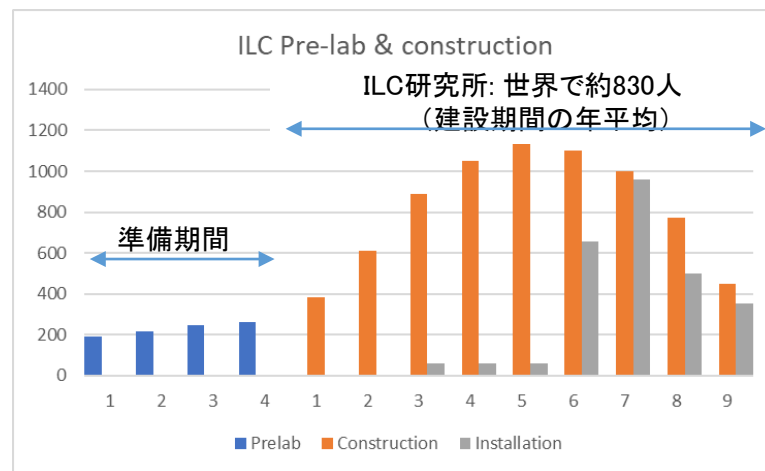
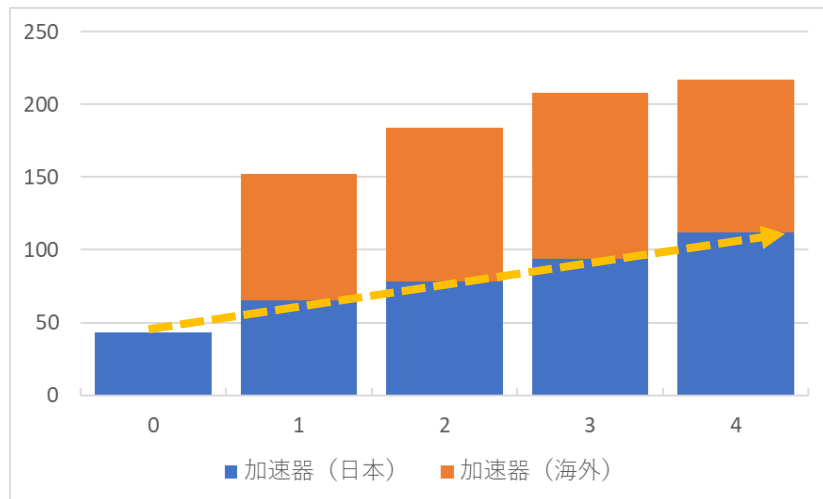
技術者・技能者の育成や技能や技術の継承についての対応状況や考え方。特殊な装置等の生産や管理、維持について見通しがあるか。

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。

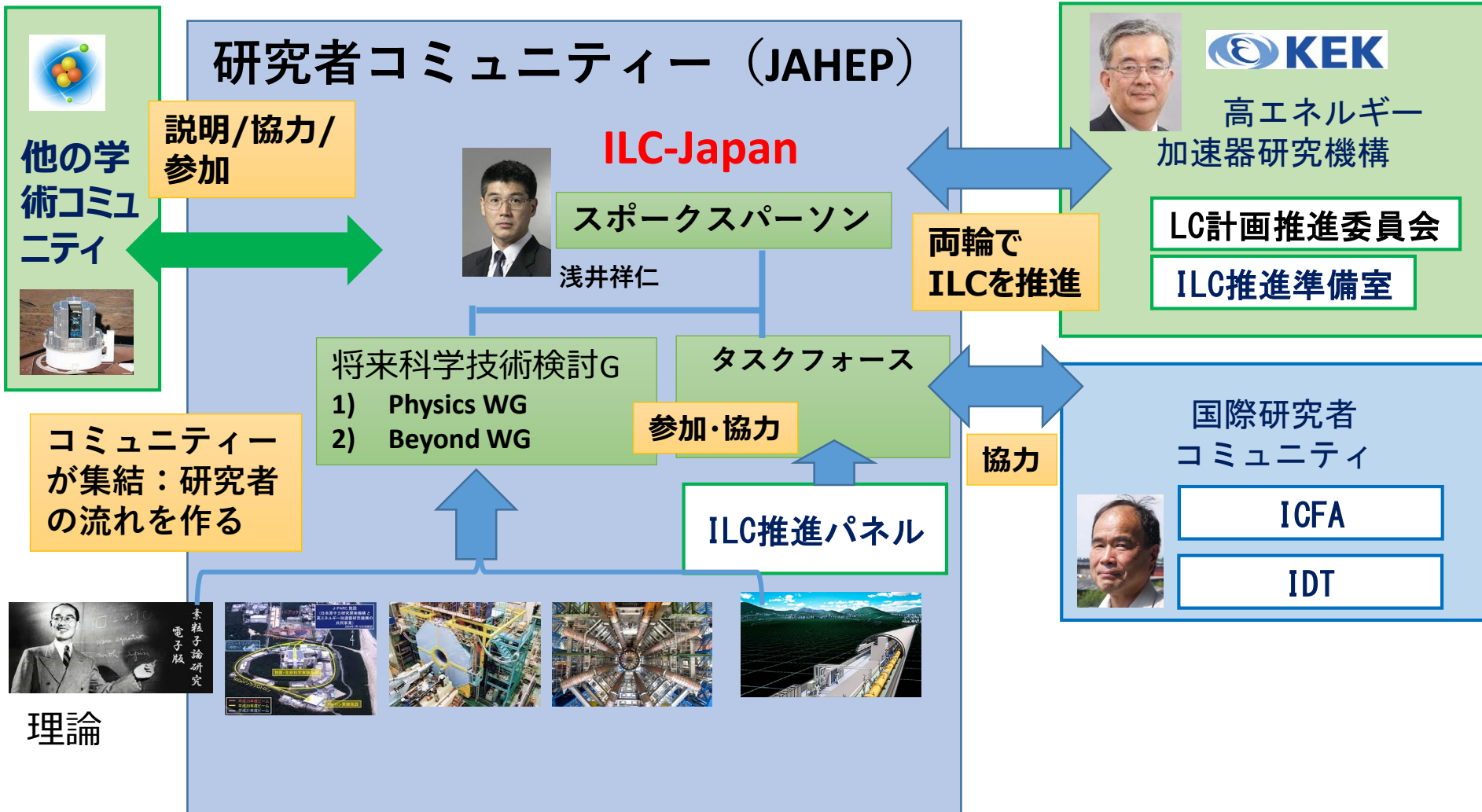


現時点では、IDTの活動には、世界で100名近くの研究者が加速器や準備組織の検討作業にかかわっている。本格的な準備作業期では、年間150-200人換算の人員が加速器等の準備作業に従事する。実際に係る実人数はその数倍。

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。

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

リーダーシップ

全体調整を担う指導者

国際プロジェクトには、国際的な交渉、マネジメント、危機管理等の面において国際的に信頼されるリーダーの存在が重要であるが、ILC計画においてそのようなリーダーとなる存在について想定されているか。

浅井祥仁 ILC-Japan スポークスパーソン

LHC ATLAS実験の日本チームを率いて、3千人の国際共同実験の中で日本が際立った貢献を行ったことで、国際的な信頼を勝ち取った。

加速器の総合指揮を執る加速器研究者

道園真一郎

LCC ILC加速器部門長(2017-2020)=>IDT WG2 (加速器) 議長

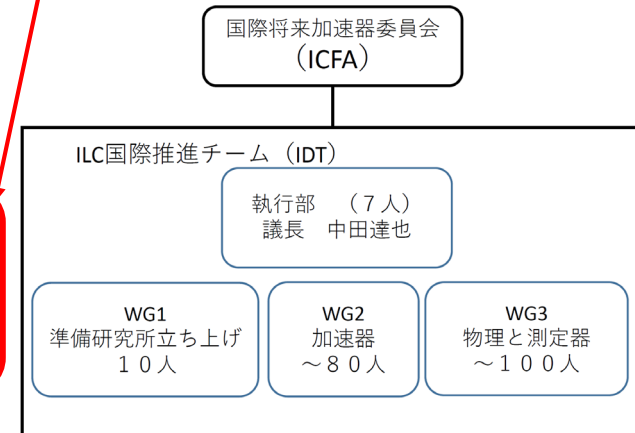
巨額の投資をするにあたり、投資に見合う成果等について国民に説明をし、理解を得られるようなリーダーが必要であるが、ILC計画においてそのようなリーダーとなる存在について想定されているか。

村山齊

LCC 副議長(2013-2020)=>IDT WG3 (物理・測定器) 議長
Kavli IPMU 創設機構長

第1回会合指摘事項

ILC国際推進チーム
International Development
Team (IDT) (2020.8-)



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、産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。）

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。

詳細資料

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。

(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。

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

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		13	120

(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：

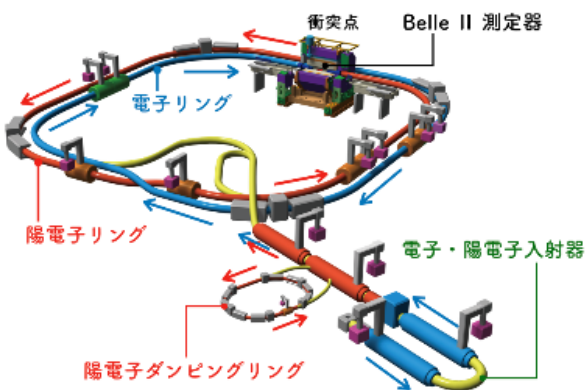
準備研究所期間に、経済学・経営学の専門家の協力を得て、ILC計画の技術的・経済的波及効果や分析方法に関する検討をさらに進める。

バックアップ

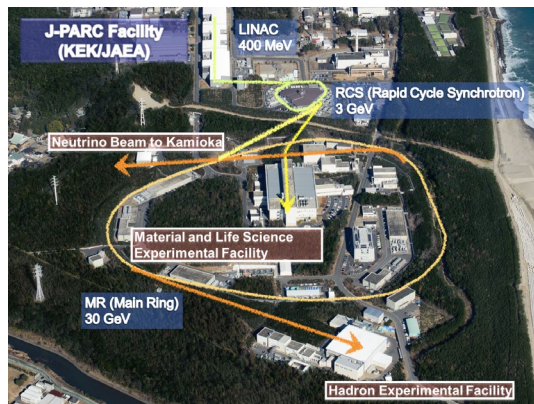
技術者・技能者の育成や技能や技術の継承 特殊な装置等の生産や管理、維持 (I)

- 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。

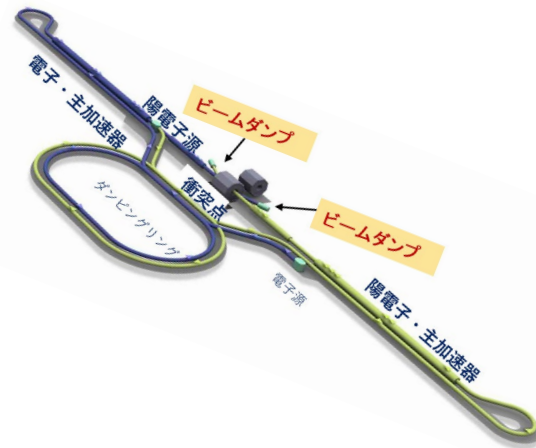
*https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2021/06/KEKroadmap2021_J.pdf



SuperKEKB



J-PARC



ILC

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)と組み合わせることで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。

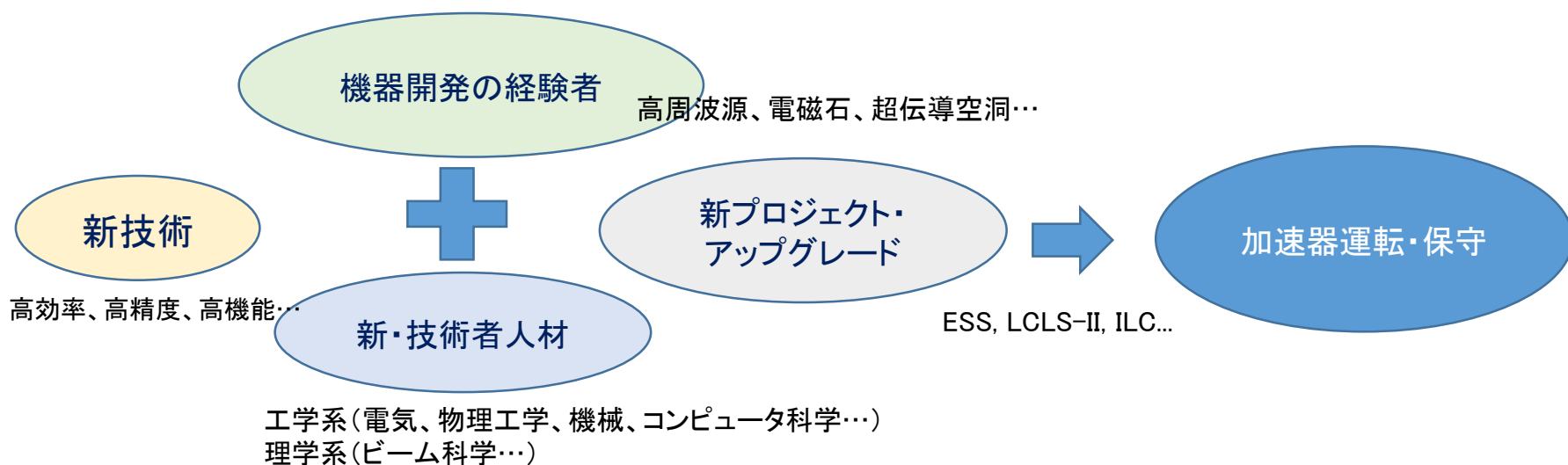
TRISTAN(1980年代、2856MHz 30MWクライストロンを開発、国内メーカー製造の技術支援)

→ 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。



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がっている。

(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センター、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.](https://doi.org/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>

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。