

国際大型加速器計画のコスト削減に関する調査研究
調査報告書

概要版

平成 30 年 2 月

大学共同利用機関法人
高エネルギー加速器研究機構

はじめに

本報告書は文部科学省からの委託を受けて本機構が行った「国際大型加速器計画のコスト削減に関する調査研究」について、その結果をまとめたものである。

次世代の大型加速器実験施設構想として、国際リニアコライダー（ILC: International Linear Collider）計画（以下「ILC 計画」という。）の技術設計報告書（Technical Design Report、以下「TDR」という。）が、平成 25 年 6 月に素粒子物理学分野の国際コミュニティより発表された。文部科学省に設置した「国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議 技術設計報告書（TDR）検証作業部会」において検証を行った結果、土木建築を含む加速器本体の建設費が 8,309 億円、本体建設に必要な労務費が 1,598 億円、測定器本体費用が 766 億円、測定器建設に必要な労務費が 239 億円となっており、土木建築を含む加速器及び測定器本体に関わる費用の総計で約 1 兆 912 億円と見積もられた。

文部科学省は米国エネルギー省（DOE: United States Department of Energy）と行政的事項について意見交換を行うため「ディスカッショングループ」を設置し、ILC 計画の実現の可能性を高めるためには、大幅なコスト削減を目指すことが不可欠との共通認識の下、コスト削減に向けた日米共同研究の可能性について優先的に検討している。

本調査研究はかかる状況の中、文部科学省からの委託を受けて本機構が行ったものであり、具体的には、土木建築を含む加速器及び測定器本体建設を対象に、TDR からのコスト削減につながる要素技術の研究開発課題を挙げ、これら課題についてコスト削減の効果額、そのための研究開発に要する期間と額に関して調査研究を行った。

また、特に、上記の日米共同研究で挙げられている「低コスト・ニオブ材料の活用による超伝導高周波空洞材料の低価格化」（以下、略称「新ニオブ材料」）及び米国・フェルミ国立加速器研究所（FNAL: Fermi National Accelerator Laboratory）で開発された「高電界・低損失実現のための超伝導高周波空洞の表面処理」（以下、略称「高電界・低損失空洞」）の 2 件について、本機構にて行う技術的な検証および米国を含む世界の超伝導技術開発の実例調査に基づく検証を行うことにより、空洞の低価格化・高性能化によるコスト削減効果、研究開発に要する期間・額について詳細に調査研究を行った。

なお、本調査研究を実施するにあたっては、大型加速器実験施設に関係した有識者や関連する分野の研究者等による「国際大型加速器計画のコスト削減に関する調査研究委員会」を本機構に設置し、調査研究結果や報告書の内容についてご検討いただいた。

熊谷委員長を始め委員の皆様には、活発なご議論、貴重なご意見をいただきましたことを、深く感謝申し上げます。

国際大型加速器計画のコスト削減に関する調査研究委員会委員名簿

(五十音順)

氏 名	所属・職名
芥 川 真 一	神戸大学 大学院工学研究科 教授
池 田 直 昭	三菱重工機械システム株式会社 設備インフラ事業本部 制御技術部 部長
柏 木 茂	東北大学 電子光理学研究センター 准教授
○上垣外 修 一	理化学研究所 仁科加速器研究センター 加速器基盤研究部 部長
神 門 正 城	量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 高強度レーザー科学研究グループリーダー
◎熊 谷 教 孝	公益財団法人高輝度光科学研究センター 名誉フェロー
佐 藤 潔 和	東芝エネルギーシステムズ株式会社 京浜事業所 技監
竹 内 一 浩	株式会社日立製作所 原子力ビジネスユニット 原子力事業統括本部 原子力事業技術センタ シニアプロジェクトマネージャ
田 中 均	理化学研究所 放射光科学総合研究センター 副センター長
細 貝 知 直	大阪大学 大学院工学研究科 准教授 ／理化学研究所 放射光科学総合研究センター 先端光源開発 研究部門 レーザー加速開発チーム チームリーダー
山 本 明	CERN Guest Professor
山 本 均	東北大学 大学院理学研究科 教授

◎は委員長、○は委員長代理

調査研究の目標と方法

1. 調査研究の目標

ILC の TDR を精査し、加速器、測定器はもとより、加速器土木（トンネル本体や地上施設）などを含めてコスト削減につながる要素技術の研究開発課題について調査研究を行う。また、日米共同で進められるコスト削減の課題についても、世界的な動向について調査を行うとともに、本機構でも研究調査を行う。各成果目標については以下の通りである。

- (1) 現在コスト削減のための研究開発が進められているか、他の加速器プロジェクトで採用されつつある項目

日米共同で進められている研究開発（「新ニオブ材料」および「高電界・低損失空洞」）など、ILC のコスト削減のために進められている研究開発課題や他の加速器などで進められている研究開発課題について研究調査を進め、コスト削減の効果を評価する。

- (2) 中長期的な研究課題

コスト削減に結び付く中長期的な研究開発課題（10年程度の研究開発期間を要するもの）について広く調査を行う。

- (3) 加速器土木関係の研究開発項目

加速器土木関係の研究開発項目について、建設コスト削減につながる項目を提示、コスト削減効果を見積もる。

- (4) 測定器本体の研究課題

測定器本体のコスト削減に結び付く研究開発課題について広く調査を行う。

- (5) 超伝導加速以外の加速方式

現在提案されている常伝導リニアコライダー（CLIC）および新しい加速技術であるプラズマ加速についても、研究開発の現状について調査を行う。

2. 調査研究の方法

- (1) 整備コスト削減に関する要素技術の研究開発課題の探索・検討

エリアシステム（電子源、陽電子源、ダンピングリング、主線形加速器、最終収束系、検出器、加速器土木）ごとに精査する。新たな研究開発によりコスト削減につながるものの探索・検討を行う。

- (2) 要素技術の研究開発課題に係る削減効果額、研究開発期間、研究開発費用

本項の（1）で行われた探索・検討をもとに、各々の研究開発課題について ILC 計画に採用された場合の削減効果や研究開発に必要な期間、金額などについても見積もる。コスト削減については、TDR の土木建築を含む加速器および測定器本体建設に関わる費用の見積もりを参考にして効果の算出を行うこととする。

目次

はじめに	i
国際大型加速器計画のコスト削減に関する調査研究委員会委員名簿	ii
調査研究の目標と方法	iii
1. 調査研究の目標	iii
2. 調査研究の方法	iii
1. 調査研究の結果	1
2. コスト削減評価	5
1) 加速器本体（加速器土木を含む）の研究開発項目	5
(1) 現在コスト削減のための研究開発が進められているか、ほかの加速器プロジェクトで採用されつつある項目	5
(2) 中長期的な研究開発課題（10年程度の研究開発期間を要するもの）	6
(3) 加速器土木関係の研究開発項目	6
2) 測定器本体の研究開発項目	7
3) 超伝導加速以外の加速方式	7
(補遺)	8
A. ILC 250 GeV ステージングについて	8
1) ILC 250 GeV の構成	8
2) ILC 250 GeV におけるコスト削減効果	9

1. 調査研究の結果

国際リニアコライダー (ILC: International Linear Collider) は、全長 30km 超の電子・陽電子衝突型加速器である。図 I-1-1 にその概要を示す。ILC の加速器は、電子・陽電子源 (e-/e+ source)、これらのビームのエミッタンス (ビームの広がりに対応する値) を小さくするダンピングリング (DR: Damping Ring)、ダンピングリングから主線形加速器までビームを輸送し、ビームバンチ長 (軸方向の塊長さ) を圧縮するバンチコンプレッサー (Bunch Compressor) を含む RTML (Ring to Main Linac)、超伝導技術を用いてビームを加速する主線形加速器 (Main Linac)、ビーム衝突点におけるビーム衝突の強度を示す輝度 (ルミノシティ) を高めるための最終的なビームの収束・調整を行うビーム供給・最終収束系 (BDS: Beam Delivery System) と衝突の反応を計測するための測定器 (Detector) が設置される衝突点 (IR: Interaction Region) から構成されている。

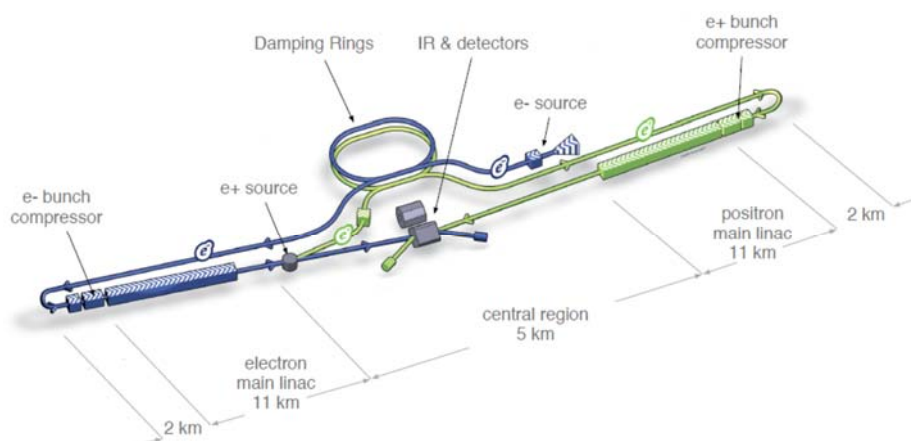


図 I-1-1 ILC の概略 (出典: ILC-TDR)

加速器は 1 秒間に 5 回の頻度 (5 Hz) でパルス運転される。パルス内には 1,312 個のビームバンチが形成され、電子源および陽電子源からは 1 バンチあたり 2×10^{10} 個の電子および陽電子が生成される。超伝導加速器部分では、合計 16,000 個程度のニオブ製の超伝導加速空洞が使用される。これら空洞はクライオモジュールと呼ばれる保冷容器に収められ、液体ヘリウムにより低温に保たれる。クライストロンと呼ばれる大電力増幅器から出力される大電力高周波は、入力カプラと呼ばれる部品を通じて空洞に投入され、1 空洞当たり平均 31.5 MV/m の電界を発生させる。一つのクライストロンの大電力高周波 (最大 10 MW) は 39 台の空洞に分配される。

2 台の測定器 SiD (Silicon Detector) と ILD (International Large Detector) は、ILC の一つの衝突点を共有して設置され、いわゆる“push and pull”方式で測定器を入れ替えることで 2 実験を実施する。

技術設計報告書 (TDR: Technical Design Report) の見積もりは物品費 (Value) と労務費 (Labor) に分けられ、TDR の Value のコスト見積もりは仮想通貨 ILC ユニット (ILCU) を使って行われている。ILCU は 2012 年 1 月現在の購買力平価を基に 1 ILCU=1 米国ドル

と定義されている。土木建築を含む加速器建設コストは総額 7,980MILCU（百万 ILCU、以降同様）であり、文部科学省の TDR 検証作業部会では、国際入札を考慮し 1 ユーロ 115 円、1 ドル 100 円を仮定して、日本円にして約 8,300 億円とされている^[I-1-1]。

加速器建設コストについて加速器施設ごとに分類したものを図 I-1-2 に示す。主線形加速器部分は 5,200 MILCU と、ILC 加速器全体の 2/3 程度を占めていることがわかる。ここで、Common はメインキャンパス（154 MILCU）や主電力受電部分（加速器では 164MW 程度の使用を想定）、一般的なネットワークおよびコンピュータシステム（電子メールなど）、加速器制御などを含んでいる。IR に設置される測定器のコストは、別途物理測定器のコストとして分類され、ここでは測定装置を入れるための実験ホールのコストが含まれている。TDR では特定の建設サイトを想定しておらず、建設サイトに依存する費用（電力や水のサイトまでの取り込み配線など）は含まれていない。また、地質調査、ボーリング費用など、本建設前に行う費用についても含まれていない。

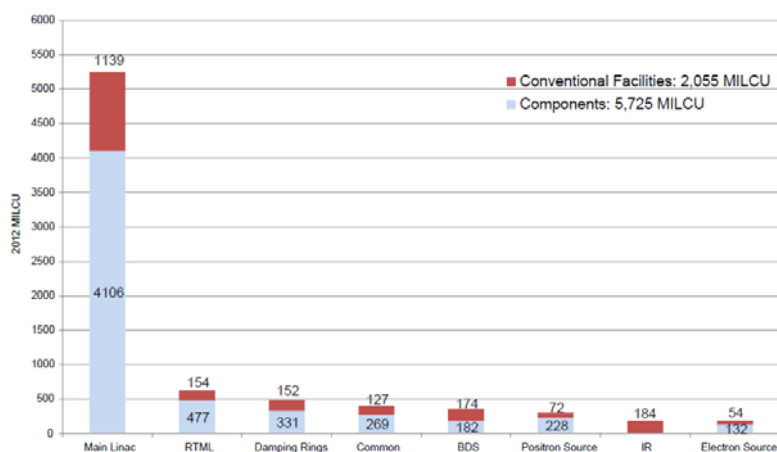


Figure 15.8. Distribution of the ILC value estimate by system and common infrastructure, in ILC Units. The numbers give the TDR estimate for each system in MILCU.

図 I-1-2 ILC の加速器施設毎の建設コスト（出典：ILC-TDR）

ILC では先に述べたように、ILD と SiD という二つの測定器を置く予定である。TDR (Vol.4 Detectors) によれば、ILD のコストは 391.8 MILCU、SiD のコストは 315 MILCU で、労務は、ILD が 1,400 人年、SiD が 748 人年となっている。

これらの ILC 構成要素について、新たな研究開発によるコスト削減の可能性について調査を行った結果を表 I-1-1 にまとめる。次章以降に別途記載するが、現在コスト削減のための研究開発が進められているのは下記の 4 件である。

- 低コスト・ニオブ材料の活用による超伝導高周波空洞材料の低価格化
- 高電界・低損失実現のための超伝導高周波空洞の表面処理（N-Infusion）
- 入力カップラ
- 電解研磨

これらの研究開発がすべて成功した場合は、5～11%程度のコスト削減が見込まれる。

参考文献

- [I-1-1] 文部科学省国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議（第3回） 配付資料 資料 1-2 技術設計報告書（TDR）検証作業部会報告
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/038/shiryo/1357375.htm

表I-1-1 新たな研究開発によるコスト削減可能性の調査結果

エリアシステム	略称	サーベイの内容	コスト削減につながる研究開発課題
電子源	e ⁻ source	コスト削減として電子銃システムを1系統にする、RF電子銃にしてバンチャーをなくすことが考えられるが、前者は新技術ではなく、後者もカソード破壊を防ぐ方法が確立していない。 新技術によるコスト削減方法は見いだせなかった。	
陽電子源	e ⁺ source	アンジュレータの周期を短くし、それによる陽電子数増加分、これを短くする、RFパルス圧縮により1ユニットで駆動できる加速管本数を増やすなどが考えられるが、いずれも既存の技術開発で、新技術によるコスト削減方法は見いだせなかった。	
ダンピングリング	DR	TDR以降、大型放射光施設の高度化計画が進み、消費電力を軽減するために、電磁石を永久磁石で置き換えるR&Dが進んでいる。ILC-DRやRTMLにおいても、永久磁石化による運転コストの削減が見込まれる。	1. 永久磁石型可変式偏向磁石 2. 同四極磁石
RTML	RTML		
主線形加速器	ML	主線形加速器の主要構成部品であるクライオモジュール、超伝導空洞、入力カプラ、周波数チューナー、大電力高周波源システムなどにおいて、コスト低減化の可能性について調査を行った。 低コスト・ニオブ材や高電界・低損失実現のための表面処理などのコスト削減方法を見出した。	1. 低コスト・ニオブ材料の活用による超伝導高周波空洞材料の低価格化 2. 高電界・低損失実現のための超伝導高周波空洞の表面処理(N-Infusion) 3. 入力カプラ 4. 電解研磨 5. 超伝導薄膜 6. 液圧成形
ビーム供給・最終収束系	BDS	TDR以後も最終収束電磁石システムの小型化に伴うR&Dが進行中であり、それに伴うコスト削減効果を検討したが、コスト削減効果は見込めなかった。偏向電磁石を永久磁石に置きかえることで運転コストの削減が見込まれる。	永久磁石型可変式偏向磁石
加速器土木	CFS-civil	コスト削減に大きな効果をもつ事項は、地下施設の掘削量の削減と掘削スケジュールの短縮であり、今の時点で掘削スケジュールの短縮の方法は、 (1)前方切羽の高速地質探査によるリスク回避 (2)トンネル掘削のスピードアップによるスケジュール短縮 (3)高速大量ズリだしによるスケジュール短縮 (4)覆工コンクリートの高速施工によるスケジュール短縮 (5)合理的な中央遮蔽壁建設によるスケジュール短縮 (6)合理的な検出器ホールと付随する垂直シャフト施工方法の選択、である。これらは新しい技術によるものではないがコストの削減の可能性はある。掘削量の削減として中央シールド壁厚変更などのコスト削減方法がある。	(1)中央シールド壁厚変更 (2)ヘリウム冷凍機配置変更 (3)検出器ホールアクセスの最適化 (4)加速器配置の最適化
測定器	Detectors	TDRに記述された内容、ならびに年2回開催されるリニアコライダの国際会議やその他の国際的研究会における研究成果発表などからコスト削減項目の調査を行った。 リターンヨーク鉄の削減や新しい超伝導線材の開発によるコスト削減が見込まれる。	鉄リターンヨークの鉄の量の削減 新しい超伝導線材の開発

2. コスト削減評価

TDR に記載されたコスト（2012 年 1 月時点のコスト）から、新しい研究開発によってどの程度コスト削減できるかを評価した。機器ごとにコスト算出の方法が異なり、また、TDR では Global Design Effort による国際的な見積もりを利用しており、現時点での物価変動や為替変動を個々の要素に繰り込むのは容易ではないためである。

ここでは、研究開発の成否（ILC に適用できるかどうか）を評価する期間と費用を見積もっている。新しい技術を使った研究開発であるため、研究開発の成否だけでなく、成功した場合のコスト削減の効果についても不確定性があることには留意が必要である。結果として、想定していたコスト削減に至らない可能性もあるため、ここでは最大限のコスト削減効果を含めて幅を持って評価している。また、研究開発による削減効果には、研究開発に必要な費用を差し引くことは行っていない。

今回の研究開発として取り上げた項目は、いずれも世界中で研究開発が進められつつあるものである。世界的な研究開発の中で日本国内で取り組む部分の期間と費用を提示している。実際のコスト削減研究開発の成功のためには国際的な協力が前提となっている。

多くの空洞や入力カプラを利用する超伝導加速器部分は、ILC に適用できる場合も、量産化について別途検討が必要である。ILC 建設の準備期間では、システムのプロトタイプを作って量産化を評価することが考えられており、今回の研究開発の費用には含まれていない。

大量生産においては、生産性の向上もコスト削減に大きく寄与する。TDR においては、ラーニングカーブなどにより大量生産の効果を取り込んでいるが、本調査研究においては具体的な大量生産によるコスト削減効果については調査の対象としていない。

1) 加速器本体（加速器土木を含む）の研究開発項目

(1) 現在コスト削減のための研究開発が進められているか、ほかの加速器プロジェクトで採用されつつある項目

下記のは、すでに ILC コスト削減のために研究開発が進められているか、あるいはほかのプロジェクトで採用されつつある項目で、研究開発として短期的なスパンで結果を出すことが見込めるものである。

削減効果については、加速器土木を含む加速器本体の建設費用（TDR で 7,980 MILCU*、日本円換算で約 8,300 億円）に対するコスト削減の割合を示した。

*ILCU は 2012 年 1 月の米国ドルで定義される仮想通貨。

項目	研究開発に必要な期間	研究開発に必要な費用	研究開発による削減効果
低コスト・ニオブ材料の活用による超伝導高周波空洞材料の低価格化	～3 年	1.3 億円	1.2～2.5%
高電界・低損失実現のための超伝導高周波空洞の表面処理(N-Infusion)	～3 年	7.7 億円	2.7～5.5%

N-Infusion によるトンネル長の削減*			0～1.6%
N-Infusion 活用のための 高周波系の研究開発	～4年	3.7億円	0.3～0.5%
入力カプラ	～5年	0.4億円	0.5～1%
電解研磨	～3年	2.4億円	1.3～2.6%
DR および RTML、BDS での 永久磁石の利用	～3年	0.5億円	消費電力最大 10.5 MW (偏向磁石) および 9.1 MW (四極磁石)の節約

*N-Infusion が成功した場合、空洞数は 10%削減されるが、アンジュレータ方式の陽電子生成の場合は、電子と陽電子を衝突させるタイミングをそろえるためにトンネルの長さに制約が入り、トンネル長は短くならない。その場合、削減効果は見込めない。

これらの研究開発項目は、たとえば、N-Infusion が成功した場合は空洞台数が減るため材料の費用や入力カプラの個数なども減少する。このため、最終的な成果は単純な足し算としないことに注意が必要である。3～5年 で実現できる研究開発がすべて成功した場合は、前に述べたような重複効果を除くと、TDR (ILC 500 GeV) の場合、5～11%程度となる。

(2) 中長期的な研究開発課題 (10年程度の研究開発期間を要するもの)

下記の二つの研究開発項目は、2015年の ILC Progress Report^[I-2-1]にも記載されており、将来有望な研究開発項目であるが、実用化のためには、まだ 10年程度のスパンの開発期間が必要と考えられる。

項目	研究開発に必要な期間	研究開発に必要な費用	研究開発による削減効果
超伝導薄膜	10～20年	11.3億円 (10年)	10年後で 2～4%
液圧成形	～10年	3.2億円	1～2%

(3) 加速器土木関係の研究開発項目

下記のうち、中央シールド壁厚変更、ヘリウム冷凍機配置変更、測定器ホールアクセスの最適化については、TDR以降に LCC (Linear Collider Collaboration) 内で検討され ILC Progress Report^[I-2-1]に記載されている項目で、すでに概略については評価が行われているものである。削減効果については、加速器土木を含む加速器本体の建設費用 (TDR で 7,980 MILCU、日本円換算で約 8,300 億円) に対するコスト削減の割合を示した。

項目	研究開発に必要な期間	研究開発に必要な費用	研究開発による削減効果
中央シールド壁厚変更	机上検討 2ヶ月	500万円	1.5%程度

ヘリウム冷凍機配置変更	机上検討 2ヶ月	500 万円	0.1%程度
測定器ホールアクセスの最適化	机上検討 2ヶ月	500 万円	0.1%程度
加速器配置の最適化	机上検討 2ヶ月	500 万円	0.2%程度

2) 測定器本体の研究開発項目

測定器本体については、「リターンヨークの鉄の量の削減」および「新しい超伝導線材の開発」がコスト削減の可能性がある項目として挙げられている。コスト削減に関する検討が ILC の LCC 内でも検討が始まったところであり、コスト削減の効果の評価についてはまだ見極められていない。

3) 超伝導加速以外の加速方式

今回、常伝導リニアコライダー (CLIC) およびプラズマ加速についても調査を行った。CLIC は ILC より高い衝突エネルギー (3 TeV) を最終ゴールとしており、まだ研究開発が必要な段階である。コスト的には誤差の範囲で ILC と同じと評価された。プラズマ加速については、コスト削減の効果は見通せなかったが、将来的に有望な加速器技術と考えられる。

項目	研究開発に必要な期間	研究開発による削減効果
常伝導リニアコライダー	8 年 ^[I-2-2]	-
プラズマ加速	18~23 年 ^[I-2-3,4]	現在のところ、削減効果は見通せない。しかし、将来的に非常に有望な次世代加速器技術である。

参考文献

- [I-2-1] Linear Collider Collaboration, "The International Linear Collider Progress Report 2015", July, 2015.
- [I-2-2] Philip Burrows, "CLIC Accelerator Status and Optimisation", LCWS2017, https://agenda.linearcollider.org/event/7645/contributions/39681/attachments/32179/48789/LCWS_Oct2017.pdf
- [I-2-3] "Advanced Accelerator Development Strategy Report:DOE Advanced Accelerator Concepts Research Roadmap Workshop". <https://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1358081>
- [I-2-4] "Toward a Proposal for an Advanced Linear Collider". The Advanced and Novel Accelerators for High Energy Physics Roadmap Workshop (NAR2017). http://www.lpgp.u-psud.fr/icfaana/ANAR2017_report.pdf

(補遺)

A. ILC 250 GeV ステージングについて

1) ILC 250GeV の構成

2017年11月に国際将来加速器委員会 (ICFA: the International Committee for Future Accelerators) は、250 GeV で運用する国際リニアコライダー (ILC) の建設を支持する声明を発表した。リニアコライダー・コラボレーション (LCC: Linear Collider Collaboration) より提出されたマシンレポート^[A-1]及び物理レポート^[A-2]に基づくものである。

このマシンレポートでは、ILC 250 GeV の構成として、Option A, B, C の三つの検討がなされており、それぞれ、加速器は 250 GeV 衝突エネルギーを実現するものであるが、Option A が 250 GeV 用のトンネルであるのに対し、Option B および C では、350 GeV および 500 GeV にエネルギー増強可能なシンプルなトンネル (中央部の隔壁がなく、また、空調もない) を含んだ構成となっている。いずれの場合も主線形加速器部分の長さが半分となり、全長が 20 km 程度となる。(図 A-1)

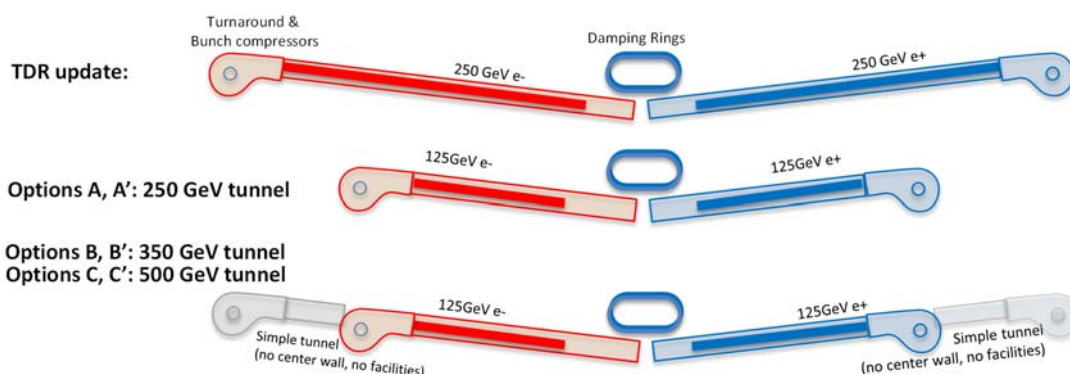


図 A-1 ILC 250 GeV で検討されている加速器形状の模式図 (出典: 文献 A-1)

また、本調査研究でも取り上げた、以下の研究開発が成功した場合のコスト削減の効果も繰り込んだコスト見積もりも行われている。

- 低コスト・ニオブ材料の活用による超伝導高周波空洞材料の低価格化
- 高電界・低損失実現のための超伝導高周波空洞の表面処理 (N-Infusion)
- 入力カプラ
- 電解研磨

これらは、Option A', B', C' と定義されている。Option A~C, A'~C' のコストについては、本調査研究と同様、TDR のコストとの比較において算出されている (TDR と同時期の物価、為替レートなどを前提に比較されている。)。見積もられているコストについて表 A-1 にまとめる。Option A の建設コスト 5,260 MILCU および研究開発が成功した場合を繰り込んだ Option A' の建設コスト 4,780 MILCU は、TDR の建設 7,980 MILCU から 8,300 億円を算出した割合 ($\times 8,309/7,980$) から算出すると、それぞれ 5,477 億円、4,977 億円となる。

表 A-1 ILC 250 GeV のコスト見積もり (出典：文献 A-1)

	e+/e- collision [GeV]	Tunnel Space for [GeV]	Value Total (MILCU)	Reduction [%]
TDR	250/250	500	7,980	0
TDR update	250/250	500	7,950	-0.4
Option A	125/125	250	5,260	-34
Option B	125/125	350	5,350	-33
Option C	125/125	500	5,470	-31.5
Option A'	125/125	250	4,780	-40
Option B'	125/125	350	4,870	-39
Option C'	125/125	500	4,990	-37.5

2) ILC 250 GeV におけるコスト削減効果

削減効果は、Option A のコスト 5,260 MILCU の日本円への TDR 当時の単純換算 5,470 億円に対するコスト削減による割合で示している。ILC 250 GeV の場合は、主線形加速器の長さが約半分となるため、超伝導直線加速器部分に関するコスト削減額は約半額となる。(全体の建設コスト自身も下がるため、ILC 500 GeV の場合と比較すると ILC 250 GeV の場合の削減効果の割合は 80%程度となる)

項目	研究開発による ILC 250 GeV における削減効果
低コスト・ニオブ材料の活用による超伝導高周波空洞材料の低価格化	0.9~1.9%
高電界・低損失実現のための超伝導高周波空洞の表面処理(N-Infusion)	2.0~4.1%
N-Infusion によるトンネル長の削減*	0~1.2%
N-Infusion 活用のための 高周波系の研究開発	0.2%~0.4%
入力カブラ	0.4~0.8%
電解研磨	1.0~2.0%

前に述べたような重複効果を除くと、ILC 250 GeV の場合、4~8%程度のコスト削減効果となる。

また、加速器土木に関するコスト削減については、TDR 以降に LCC 内で検討され ILC Progress Report^[A-3]に記載されている項目で、これらの提案を含んだものとなり新たに削減されるものではない。

参考文献

- [A-1] L. Evans and S. Michizono, "Machine Staging Report 2017", arXiv: 1711.00568 [hep-ex].
- [A-2] K. Fujii, et al. [LCC Physics Working Group], "Physics Case for the 250 GeV Stage of the International Linear Collider", arXiv:1710.07621 [hep-ex].
- [A-3] Linear Collider Collaboration, "The International Linear Collider Progress Report 2015", July, 2015.