

技術設計報告書(TDR)及び国際リニアコライダー加速器のステージングに関する報告書2017の概要

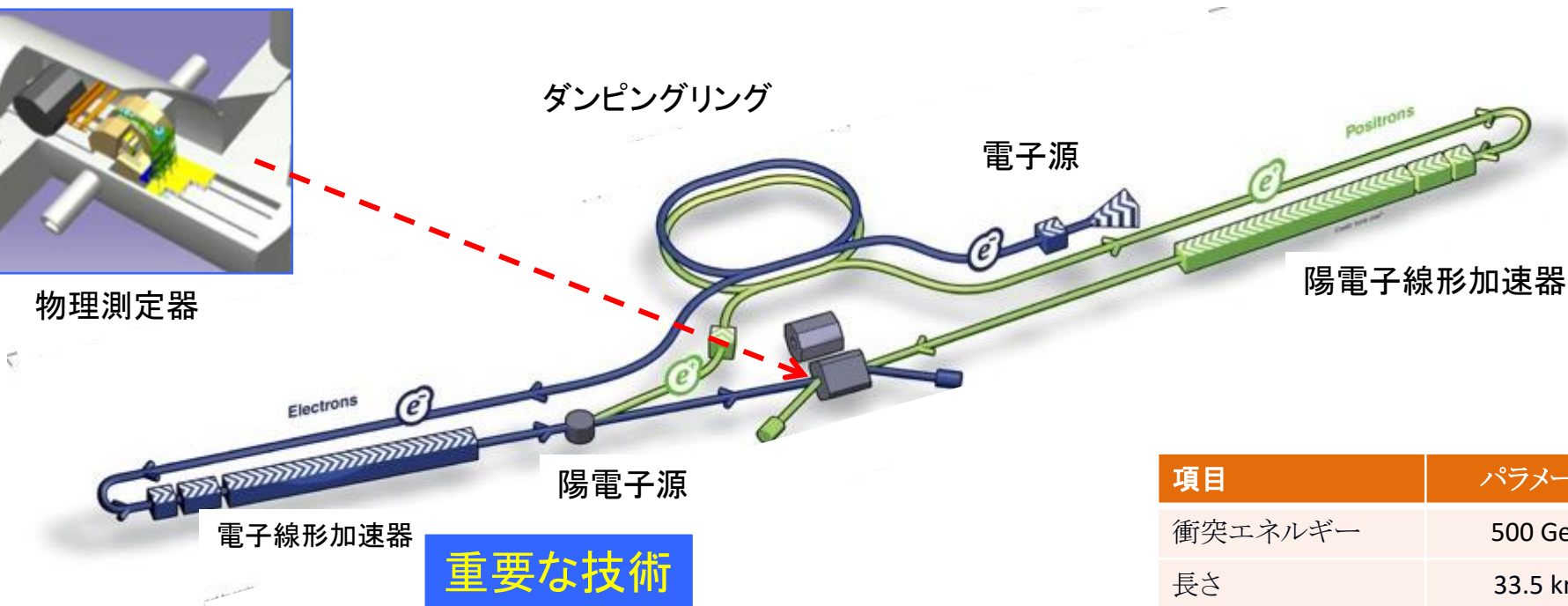
資料 5

道園真一郎

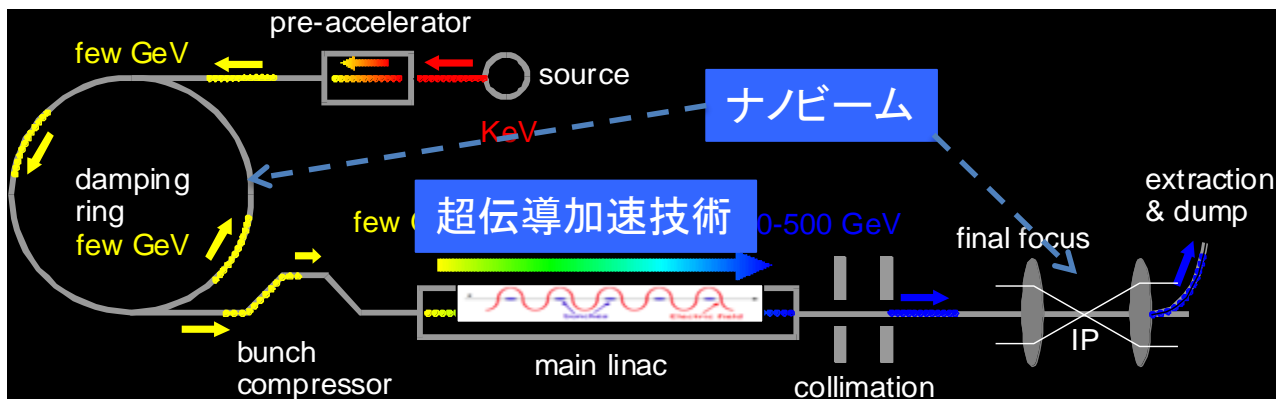
LCC ILC研究グループリーダー
KEK加速器研究施設

- TDR概略
- ILC250GeVステージング
 - ステージング
 - コストダウンR&D
 - ステージングコスト

TDRにおけるILC概略



| 項目 | パラメータ |
|-------------------|---|
| 衝突エネルギー | 500 GeV |
| 長さ | 33.5 km |
| ルミノシティ | $1.8 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ |
| 繰り返し | 5 Hz |
| ビームパルス幅 | 0.73 ms |
| ビーム電流 | 5.8 mA (in pulse) |
| 衝突点ビームサイズ | 5.9 nm |
| 超伝導空洞の電界 空洞のQ値 | 31.5 MV/m $Q_0 = 1 \times 10^{10}$ |



リニアコライダーコラボレーション(LCC)

ICFA (International Committee for Future Accelerators)
将来加速器国際委員会

Linear Collider Board (LCB)
(リニアコライダー国際推進委員会)
中田達也



LCC

Linear Collider Collaboration
リニアコライダーコラボレーション

ディレクター
Lyn Evans
リン・エバンス

副ディレクター
村山齊

ILC 研究リーダー
道園真一郎

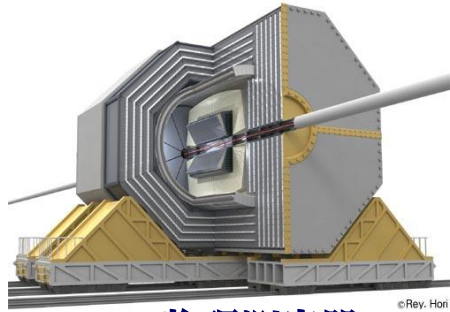
CLIC 研究リーダー
Steinar Stapnes
スタイナー・スタップネス

物理・測定器リーダー
Jim Brau
ジム・ブラウ



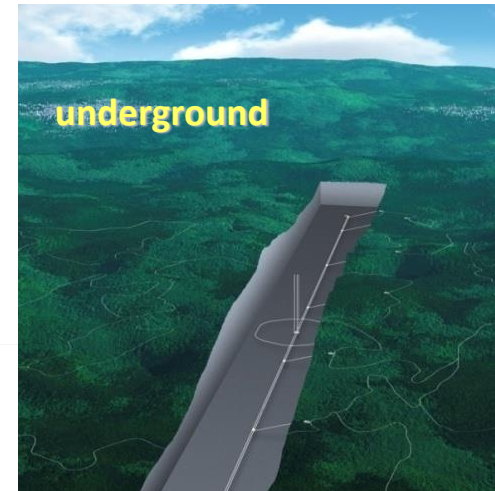
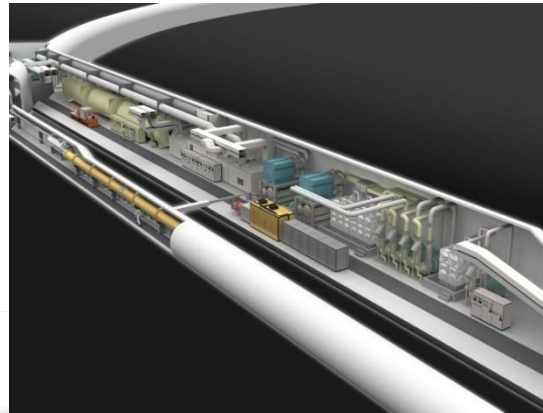
TDR検証部会 (2018/01/30)

ILCの模式図

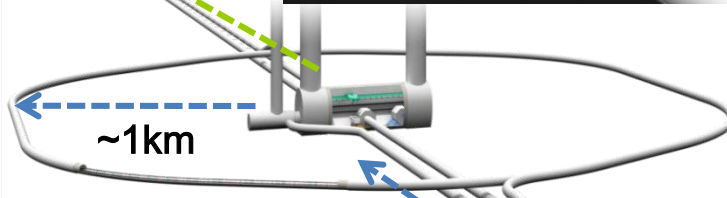
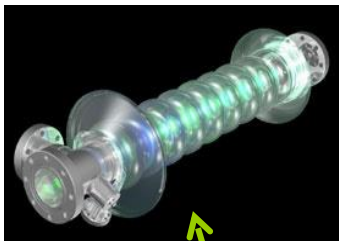


物理測定器

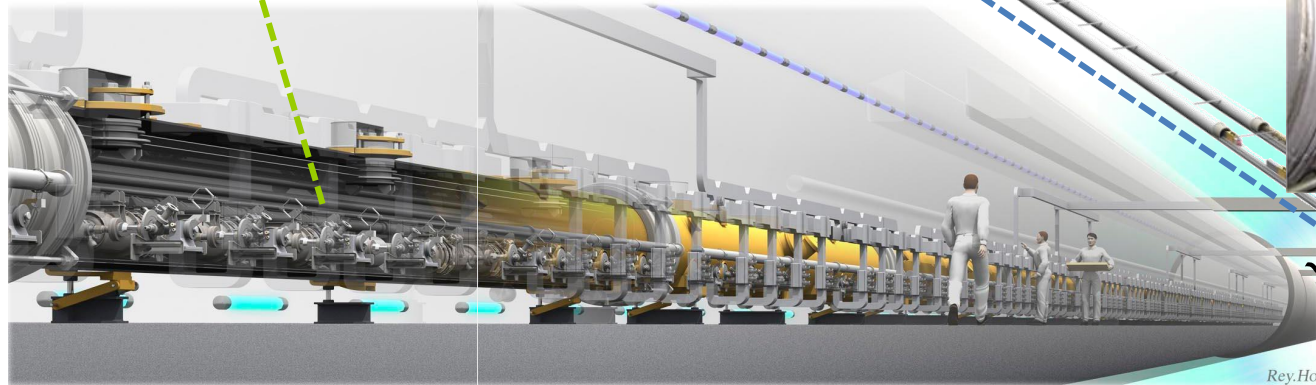
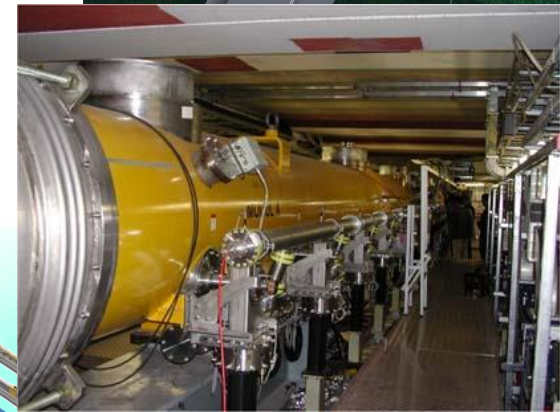
約16,000個の超伝導空洞



underground



~1km



~16km

Rey.Hori

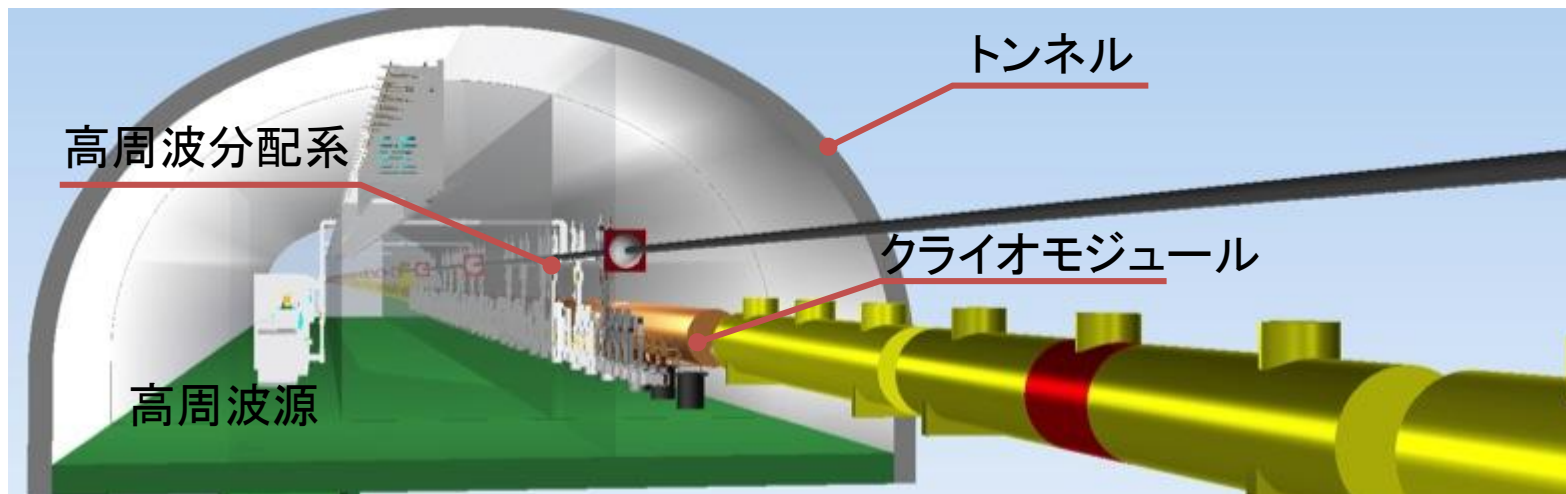
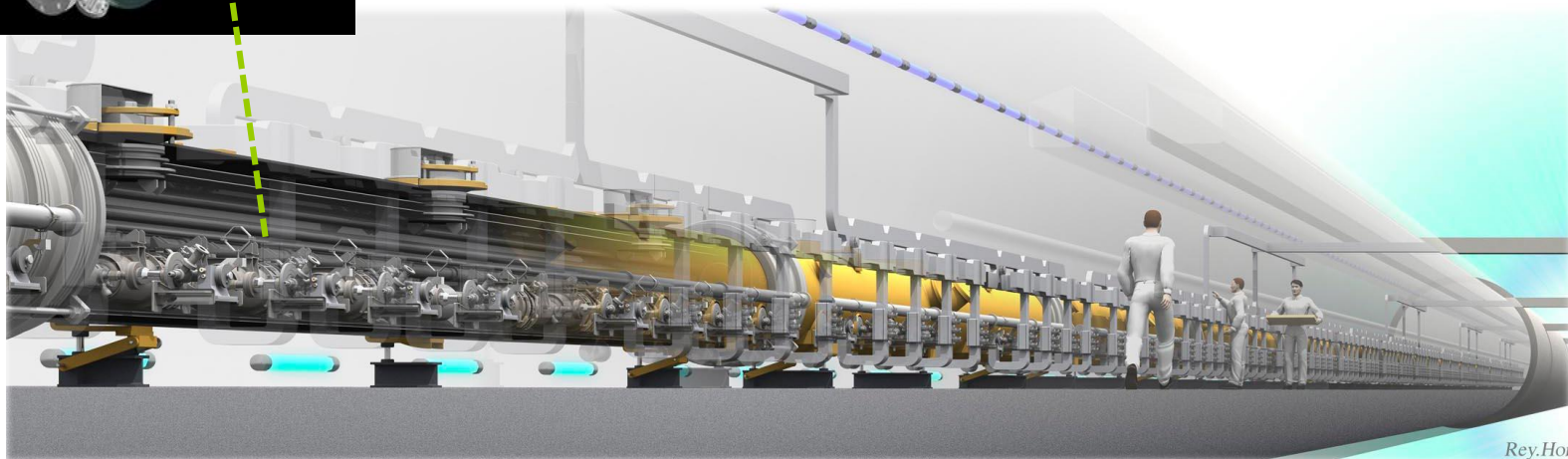
Rey.Hori

ILCは地下部分に片側16km程度ずつのトンネルで、超伝導加速技術を使って電子・陽電子を加速し、中央部分の測定器で衝突実験を行う。

ILCの線形加速器



クライオモジュールと呼ばれる低温容器にニオブ製の超伝導空洞を収め、2Kの低温状態で高周波を投入し電子や陽電子を加速する。



地下トンネルの断面図

世界の超伝導電子加速器



FNAL/ANL

◎SLAC

◎Cornell
◎JLab

現在建設中
35クライオモジュール
280空洞
4GeV(CW)



X-FEL
X-Ray Free-Electron Laser

2017年よりビーム運転開始
100クライオモジュール
800空洞
17.5GeV(パルス)

◎DESY

LAL/

SACLAY

◎INFN Milano

◎IHEP

◎KEK



1.3GHz 9セル空洞

ILC建設費用の見積り (1)

国際リニアコライダー(ILC)に関する有識者会議(第3回) 配付資料より抜粋

(前提条件)

仮想通貨「ILCU」を置いて設定。ILCUは2012年1月現在の購買力平価を基に、1ILCU=1米ドルを基準としている。

国際入札を考慮して「1ユーロ=115円、1ドル=100円」を仮定して日本円へ換算した金額は以下の通り。

また、労務費はTDR上では人時で換算されているものを金額へ換算している。

(1) 本体建設費 9,907億円 (TDR記載項目)

(内訳)

土木建築 1,600億円 (工事費)

加速器本体 6,709億円 (超伝導加速空洞・設備費等)

労務費 1,598億円 (=22,892千人時 (TDRでは金額換算はされていない))

今回のコスト検討では、加速器本体の建設コストに対する削減を評価

8,309億円

(2) 測定器関係経費 1,005億円 (TDR記載項目)

(内訳)

測定器本体 766億円

労務費 239億円 (=3,651千人時 (TDRでは金額換算はされていない))

ILC建設費用の見積り (2)

国際リニアコライダー(ILC)に関する有識者会議(第3回) 配付資料より抜粋

(3) その他付随経費 (TDR 未記載項目)

- ・ 準備経費 (設計費用のほか、人材養成・技術移転関連経費等)
- ・ 土地取得経費
- ・ 上記の他、海外研究者の生活環境の整備、アクセス道路、ライフライン等のインフラ、計算機センター等の経費

(4) 不定性相当経費 建設経費の約 25% (TDR 記載項目)

※不定性：コスト見積りの精度に関するもののみを指し、技術リスク、工事期間の延長リスク、市場リスク等に伴うコスト増加分は含まれない。

(5) 年間運転経費 491 億円 (TDR 記載項目)

(内訳)

光熱水料、保守 390 億円

労務費 101 億円 (=850 人/年 (TDR では金額換算はされていない))

なお、実験終了後の解体経費に関しては、現時点で算定されていない。

加速器及び物理のレポート

<https://arxiv.org/abs/1711.00568>

KEK 2017-3
DESY 17-180
CERN-ACC-2017-0097

The International Linear Collider Machine Staging Report 2017

Addendum to the International Linear Collider Technical Design Report published in 2013

ILC250GeV

陽電子源

コストダウンR&D 等について記載

Linear Collider Collaboration / October, 2017
Editors:Lyn Evans and Shinichiro Michizono

<https://arxiv.org/abs/1710.07621>

DESY-17-155
KEK Preprint 2017-31
LAL 17-059
SLAC-PUB-17161
October 2017

Physics Case for the 250 GeV Stage of the International Linear Collider

LCC PHYSICS WORKING GROUP

KEISUKE FUJII¹, CHRISTOPHE GROJEAN^{2,3}, MICHAEL E. PESKIN⁴
(CONVENERS); TIM BARKLOW⁴, YUANNING GAO⁵, SHINYA KANEMURA⁶,
HYUNGDO KIM⁷, JENNY LIST², MIHOKO NOJIRI^{1,8}, MAXIM PERELSTEIN⁹,
ROMAN PÖSCHL¹⁰, JÜRGEN REUTER², FRANK SIMON¹¹, TOMOHIKO TANABE¹²,
JAMES D. WELLS¹³, JAEHOON YU¹⁴, MIKAEL BERGGREN²,
MORITZ HABERMEHL², SUNGHOON JUNG⁷, ROBERT KARL²,
TOMOHIKA OGAWA¹, JUNPING TIAN¹²; JAMES BRAU¹⁵,
HITOSHI MURAYAMA^{8,16,17} (EX OFFICIO)

ABSTRACT

The International Linear Collider is now proposed with a staged machine design, with the first stage at 250 GeV with a luminosity goal of 2 ab^{-1} . In this paper, we review the physics expectations for this machine. These include precision measurements of Higgs boson couplings, searches for exotic Higgs decays, other searches for particles that decay with zero or small visible energy, and measurements of e^+e^- annihilation to W^+W^- and 2-fermion states with improved sensitivity. A summary table gives projections for the achievable levels of precision based on the latest full simulation studies.

arXiv:1710.07621v1 [hep-ex] 20 Oct 2017

LCB/ICFAのステートメント

Conclusions on the 250 GeV ILC as a Higgs Factory proposed

by the Japanese HEP community

- Short Summary -

Linear Collider Board

8 November 2017, Rev 1

<http://icfa.fnal.gov/wp-content/uploads/LCB-Short-Conclusion-Nov2017.pdf>

http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/2017/11/10/20171110_LCB_Japanese.pdf

Physics studies by the Linear Collider Collaboration Physics and Detector Group [1], and the Japanese Association of High Energy Physicists (JAHEP) [2] show a compelling physics case for constructing an ILC at 250 GeV centre of mass energy as a Higgs factory. The cost of such a machine is estimated to be lower by up to 40% compared to the originally

proposed ILC at 500 GeV [3]. The acceleration technology of the ILC is now well established thanks to the experience gained from the successful construction of the European XFEL in Hamburg. One of the unique features of a linear collider is the capability to increase the operating energy by improving the acceleration technology and/or extending the tunnel length. For these reasons, the Linear Collider Board strongly supports the JAHEP proposal

[4] to construct the ILC at 250 GeV in Japan and encourages the Japanese government to give the proposal serious consideration for a time.

In recent examples of similar international projects, the majority contribution. A natural expectation would be that the construction and other infrastructure is the responsibility of the host country. A clear principle under these principles would enable Japan to share the costs with other members. It would also allow members of the international community to discuss with their own governments on possible

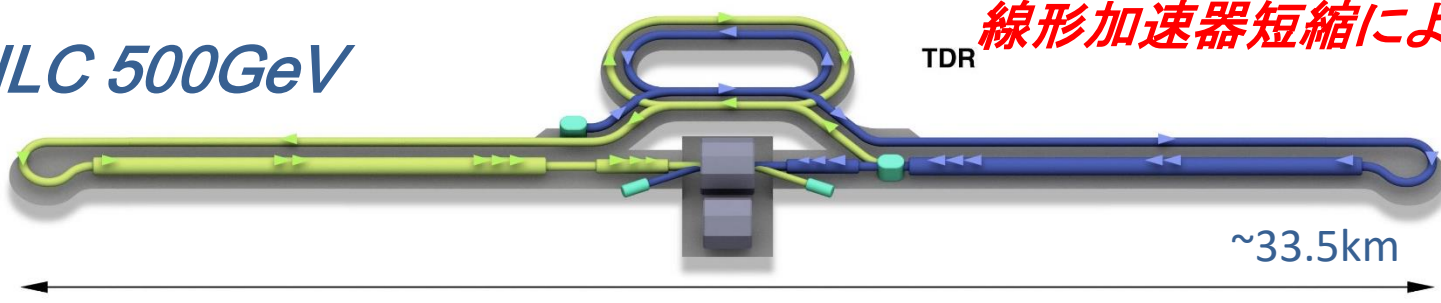
ILCの加速技術は、独ハンブルグ市にあるヨーロッパX線自由電子レーザー(European XFEL)の建設成功により得られた経験のおかげで、今や確立されています。リニアコライダー独特の特徴の1つは、加速技術の改善や、トンネル長の延長により、衝突エネルギーを向上することができる点です。

References

[1] K. Fuji et. al. (Linear Collider Collaboration). "Physics Case for the 250 GeV Stage". TDR検証部会(2018/01/30)

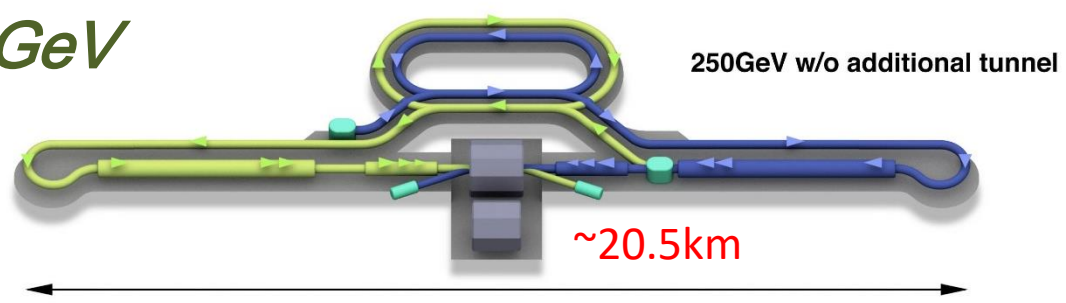
ステージング ILC250GeV

ILC 500GeV



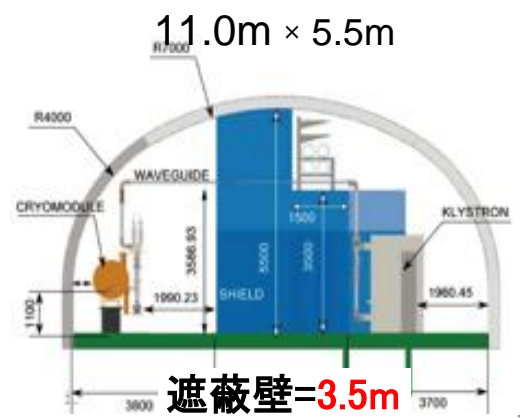
線形加速器短縮によるコスト削減

ILC 250GeV



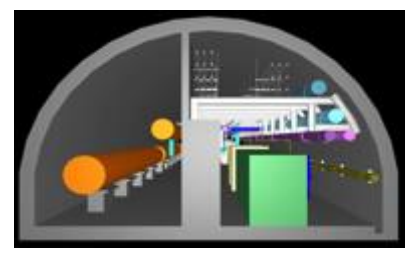
トンネル小型化によるコスト削減

TDR Baseline



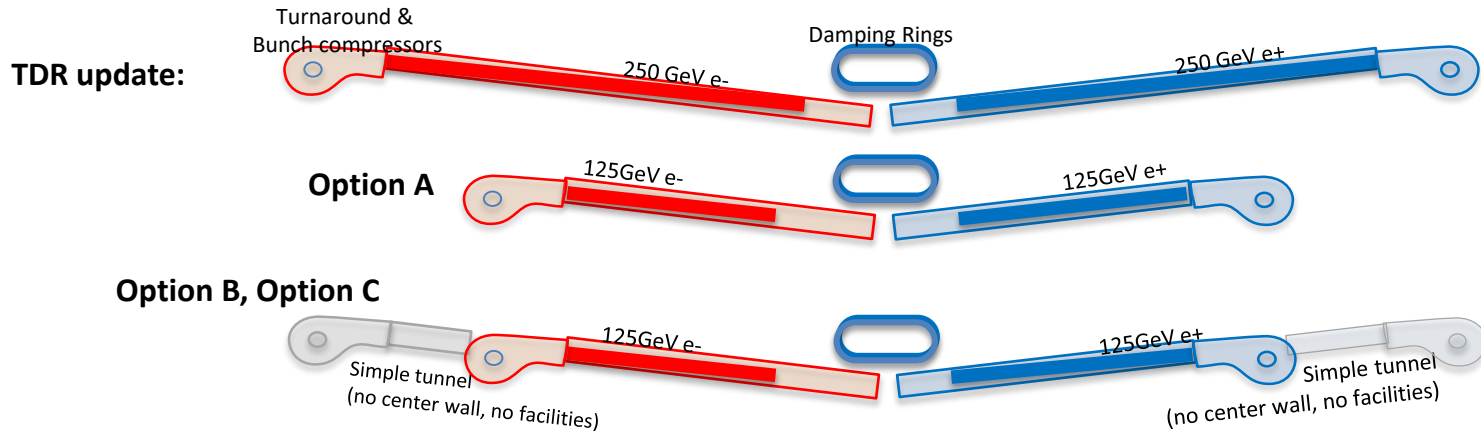
TDR' & Staging

9.5m × 5.5m



遮蔽壁=1.5m

オプションA/B/C



Option A: 250 GeV 加速器・トンネル

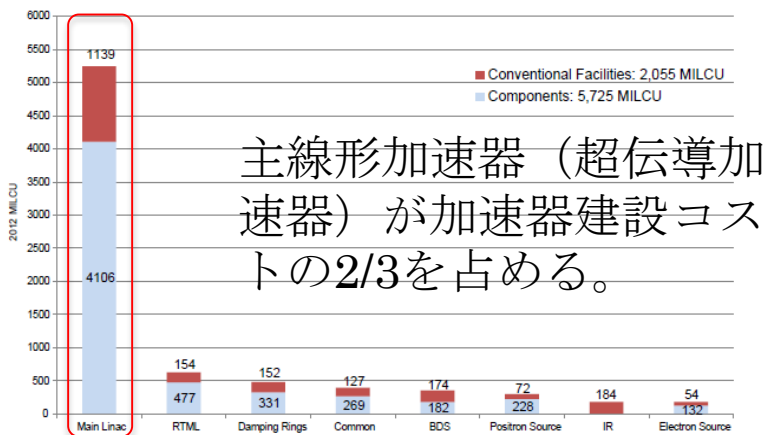
Option B: 250 GeV 加速器・350 GeV トンネル

Option C: 250 GeV 加速器・500 GeV トンネル

A', B', C': 各 A, B, C に日米 ILC コスト削減 R&D の成果を反映

| Options | Gradient [MV/m] | E_{CM} [GeV] | Total E_{CM} Margin | n | Space margin | Reserved tunnel | Total tunnel |
|------------|-----------------|----------------|-----------------------|------|--------------|-----------------|--------------|
| TDR update | 31.5 | 500 | 2% | 10 | 1,473 m | 0 m | 33.5 km |
| Option A | | 250 | 6% | 6 | 583 m | 0 m | 20.5 km |
| Option B | | | | 6&8 | | 3,238 m | 27 km |
| Option C | | | | 6&10 | | 6,477 m | 33.5 km |
| Option A' | 35 | 250 | 6% | 6 | 1,049 m | 0 m | 20.5 km |
| Option B' | | | | 6&8 | | 3,238 m | 27 km |
| Option C' | | | | 6&10 | | 6,477 m | 33.5 km |

日米ILC コスト削減R&D 技術革新によるコスト削減



主線形加速器（超伝導加速器）が加速器建設コストの2/3を占める。

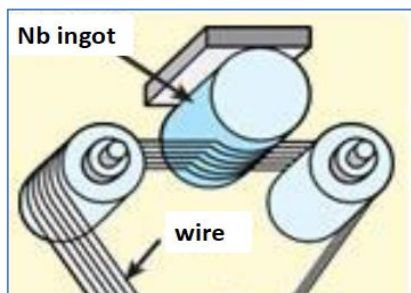
日米ディスカッショングループ（米国エネルギー省-文科省）において米国フェルミ研究所、KEKの提案について着手することを合意2019年度までR&Dを行う予定。



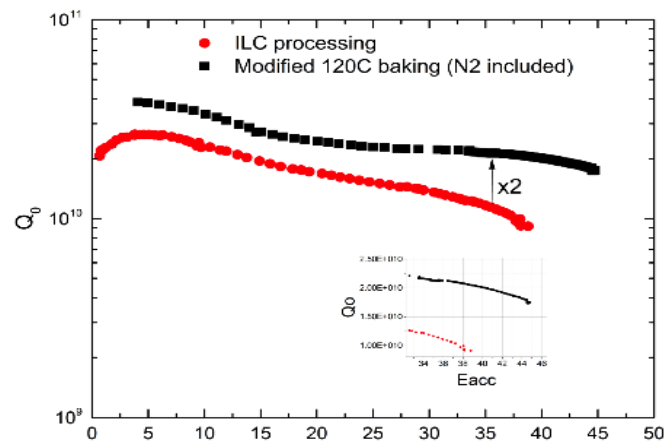
Figure 15.8. Distribution of the ILC value estimate by system and common infrastructure, in ILC Units. The numbers give the TDR estimate for each system in MILCU.

超伝導ニオブ材料の低価格化: 材料コスト削減

フェルミ研究所で開発された新技術による空洞の効率化: 使用空洞数削減



空洞に使用するニオブ材料の製造過程を工夫することで空洞材料の低価格化を目指す



フェルミ研究所のデータ
 空洞電界が10%程度増加
 空洞の高周波損失が1/2に向上

ILC250GeVの加速器費用

コスト見積もりはILCU (USD as of January, 2012)で行われた。

高周波源1ユニット当たりのコストなどユニットコストをTDRから算出。

少なくなったユニット数からTDRと比較して加速器コストを計算。

2012年からの物価変動や、数が減ることのコストへの影響は含んでいない。

Options A'/B'/C' はR&Dの効果を含む。

| | e+/e- collision [GeV] | Tunnel Space for [GeV] | Value Total (MILCU) | Reduction [%] | |
|------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------|------------------|----------|
| TDR | 250/250 | 500 | 7,980 | 0 | 8300億円 |
| 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 | 5000億円弱* |
| Option B' | 125/125 | 350 | 4,870 | -39 | |
| Option C' | 125/125 | 500 | 4,990 | -37.5 | |

*2012年時点のTDRコストから単純計算で算出した金額