

国際リニアコライダー・技術設計書 の完成と今後の展開

KEK リニアコライダー計画推進室

山本 明

akira.yamaoto@kek.jp

2013年2月28日

1 はじめに

国際リニアコライダー (ILC) 技術設計書 (Advanced Draft) が完成し、2012年12月15日に、ILC 運営委員会 (ILC Steering Committee; ILCSC) に提出されました[1]。このドラフトは、永年にわたる研究開発・技術設計と、様々な技術レビューを経たうえで完成したものです。特に、2007年に出版された『ILC 概念設計書 (ILC-RDR)』[2]をガイドラインとして推進されてきた技術開発・技術設計の集大成となる今回の技術設計書の完成は、ILC 建設実現に向けた大きな一歩であり、今後の詳細設計を経た計画の具体化への基礎となるものです。これまでの経過を図1に示します。ILC 技術設計書は、第一巻『ILC の物理』、第二巻『加速器：パート1 & 2』、第三巻『物理と測定器の詳細ベースライン設計』の三巻構成となっていますが、ここでは、第二巻に焦点を絞って報告します。

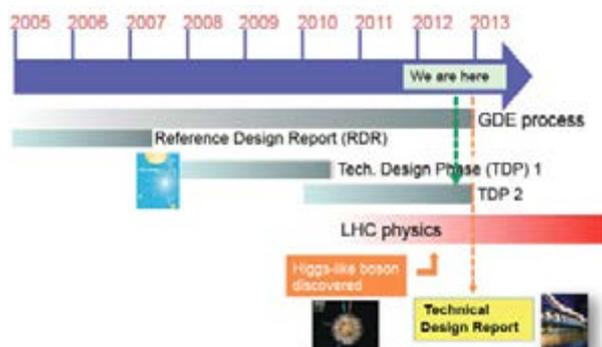


図1. ILC 計画実現に向けた、技術開発、技術設計の進展。

2 加速器技術開発の進展

2.1 超伝導加速空洞技術およびビーム加速

超伝導高周波 (SCRF) 空洞技術によるビーム加速は、ILC においてもっとも重要な加速器基盤技術であり、(1) 加速空洞・電場勾配、(2) クライオモジュールシステム性能、そして (3) 超伝導加速空洞によるビーム加速について、2007年からの技術設計フェーズに、技術開発が進められました。この結果として、超伝導加速空洞電界 ($35 \text{ MV/m} \pm 20\%$) 性能の達成率 94%、平均勾配 37.1 MV/m を達成することができました。またクライオモジュールシステム試験では、KEK がホストした国際クライオモジュール (S1-Global) 組み立ておよび性能実証試験に Fermilab, DESY, INFN, SLAC の協力、貢献を得て成功しました (図2)。超伝導加

速空洞を基盤としたビーム加速実証試験では、DESY-FLASH および KEK-STF 量子ビームプロジェクトにおいて表1に示すように、実証試験に成功しました[3]。



図2. 技術設計フェーズにおいて KEK がホストした国際クライオモジュール試験 (S1-Global) における実験の様子。

表1. SCRF テスト施設によるビーム実証試験

Subject	R&D goal	Achievement	Facility
- High beam power and long bunch trains (Feb. 2009)			
Pulse current	9 mA	9 mA	FLASH
Bunches per pulse	$2400 \times 3 \text{ nC}$	$1800 \times 3 \text{ nC}$ $2400 \times 2 \text{ nC}$	FLASH
Cavity gradient	$31.5 \text{ MV/m} \pm 20\%$	$> 30 \text{ MV/m}$ with 4 cavities	FLASH
- Gradient operating margins (Feb. 2012):			
Gradient flatness	$2\% \Delta V/V$ (0.8ms, 5.8mA)	$< 0.3\% \Delta V/V$ (0.8ms, 4.5mA)	FLASH
Gradient margin	3% to quench limit	5% to limit (0.8ms, 4.5mA)	FLASH
Energy stability	0.1% rms	$< 0.15\%$ (0.4ms) $< 0.02\%$ (5 Hz)	FLASH
- Beam duration (April 2012):			
Pulse width	1 ms	1ms	STFQB

2.2 ナノビーム技術

KEK がホストする加速器試験施設 (ATF) では、ILC が求める超低エミッタンス・ナノビーム技術の実証試験が推進されてきました。技術設計フェーズでは、特に最終ビーム収束におけるナノビームサイズ実証試験が進展し、ビームエネルギーの条件を考慮したうえで、ILC が求めるビー

ムサイズ (5 ナノメータ) に対応する ATF での目標ビームサイズ (37 ナノメータ) の 2 倍に相当する 70 ナノメータの実証試験に成功しています[4]。

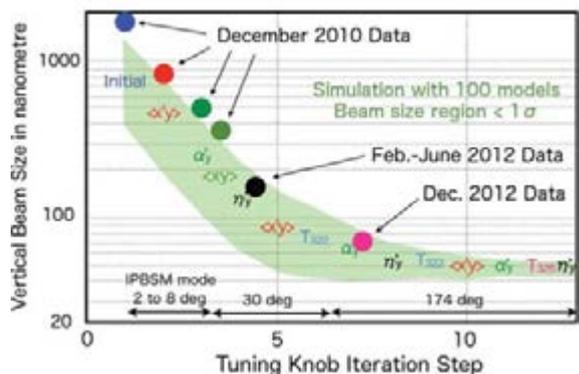


図3. ATF最終収束におけるナノビームサイズ実証試験の推移。

3 ILC 技術設計書における加速器設計

ILC 加速器設計は、技術設計段階で目標性能をほぼ維持しつつ、建設コスト節約を目指して設計が改訂されました。表 2 に設計の比較を示します。

表 2. ILC 加速器設計パラメータの進展

Parameter	RDR (2007)	TDR (2012)
Energy (GeV)	500	500
L (cm ² s ⁻¹)	2 × 20 ³⁴	1.5 × 20 ³⁴
Beam current (mA)	9	5.8
Beam Rep. (Hz)	5	5
Bunch spacing (ns)	369	554
Bunch train length (μs)	1.0	0.727
Number of bunches	2,625	1,312
Cav. Grad. (MV/m)	31.5	31.5
# 9-cell cavity	15,941	16,024
# Cryomodule	1,824	1,855
# RF Station	646	413 (KCS) / 378 (DKS)
# Cryogenic station	10	12 (KCS) / 10 (DKS)

技術設計書における加速器設計は、重心系衝突エネルギーとして 500 (2 × 250) GeV を堅持しつつ、Higgs Factory を意識した低エネルギーからのスタート、および将来 1 TeV へのアップグレードに向けた設計の進展に対応できるよう配慮されています。図 4 に、技術設計書における加速器設計レイアウトを示します。

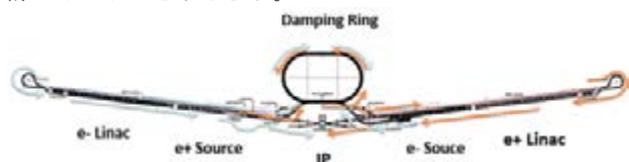


図 4. ILC 技術設計書における加速器レイアウト。

4 今後の展開

ILC 技術設計書の完成によって、ILC 国際共同設計チーム(Global Design Effort: GDE)の役割は完了し、ILC 計画を具体化するための体制への移行を図ることになります。2 月に開催された ILCSC 会議において、その移行が決定され、新たに Linear Collider Board (LCB) がその活動を引き継ぎ、駒宮幸男氏 (東京大学) が委員長を務めます。またその基に、国際協力実施組織として、Linear Collider Collaboration (LCC) が設置され、加速器、物理実験を統括する Director として、Lyn Evans 氏が就任しました。そして、図 5 に示すように、ILC, CLIC そして Physics/Detector が組織化され活動します。今後、6 月までを移行期間とし、この間に、技術設計書が最終化され、GDE の活動は、6 月 12 日に予定されている、ILC Special Event をもって完了します。

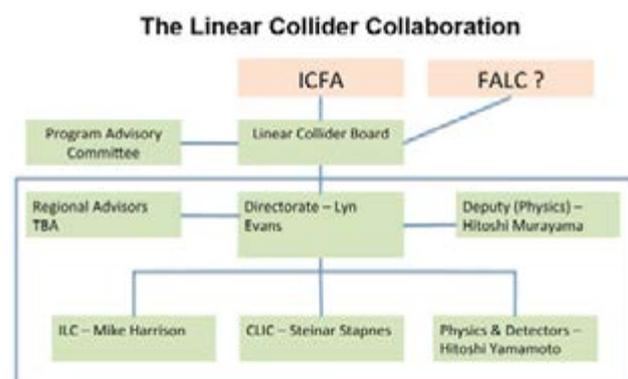


図 5. 新たに活動を開始した Linear Collider Collaboration の国際協力組織の体制。

謝辞

ILC-GDE による ILC 技術設計フェーズ (2007~2012 年) において国際協力による技術開発、技術設計には、皆様からの多大なご協力を頂きました。また技術設計書の完成は皆様のご協力の結晶として成し得たものと信じます。深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] International Linear Collider, <http://www.linearcollider.org>
- [2] ILC Reference Design Report (RDR), <http://www.linearcollider.org>
- [3] A. Yamamoto *et al.*, to be published in IEEE Trans. Appl. Supercon. Vol. 23 (2013).
- [4] T. Tauchi, private communication.