

STATUS OF DESIGN STUDY ON THE ILC CONVENTIONAL FACILITY

Masanobu Miyahara ^{#,A)}, Atsushi Enomoto ^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0051

Abstract

ILC-GDE announced officially the reference design report as a baseline design of the ILC facility in 2007. GDE continues working on a study about the strawman baseline as the review plan of the baseline design in search of the cost-reduction and feasibility. We proposed a new design scheme more suitable for the Japanese mountainous regions in conjunction with this work process and took an international review in June of this year. We face the work of Technical Design Phase-2 as a further technical design study during 2012 from the latter half of 2010. We report it about the change of facility design scheme and the status of ILC in this paper.

国際リニアコライダー計画・施設設計の現状

1. はじめに

国際リニアコライダー計画 (International Linear Collider 以下 ILC) は、1980 年代から日本を含む世界各地で個別に研究が進められてきた「電子陽電子衝突型線形加速器計画」を、2004 年に世界で一つの計画として統合された国際プロジェクトである。現在、この ILC 計画は、ヨーロッパ・アメリカ・アジアの三極を中心とする国際的な連携・共同により活発な開発研究や設計活動が展開されている。

ILC の実験施設に関する開発研究は、大きく分類すると測定器、加速器の二つのグループに分かれるが、これらの内、加速器の設計活動を統括して推進するために、Global Design Effort (GDE) と呼ばれる国際的な設計組織が設置され、ILC の技術開発と設計に関して中心的な役割を担っている。また、GDE の中には、施設設計を担当する CFS (Conventional Facility & Siting) グループが組織されており、衝突実験ホールや加速器トンネルなどの土木構造物から、地上施設、電気設備、機械設備 (冷却水・空調) 及び防災監視設備等に至るまで、プロジェクト全体の建設計画や施設設計を担当している。

本報告は、ILC 施設計画全般について現状を報告すると共に、現在 CFS グループが進めている ILC の基幹施設となる加速器トンネル等の地下構造物の計画に関する進捗状況について述べる。併せて、日本の CFS グループの最近の活動状況について報告し、今後の課題と展望について論じる。

2. ILC 計画の現状

2.1 RDR

ILC が国際プロジェクトとして統合されてからの活動成果として、GDE は 2007 年 8 月に基本計画書となる Reference Design Report (以下 RDR) をまとめ発表した。この報告書は、ILC がめざす物理の指標をはじめ、加速器の基本パラメータから各施設の規

模や一般構造、設備計画及びコスト概算に至るまでプロジェクトの全体計画を網羅し、文字通り ILC 計画のベースラインと位置づけられている。

しかしながら、加速器や測定器に関する要素技術の成立性と共に、建設工事を含む開発費総額の低減を図るため大幅な見直しが求められている。

2.2 SB2009 (TDP-2)

RDR をベースにコスト算出した結果、建設工事費が大幅に増大したため、主にコスト削減を求めて新たなベースライン (SB2009) が提案されている。世界的な経済情勢の悪化が影響しているものと思われるが、反面、無理なコスト削減は加速器の基本性能の低下につながり、将来の加速器運転時に悪影響を招きかねないとの懸念も指摘されている。

ここでは、現在進められている SB-2009 と RDR の仕様に関する主な相違点を図-1、表-1 にまとめる。

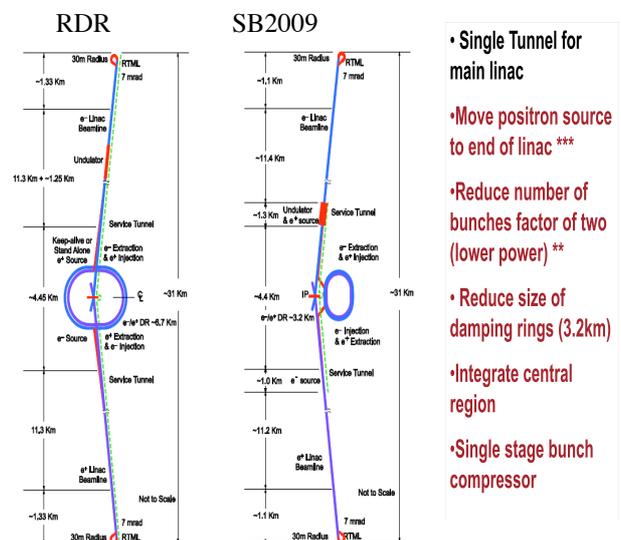


図-1 RDR から SB2009 へのレイアウト見直し

[#] masanobu@mail.kek.jp

表 1 : RDR と SB2009 の主な相違点

RDR レイアウト	項目	SB2009 レイアウト
ダブルトンネル	ML	シングルトンネル
内径 : 4.5m	ML	内径 : 5.2m
周長 : 6.4 km	DR	周長 : 3.2 km

ML:メインライナック DR:ダンピングリング

3. メインライナック計画案の変遷

3.1 RDR のダブルトンネル計画案

ILC 計画のベースラインである RDR バージョンにおいては、メインライナック (以下 ML) は、ビームラインを設置するメイントンネルとクライストロン等を収納するサービストンネルの、二本のトンネルを平行に配置するダブルトンネル構造で計画された。また、これらのトンネルは概ね地下 100メートル程度の深度に計画されており、これらのトンネルと地上施設を連絡する縦坑トンネルが約 5km 間隔で計画されている。トンネル内に設置されるクライオモジュールやクライストロンへ冷却水を循環させるために、トンネルと地上の設備プラントを結ぶ縦坑には直径 9m、トンネル掘削のための TBM マシンや完成後の実験機器インストール用として直径 14m の縦坑が計画されている。

また、両トンネル間には、導波管を通すための PENETRATION と呼ばれる連絡管路が 12 メートル間隔で計画されている。さらに研究者や保守要員のアクセス用及び緊急時の避難路となる連絡通路を 500 メートル間隔で設置する計画とされている。

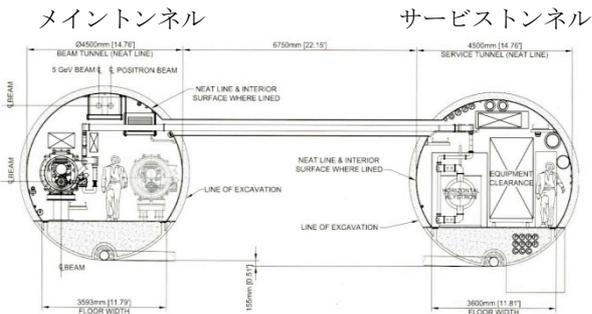


図 3 RDR の ML 断面計画

3.2 TDP (SB2009) における ML 断面計画

既述の通り、現在 GDE においては RDR のベースラインを大幅に見直し、最終的には 2012 年度末に TDR(Technical Design Report)としての終結を目指している。現在は、そのたたき台となる SB2009 案について様々な分野での精査が続けられている。

見直しの最大のポイントは、ダブルトンネルからシングルトンネルへという大きなデザインスキームの変更である。この変更要求に対する検討の中で、これまでの経緯をまとめると、KCS (クライストロンクラスターシステム) と DRFS (ディストリビューティッド RF システム) の二つの流れがある。

KCS は、RDR においてはサービストンネルに収納される計画のクライストロン等の高周波装置を全て地上に配置する方式である。これに対し、DRFS は大規模な地上施設を作らず、全ての機器をビームトンネル内に分散して配置する方式である。日本提案によるこの DRFS 方式は、複雑な地形を有する山岳地帯での建設を想定している日本での ILC 建設にとって、極めて重要な基本要件のひとつである。

アメリカとヨーロッパは共に KCS 方式を中心に検討を進めているが、ここでは代表してアメリカ案の標準断面を図 4 に示す。この案は形状的にも SB2009 の理念に沿い、地下施設をビームトンネルのみとする文字通りのシングルトンネル計画案である。ヨーロッパ案も基本構成は類似しているが、大きな相違点としては、アメリカ案が送排気ダクトスペースとしてトンネル床版下部を利用しているのに対して、ヨーロッパ案はトンネル天頂部を利用している点である。この違いは、ここでは詳述を割愛するが、トンネル内での火災やヘリウム漏洩などの非常事態が発生した際の防災・安全対策に対する考え方の相違とも関係しているものと思われる。

欧米両サイトの計画案は、敷地全域がほぼフラットな台地上を想定して計画されている点で共通している。そのため、地下トンネルに供給する電力、空調及び冷却水等を供給する設備プラントの大半が大規模な地上施設として計画されている。

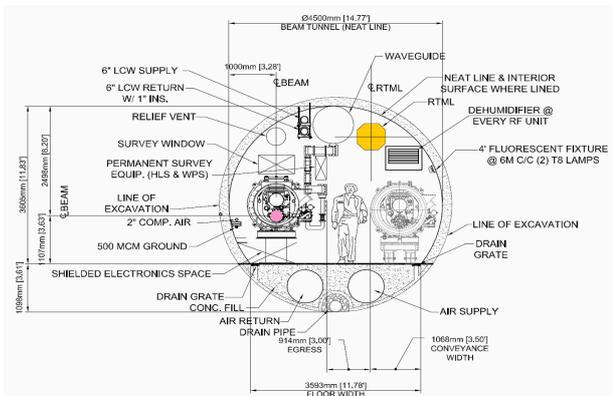


図 4 アメリカ KCS 計画断面

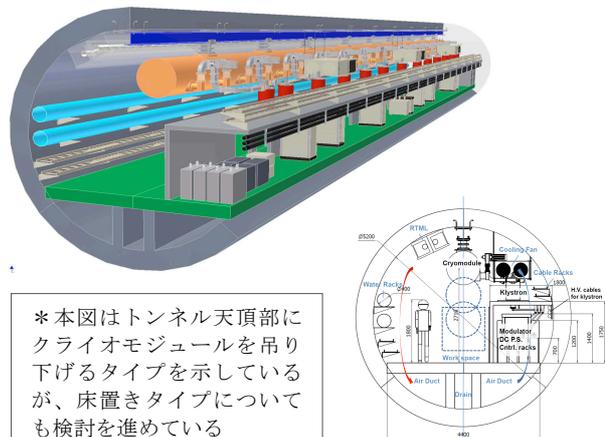


図 5 日本 DRFS 計画断面

3.3 日本版シングルトンネル計画案

我が国においては、2004年にILCとして統合される遙か以前から、リアコライダー加速器の国内での建設をめざし地道な研究を重ねてきた経緯がある。当初の検討では、地下トンネルへのアクセス路として、地表面から一定の深度までの縦坑若しくは縦坑+水平トンネルを前提に推移してきた経緯がある。

しかし、その後アメリカとヨーロッパの両計画サイトに比べ、日本の候補サイトが、いずれも複雑な地表地形を有する異質のサイト条件を呈していることが浮き彫りになった。このような背景から、国際標準設計に捉われず、サイト固有の条件に最適な計画案を追求するべきではないかとの機運が高まり、TDP-2段階に向けた技術検討を行った。以下、その経過と検討概要を示し、日本版シングルトンネル計画案策定のプロセスと課題抽出を試みる。

日本版シングルトンネル計画のコンセプト

- 山岳サイトのもつ豊かな緑地を保全し、自然環境への負荷を可能な限り軽減するため、地上施設の規模を出来る限り抑制する。
- サイトの複雑な地形を生かして、地下水をなるべく自然勾配で搬送し近隣河川に流下させる。
- 加速器トンネルに併行してサブトンネルを配し、地盤調査のための先進坑として機能させると共に、非常時には避難路としての活用を図る。
- 工事費の抑制を図りながらも、大深度かつ長大な地下空間の特性を把握し、安全で健康的な地下空間の創造を目指す。

以上のコンセプトに基づいて作成された、山岳地帯での日本版シングルトンネル計画案を図6に示す。

内径5.2mのメイントンネルを加速器トンネルとし、サブトンネルは地下水や冷却水の配管スペースとした。また、施工段階では先進調査坑や水抜き坑として活用し、完成後は避難坑としての役割を期待している。両トンネルは平面的に10mの離隔を想定、高さ方向には約3mのレベル差を持たせた。トンネル間は約500m毎に連絡路で結ぶ計画である。

この高低差は、メイントンネルからの地下水をサブトンネルに自然勾配で流下させることに加え、火災等での避難時にメイントンネル側の煙やHeガスを避難路に流下させないという点も考慮している。施工的には、TBM掘削を基本とするが、条件に応じてNATMその他の掘削工法を選択する。山岳サイトでは地表面の起伏が激しいため、立坑よりも斜坑トンネルによるアプローチを主として計画した。

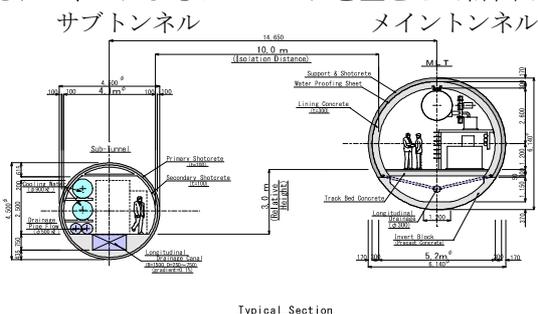


図6 日本版シングルトンネル計画案

3.4 日本案に関するCFS国際レビュー

本年6月、日本が提案している「山岳地帯におけるシングルトンネル計画案」について、GDEによる国際的なレビューが実施された。その結果、サブトンネルを併設する本案が、GDEの目指すベースラインSB2009に合致していることが確認された。また、本検討案が日本の候補サイトの地形・地質条件に立脚した現実的な計画であること、さらには我が国の高い土木技術と豊富な経験に裏付けられた充実した検討内容であることが評価された。その反面、計画内容を根拠づける具体的な地質調査データの不足や、工費費、工事スケジュール等、明快な論拠を示し得なかった部分については、今後の課題とされた。

3.5 GDEの今後の展開

GDEは、現在進行中のSB2009の総括を行った上で、2011年～2012年の約2年間で基本計画の総仕上げを行い、Technical Design Report[TDR]をまとめる見込みである。図7参照。

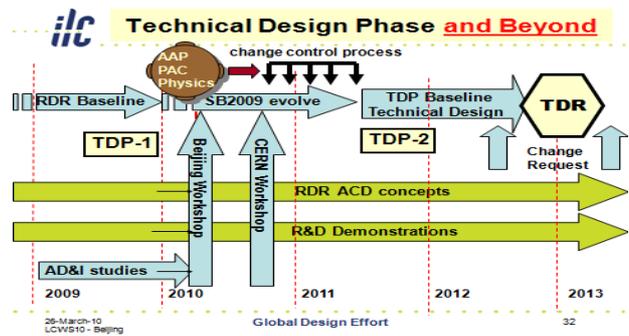


図7 GDEの今後のスケジュール

4. まとめ（今後の課題）

6月のGDE-CFSレビューは、日本が独自の視点とポリシーに基づいて極めてインパクトの強い提案を行った結果、所定の評価を得ることができた。これを契機に、今後さらなる技術検討と積極的な提案をして行くことが国内外から強く求められている。我々に課せられた主要課題を以下の通り抽出した。

TDP2に向けた今後の主な課題

- 地形・地質データに基づく詳細な設計検討
- 実験ホール及び設備用カバンの技術検討
- 地下設置のHe低温設備・冷却システムの検討
- 大深度地下空間での安全・防災システムの検討
- 建設コスト、工事スケジュールの詳細検討

今後、計画段階から設計段階に向かうにあたっては最先端の加速器装置が求める高い要求性能やインストール等の諸条件と、コストや工期を含めた現実の施設設計、建設マネジメントの間をどのように折り合いをつけて行くのか、研究者と建設技術者の連携が極めて重要になると思われる。

（謝辞）

CFSレビューに際し、日本土木学会並びに先端加速器科学技術推進協議会（AAA）技術部会・施設WGの皆様にも多大なご尽力とご協力を賜りました。この紙面をお借りして、あらためて感謝申し上げます。