

PRESENT STATUS OF THE ILC CONVENTIONAL FACILITY DESIGN

Atsushi Enomoto^{1,A)}, Masami Tanaka^{A)}, Hiroshi Chikahisa^{B)}

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

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801

^{B)} Yamaguchi University

1677-1 Yoshida, Yamaguchi-shi, Yamaguchi-ken, 753-8511

Abstract (英語)

The reference design of the international linear collider has been developed during 2006 and the first draft was reported early in February, 2007. The reference design report includes the cost information of the ILC as well as its design used for the cost estimation base. It corresponds to reports of a conceptual design level and covers all of the accelerator systems with the conventional facilities to house and service them. This report introduces the present status of the conventional facility design with a consideration of site-specific issues.

ILC施設設計の現状

1. はじめに

2004年、国際リニアコライダーILCの技術が超伝導高周波技術に決まり、翌2005年8月、ILCの国際設計チームGDE (Global Design Effort) が発足した。GDEで、ILCの施設・サイト = CFS (Conventional Facility and Siting) を担当するグループは、同年10月から、毎週TV会議をもち、活動を続けている。CFSグループは、フェルミ国立研究所 (FNAL)、スタンフォード線形加速器研究所 (SLAC)、ヨーロッパ合同原子核研究所 (CERN) の各施設エンジニアとKEKメンバーで構成されている。

GDEは、2005年、ILCの基本的な仕様をBCD (Basic Configuration Document) としてまとめ、2006年には、コストを含む「基準設計書」 (Reference Design Report) の作成に取り組んだ。最初のコスト積算が2006年7月にでき、その後の数ヶ月、コスト削減のために設計変更を行なった。主な変更点は、ダンピングリングを中央に配置したことである。

こうして、2007年2月初め、GDEはRDR (草稿) を発表した。500GeVコライダーの全長は約31km、地下トンネル総延長は72kmに達する。パルス幅約1ms、ピーク電流約9mA、繰り返し5Hzのフル運転で、サイト総使用電力は216MWである。加速器および施設の建設コストは、6.6B\$+人件費14000人年と見積もられた。RDRは、昨年秋から外部評価を受け、5月には、ICFAおよび財政局関係者による評価を受けた。

2. 基準設計書

2.1 サンプルサイト

施設設計に当たって、アジア、アメリカ、ヨーロッパ3地域に、各1か所のサンプルサイトを設定し

た。各サイトは、500GeVのリニアコライダー施設を収容すると同時に、1TeVに増強するために全長50kmの長さをもつことが求められた。「サンプルサイト」は、実在する場所であるが、最終的な候補地ではない。サンプルサイトを用いた理由は、この手続きにより、それぞれの地域が少なくとも一つのサイトを提供できることを示すこと、多様な特徴を持つ一定のサイトを評価し、実際のサイトが選ばれたとき、予期しない技術的な困難やコスト上の問題がないように準備することである。

これら3つのサイトのほか、ドイツDESY近郊サイトも検討された。また、ロシアJINR (Joint Institute for Nuclear Research) もDubna近郊サイトを提案した。基準設計書の3サイトは全て深いトンネルであるが、DESYとDubnaはどちらも浅いサイトである。浅いトンネルや開削工法 (cut-and-cover) は今後の工学設計の中で検討される。

(アメリカ・サンプルサイト)

シカゴ市街から約60km 西方にあるFNALを中心に含む南北50kmのサイトである。ダンピングリングなどILC加速器の4分の1は研究所敷地 (2751ha) に入る。地形は、標高は200mから275mの平坦な平原 (プレーリー) で、土地区分は、住宅地、研究施設、軽工業、商業地区、および、農地である。研究所敷地内の3分の2は空き地である。

加速器トンネルは、地下約100-125mのドロマイトと呼ばれる堆積岩層に建設される。この地層は、上部の低透水係数の頁岩層により乾燥した地質で、オープン型のTBM (tunnel boring machine) で掘削される。平均掘削速度は30m/日である。

¹ E-mail: atsushi.enomoto@kek.jp

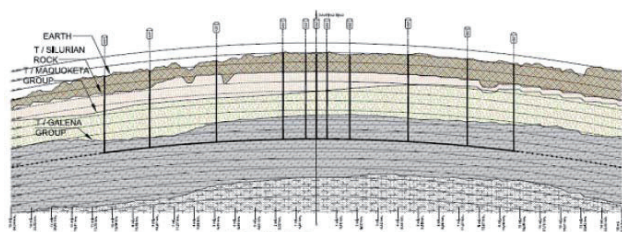


図1 アメリカ・サンプルサイト地層断面図

(アジア・サンプルサイト)

アジアのサンプルサイトは、均質で硬い岩盤をもった、なだらかな日本の高原地帯にある。研究者による本格的なサイト検討は2000年夏に始まり、2002年10月報告書がまとめられた。候補地は、加速器の性能を保障する立場から、地質、地形を重視し、特に地盤振動、活断層、断層などの不良地質、過去の地震、火山活動の認知できる場所を避けるなどの基準を中心に選定された。今回、ILC基準設計書のサンプルサイトとして採用した候補地は、これらの中から、特に新たな検討を必要とせず、全長50km以上のルートを取ることが可能なサイトを選んだ。

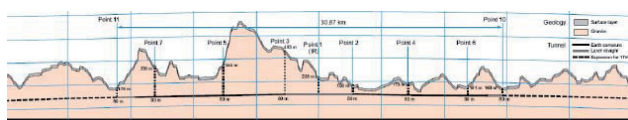


図2 アジア・サンプルサイト地層断面図

地層は表土、風化した花崗岩の下は安定した硬い花崗岩の岩盤である。トンネルはこの硬い花崗岩の岩盤に建設される。風化層を避け、かつ、地圧が高くなりすぎないように、トンネルの土被りが40mから600mとなるルートを選んだ。地表は、ほとんど森で占められ、その一部が農耕地である。1TeV拡張時、一部堆積岩層を通過する。オープン型のTBMで掘削し、平均掘削速度15m/日程度を想定する。

(ヨーロッパ・サンプルサイト)

ジュラ山地のふもと、CERN近郊のサイトで、加速器はスイスとフランスの国境を3度横切る。標高は海拔430から500mである。加速器の周りは主として農耕地といくらかの森に覆われている。

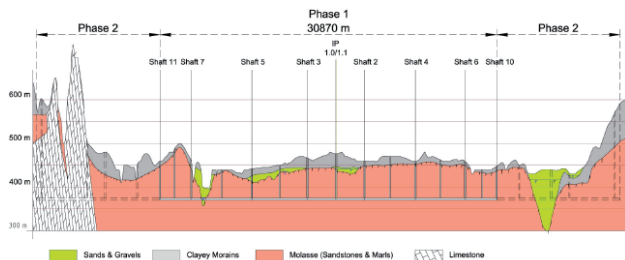


図3 ヨーロッパ・サンプルサイト地層断面図

トンネルはモラッセと呼ばれる不透水性の砂岩層の標高370mのところ建設される。トンネルはシールド型トンネル掘削機(TBM-S)で掘削する。1

か所、溪谷(地下水水位下の砂と砂利の層)を横切る区間がある。この区間は、湿式の複合シールド型掘削機(TBM-SM)を用い、溪谷は密閉モードで掘削し、溪谷を通過すれば開放モードで掘削する。平均掘削速度25m/日を予定する。

(3つのサイトの特徴)

3つのサイトはどれも地下深くトンネルを建設する共通点を持つが、期せずして、場所、地形、地質に異なる特徴をもつことがわかった。まず、建設場所としては、アメリカ、ヨーロッパ、アジアの順に、既設研究所に近い。地形は、欧米が平地、アジアは起伏がある。地質はいずれも岩盤であるが、アジア、アメリカ、ヨーロッパの順に硬い。

2.2 ILC施設レイアウト

ILC加速器は、電子源、陽電子源、ダンピングリング、リングー主加速器間ビーム輸送路=RTML、主加速器、主加速器ー衝突点ビーム輸送路=BDS(実験ホールを含む)の6つのエリアシステムからなる。BCDでは、ダンピングリングが加速器の両端にあったが、RDRでは、中央に配置されたことである。これは、トンネルが高価なため、電子、陽電子2組のダンピングリングを一つのトンネルに収容するための工夫である。

トンネルの長さは、加速器のパラメータにより決められた。しかし、トンネル、トンネルにアクセスするためのシャフト(縦坑)、地下ホール、地上施設、および、関連する施設システムの大きさは、指定された装置の大きさ、メンテナンススペース、人のアクセス・避難スペースを考慮して決めた。

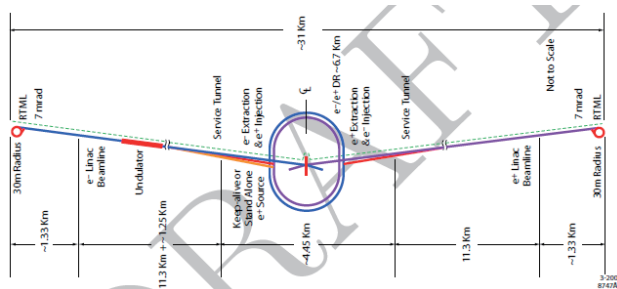


図4 ILC加速器レイアウト

主な地下施設は以下の通りである:

- 長さ30.87km、直径4.5mの2本の平行な地下トンネル(RTML、主加速器、BDS)
- 全部で13のアクセスシャフトまたは斜坑と地下アクセスホール
- 実験ホール(プッシュプル方式の検出器2台)
- BDSより10m上に、内径5mで周長約7kmの地下トンネル(電子、陽電子ダンピングリング)
- ダンピングリングー主加速器間トンネル・シャフト(電子源、陽電子源、入射器)

土木工事コストは、施設コスト全体のほぼ3分の2を占める。その中で、地下施設が75%に当たる。また、単一品目では、72km強のトンネルが最大の品目

である。本格的な価値工学は済んでいないが、コスト削減のため、トンネルの大きさ、アクセスポイントの数などが検討された。

2.3 土木工事

(主加速器トンネル)

主加速器トンネルは、超伝導加速器を設置するビームトンネルと電源、制御機器類を設置するビームトンネルの2トンネル方式である。過去に建設された大きな線形加速器は全てこの方式であり、ビーム加速中も電源の運転や維持ができる。

ビームトンネルには主加速器のほか、電子、陽電子のビーム輸送路が天井部に設置される。トンネル内径4.5mはこれらの装置の設置スペース、運搬、人の避難スペースを考慮して決められた。

ビーム、サービストンネル間の間隔(約7m)は、構造強度のため必要であり、放射線遮蔽に必要な厚さは十分満たしている。一組のRFユニットは長さ約38mで、サービストンネルから12m間隔の3本のペネトレーション(RF導波管用、電力線、および信号線用)によって電力供給される。

(アクセスホールとアクセスシャフト・斜坑)

アクセスホールは幅20m、高さ14.9m、長さ100mの地下空洞で、主加速器では、約5000m毎に設置される。建設時にはTBMの発進基地となり、建設後は、超伝導RFの冷凍システム、冷却水、電力分配など各種設備の地下基地となる。地上のコンプレッサーや冷却塔とはシャフト・斜坑で結ばれる。

アジアサイトでは地下へのアクセスにシャフトでなく斜坑を用いる。斜坑は、幅7.5m、高さ6.5mの馬蹄形断面で、傾斜は10度以下である。その断面は、建設時のTBM搬入等を考慮して決められた。建設後はクライオモジュールなど加速装置の搬入、人の通路、1次冷却水配管、空調ダクトなどの配管設備の設置に用いられる。

(実験ホール)

実験ホールは、一つの衝突点に2台の検出器がプッシュプル方式で使用される。検出器は重量が1万トン前後の巨大な装置であり、地上のアセンブリーホールで組み立て、試験を完了した後、分割して、2千トン級のクレーンで地下実験室に降ろす。実験ホールは幅25m、高さ39m、長さ120mある。プッシュプルを円滑に行うため、2台の検出器を1台のプラットフォームに設置することを考えているが、今後の検討課題になっている。

3. 今後

ILC設計はEDR(engineering design report)を2010年頃までにまとめる方向で始まろうとしている。施設仕様は加速器の設計後に決まる。また、ILC施設の土木工事の詳細設計はサイトが決定しない

と進まない。今後、サイト絞込みのための技術的準備、日程の検討を行いつつ、実験ホールや複雑な入射器地下トンネルの構造設計などRDRで残された課題に取り組む予定である。

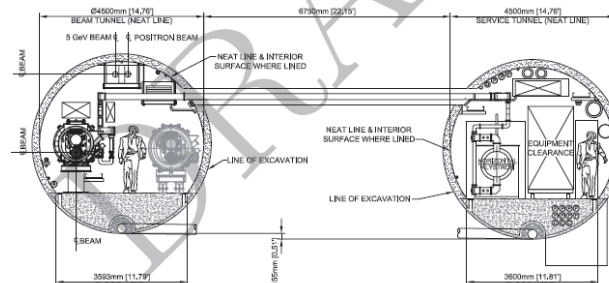


図5 主加速器トンネル断面図

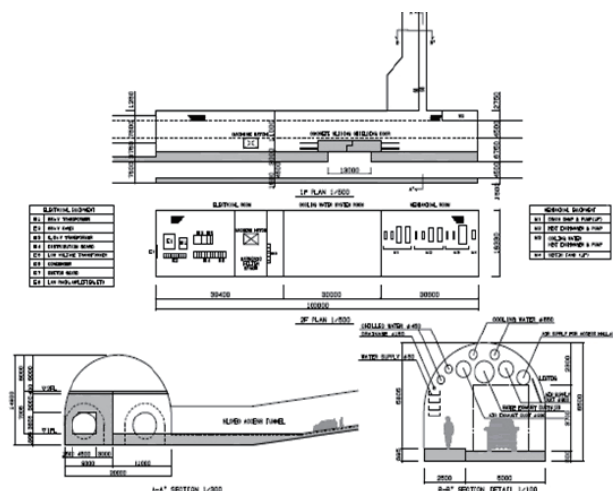


図6 アクセスホール・斜坑断面図

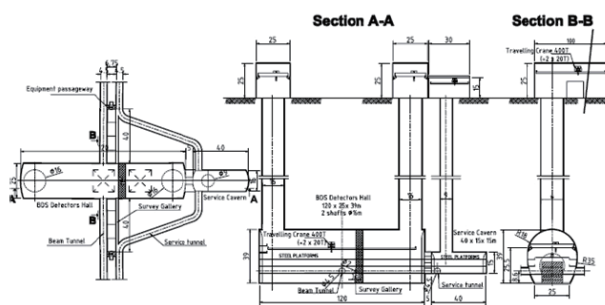


図7 実験ホール断面図

参考文献

- [1] A. Enomoto et al., "ILC Conventional Facility", Proceedings of the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006.
- [2] INTERNATIONAL LINEAR COLLIDER REFERENCE DESIGN REPORT 2007, to be published in ILC-REPORT-2007-1, and KEK Report 2007-2.