

ILC Conventional Facility

Atsushi Enomoto, Masami Tanaka, Ryuhei Sugahara
 High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801

Abstract

The design of the international linear collider (ILC) is presently in progress by an international design team organized into the global design effort (GDE). While the GDE aims at a unified design of ILC, the civil engineering design is to be developed on each regional locations in order to study a realistic facility design, a specific construction scenario, and the associated project cost. This paper describes activities in Japan as well as introducing those of other regions.

ILC施設

1. はじめに

2004年夏、将来加速器国際委員会 (International Committee for Future Accelerators = ICFA) 国際リニアコライダー運営委員会 (International Linear Collider Steering Committee = ILCSC) の技術諮問国際パネル (International Technology Recommendation Panel = ITRP) が国際リニアコライダー ILCの製造技術として超伝導方式を選択した。これまでリニアコライダー計画は、米国 (NLC)、アジア (GLC)、ドイツ (TESLA) など、別々に提唱されていたが、これを機に一本化されることになった。

2005年夏、アジア、アメリカ、ヨーロッパの高エネルギー物理及び加速器研究者により、国際共同設計体制 (Global Design Effort = GDE) が結成された。そして2005年末、ILCの基本構成仕様 (Baseline Configuration Document = BCD) がまとめられた。この基本仕様をもとに、2006年、コストを含む標準設計報告書 (Reference Design Report = RDR) 作成作業が進められている。

RDRはアジア、アメリカ、ヨーロッパの各国政府にたいして、ILC計画を国際プロジェクトとして、正式に提案するための最初の文書となる。わが国では総合科学技術会議の策定する第3期科学技術基本計画 (平成18-22年度) にILC計画は入っていない。しかし文部科学省は、財政当局の国際的組織であるリニアコライダー開発関連行政機関 (Funding Agency for LC = FALC) に出席し、この計画を注視する立場をとっている。

2. サンプルサイト

ILCの設計の中でその施設は、どこに建設するかによって、設計、コストなどに違いの出ることが予想される部分である。そこで、提案をより現実的なものとするために、各地域に実際に存在する場所 (sample site) を想定して、施設設計することがGDEで提案された。現在、アジアからは高エネルギー加速器研究機構 (KEK)、アメリカからはフェ

ルミ国立加速器研究所 (FNAL)、ヨーロッパからは欧州合同原子核研究所 (CERN)、ドイツ電子シンクロトロン研究所 (DESY)、ロシア原子核合同研究所 (JINR, Dubna) からsample siteの提案がされている。ただし、sample siteは設計に用いられるものであって、各地域での行政的選考手続きを経た最終候補地ではない。わが国のsample siteについては、最終候補地あるいは有力候補地であるかのような誤解を避けるため、GDEにおいても地名等は一切明記せず、また、地域を推定することのできるような資料を出さないことにしている。

研究者間でアジアから日本のサイトを提案することは、2004年11月カルカッタで発表されたアジア地域次世代加速器推進委員会 (Asian Committee for Future Accelerator = ACFA) の声明で支持された。また、アジア諸国におけるサイト検討の実情を考慮し、2005年11月、第4回ILCアジア会議でも了承された。

アジア以外の地域のsample siteは既存研究所の近郊に設定されているが、アジアはKEK近郊にはこだわらず、加速器の高い性能を最優先し、地盤振動の多い平地よりも、地盤変位と地盤振動が小さく十分に安定な固い岩盤の山岳地帯の中から建設可能地を選択した。

超伝導技術の選択により、現在設定可能な加速電界が常伝導技術に比べ半分近いものになっているため、1TeVサイト長が35kmから50kmに延長された。しかし、いずれにしても、これだけ長い直線加速器を、安定した地盤に、所定の精度、期間、費用で建設することは初めての経験であり、十分な検討を要する。

3. 加速器構成

昨年12月、伊・フラスカチ会議で合意したBCDによると、ILCは第1期、電子・陽電子の重心系衝突エネルギー500GeVで建設され、第2期で1TeVに増強される。図1にILCの基本構成を示す。

電子加速器 (図1左半分) は5GeVの電子入射器、ダンピングリング、バンチ圧縮系、250GeV主加速

器からなる。陽電子加速器（図1右半分）の陽電子源は、電子加速器側の150GeV地点に設置される。これは、電子加速器で加速された高エネルギー電子をアンジュレータに導き、発生するガンマ線で陽電子を生成するためである。生成・捕獲された陽電子は400MeVに加速され、陽電子加速器側に輸送される。陽電子加速器も電子加速器と同様、5GeVブースター、ダンピングリング、パンチ圧縮系、250GeV主加速器からなる。また、陽電子加速器を電子加速器と独立に調整するため、陽電子加速器には約10分の1程度の強度の調整用陽電子源（Keep alive sourceと呼んでいる）が組込まれる。

電子・陽電子加速器の間には、衝突点、最終集束系、コリメータなどを含むBDS(Beam Delivery System)がある。衝突点は20mradの角度で交差する衝突点と-2mradで交差する衝突点の2箇所である。これら2本のビームの衝突点付近での間隔は約20mしかない。従って、2つの衝突点はビーム進行方向にパンチ間隔（約138m）分ずらしている。BDSは1TeV対応で設計される。尚、実験ホールを1箇所にとめるため衝突角度を14mradと-14mradにする案も検討されている。

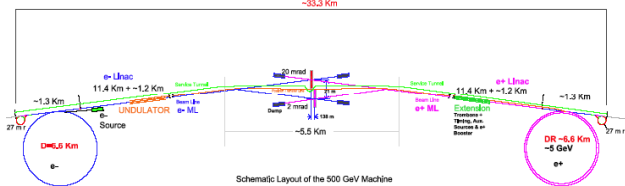


図1 ILC加速器の基本構成

4. 土木

4.1 トンネルレイアウトと地形

ILC加速器を収容する施設は現在以下のような規模になっている。重心系衝突エネルギー500GeVの加速器に対して、パンチ圧縮系を含む5GeV入射器(1.33km x2)、主加速器(11.3km x2)、陽電子源(1.2km x2)、BDS(5.5km)を合わせて全長は33.2kmになる。ダンピングリング周長は6.695kmである。主加速器の加速利得は31.5MeV/mである。1TeV拡張時には加速利得が35MeV/mに向上するものと仮定しても最終的なサイト全長は約50kmに達する。

施設レイアウトはサイトの地形や地質に依存する。図2に日本サイトの断面図、平面図を示す。日本、FNAL、CERNサイトでは安定な岩盤に加速器を設置するため、地下深く加速器トンネルを掘るレイアウトが提案されている。できるかぎりトンネルを浅くしたいが、風化層を避けて安定した均質な地層に掘削するため、トンネルの土被りは約50m以上を仮定している。パンチ圧縮部、BDS部を除き、主加速器トンネルは真直ではなく地球の水平面に沿って掘削される。ダンピングリングを除き、加速器トンネルは超伝導加速管を設置するビームトンネルと電源類を設置するサービストンネルの2トンネル方式をとっている。コストの面では加速管、電源等全

てを1トンネルに設置する1トンネル方式が有利であるが、加速器の稼働率、安全性の面では2トンネルにすべきと思われる。トンネルサイズは現在5mである。これは図3断面図のように電源設置幅 x2 + 避難路幅(0.9m)が取れる大きさで決められたが、GDEでアジアが提案した径は4mであった。また、ビームトンネルはこれほど大きな必要はないが、現時点ではサービストンネルと同一径としている。因にLHCトンネル径は3.8mである。トンネル間の間隔は岩盤の柔らかい欧米ではトンネル直径の1.5倍、日本サイトでは1倍あれば掘削上問題ないとされている。また、シミュレーションの結果、放射線シールド上は約3mの岩盤の厚みがあればよいことがわかっている。

地上から加速器トンネルへのアクセスは約5km毎に行なう。FNAL、CERNは地表が平坦なためトンネルへのアクセスは立坑になる。一方、起伏のある日本のサイトでは斜坑が中心になる。斜坑入口は全て既設道路近傍である。斜坑はできる限り短くしたいが、斜度10度以下、平均長さは約1kmである。斜坑入口には冷却塔、He冷凍機コンプレッサーなどの地上機械室が設置される。アクセスポイントの数は多い方が便利であるが、立坑、斜坑は高価であり、最小限に抑えている。

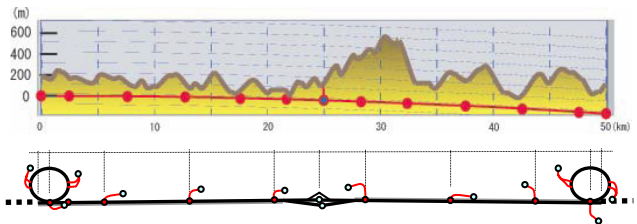


図2 ILC加速器トンネルレイアウト

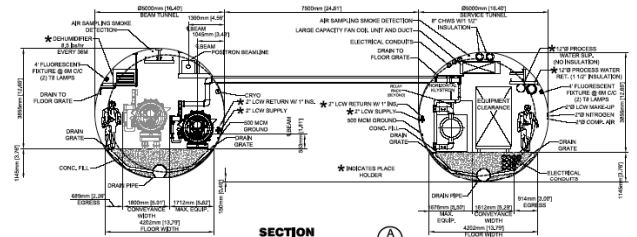


図3 主加速器トンネル断面図

4.2 地質

長距離にわたる均質な岩盤を探すと日本では花崗岩の地質が中心となったが、安定な地層であれば堆積岩でも地盤の振動の点では問題ない。ただし、地質の違いはトンネルや実験室などの地下構造物を構築するための土木技術に大きな影響を与える。例えば、FNALはドロマイトと呼ばれるマグネシウムを含む堆積岩にトンネルを掘削するが、この地層は水を通さない地層の下部にあり、FNAL直下では100数十mの深さにあり、地層が東西に傾斜している。従って加速器を水平に設置するためには、トンネル南北に掘削しなければならない。このように、地層がトンネルの深さ、方向に制限を与えている。花崗

岩の岩盤はマグマがゆっくりと冷えて形成されたもので、一般に広範囲かつ深く均質な地盤が広がっているものと考えられている。ただし、地表付近の真砂(まさ)と呼ばれる風化層や断層はできる限りさけてトンネルを設置する必要がある。

地質は地下構造物の構造設計にも影響する。FNAL、CERNサイトの堆積岩は一軸圧縮強度が50Mpa前後である。LHCトンネルに見られるように、これらの岩盤では加速器トンネルにはしっかりとしたコンクリート壁(ライニング)が必要である。また立坑や地下空洞では岩盤をロックボルトで補強し、更に内面を仕上げコンクリート壁で固めるダブルライニングが必要である。一方、日本の花崗岩は100Mpa前後の固さがあり、トンネル、地下空洞ともに、状態の悪い部分を除いて支保は不要であり、掘削表面を仕上げるための薄い吹付けコンクリートで済ますことが可能である。

トンネル掘削速度と地質との関係も興味深い。FNAL、CERNサイトでは平均月進を400mと仮定している。これは、CERNのLHC(LEP)トンネル建設データに基づいており、最大600m/月も可能という。一方日本サイトでは300m/月を仮定している。しかし、これらは、あくまで大きなトラブルがなく順調に掘削できたときの速度である。

4.3 建設工程

図4にILC地下施設の建設スケジュールを示す。縦軸は建設年度、横軸は長さで図2下に相当する施設の位置を示す。ビームトンネル、サービストンネルを合わせたILCトンネル全長は約80km、アクセス立坑(斜坑)の総数も21におよび、図4の例では、建設開始後約4年の建設期間を要する。

トンネル掘削法にはNATM(New Austrian Tunneling Method)とよばれ発破を用いる方法とTBM(Tunnel Boring Machine)を用いる方法があるが、日本サイトでは両者を併用する。アクセストンネル、入射部、BDSの一部はNATMを用いる。主加速器、ダンピングリング、BDSなどはTBMを用いる。NATMは掘削速度が遅い(130m/月前後)がTBMの

ように大がかりな発進基地を建設する準備期間が不要であり、短区間の掘削には有利である。FNAL、CERNサイトでは上部の防水地層を破壊する恐れがあるのでNATMは採用されていない。

日本サイトでは工期を短縮するため投入するTBMの台数を多くした。TBM1台当りの掘削距離は平均5kmである。その分コスト面での不利が予想されたが、支保が不要な分で欧米とコスト面でもバランスしている。

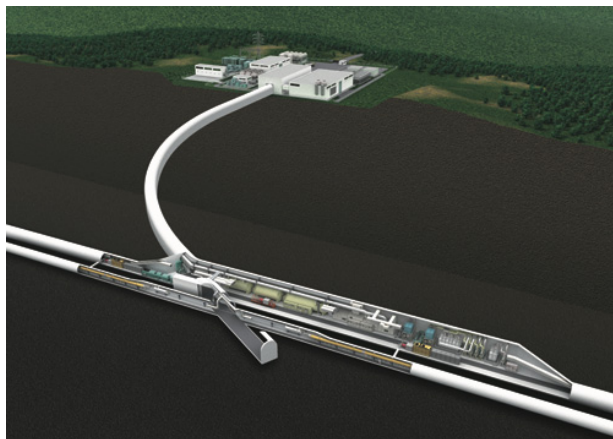


図5 ILC地下施設概念図(©Rey.Hori)

5. 今後の課題

GDEでは11月スペインのバレンシアで開かれる会議にむけILC設計の最適化とRDRの作成作業を進めている。GDEアジアグループでも土木設計の最適化と設備設計が次の課題として残っている。

参考文献

- [1] BCD is available at http://www.linearcollider.org/wiki/doku.php?id=bcd:bcd_home
- [2] Edited by A. Enomoto, "ILC Conventional Facility", KEK Report 2005-5 (August 2005).

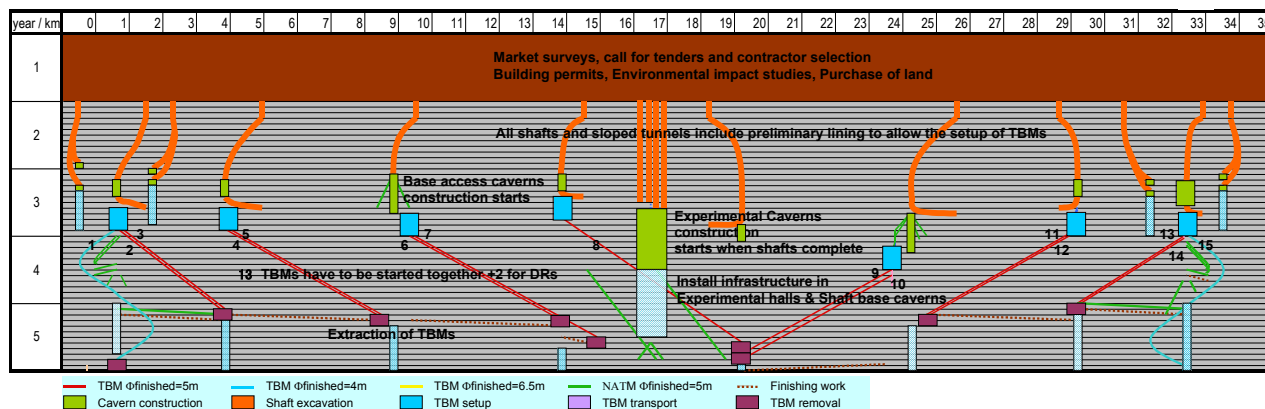


図4 ILC加速器地下構造物の建設スケジュール(例)