

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

2-16-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi, 755-8611

Abstract

The global design effort (GDE) for the international linear collider (ILC) has entered the engineering design report (EDR) phase after publishing the reference design report (RDR) last year. The conventional facility and siting (CFS) team has remained as it was a uniform team, continuing the CFS detailed design as well as value engineering under the leadership of the project managers newly organized. In September to October 2007, all three regional CFS teams, Americas, Asian, and European teams, started their works in each "Kick-Off Meetings". Similar meetings were also held for other subgroups. Although it seemed a flying start, budget troubles sequentially occurred in the United States and British teams at the end of 2007. Then the EDR phase plans were modified so as to concentrate on major items achievable by 2010 using limited budgets; and, some items were postponed up to 2012. The CFS work, regarding civil engineering and cooling system, was assigned as one of the major items.

ILC施設設計の現状

1. はじめに

2007年、国際リニアコライダー (ILC) 設計チーム (GDE) は、2月の北京会議でコストを含む基本設計について発表し、これを基準設計書 (RDR) として発行した。施設設計の対象となる装置は、衝突エネルギー500 GeVのリニアコライダーで、全長31 km、内径4.5 mの2本のトンネルに收容される。また、施設的全消費電力は約220 MWと見積もられている。建設用地の全長は、将来衝突エネルギーを1 TeVに拡張する余地を残して、50 km必要とされている。

ILCの基本設計書 (BCD) およびBCDに基づきコストを検討したRDRでは、計画の現実性を持たせるため、アメリカ、アジア、ヨーロッパそれぞれ1か所ずつ、実在する建設用地 (サンプルサイト) を抽出して施設設計を行った。サンプルサイトの提出は任意に行ったが、期せずして3者とも深いトンネルとなった。ヨーロッパ地域では、サンプルサイトのCERN (European Organization for Nuclear Research) サイトのほかに、地下10-20 mの浅いトンネルを仮定した、ドイツ・Hamburg近郊のDESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) サイト、ロシア・Moscow地区Dubna近郊のJINR (Joint Institute for Nuclear Research) のサイトも提案されたが、これらは工学設計書 (EDR) の中で検討されることになった。

昨年からはまったILC-EDR期の主な課題は3つある。(1) 超伝導加速器のエネルギー利得の向上と量産技術の確立、(2) 詳細な工学設計と価値工学によるコスト削減、(3) 国際協力による建設のための技術的な工程の検討である。(1)はプロジェクトの成

否に関わる最重要課題である。2004年のリニアコライダー技術選択の時点では、35 MeV/mのエネルギー利得が早期に得られる期待もあったが、BCDでは31.5 MeV/mに下方修正された。加速空洞の性能にばらつきがあり、十分な加速電界を安定して得るといふ量産化以前の基本的な技術において、まだ解決すべき課題を持っている。尚、欧州X線レーザプロジェクト「XFEL」は23.6 MeV/mで設計されている。(2)については、建設コストの41%を占める主線形加速器、37%を占める施設関係 (CFS) の検討が最も重要な課題として位置づけられている。CFSの中では、土木建設、冷却設備の占める割合が大きい。(3)については、サイトの政治に関わる問題は各国政府やGDEの上部機関の指導の下に進められるべきであるが、サイトについての技術情報や建設工程の検討はCFSグループの課題である。

2. GDEチーム再編とEDR期の始動

EDR期に当たりGDEのチーム体制が再編成された。主たる変更は、ディレクターのBary Barishのもとに加速器システム (Accelerator Systems)、超伝導技術 (SCRF Technology)、施設及び全体システム (CFS & Global) を担当する3名のプロジェクトマネージャ (PM) を置いたことである。これらのマネージャの下に必要なに応じてサブグループをつくることになった。CFSグループはCFS & Globalのプロジェクトチームに属し、Mark Rossに率いられることになった。また、CFSグループは土木 (Civil Engineering) と設備 (Conventional Facilities) のサブ

¹ E-mail: atsushi.enomoto@kek.jp

グループに分かれ、それぞれ、CERN施設部のJohn OsborneとFNAL施設部のVic Kuchlerがリーダーに指名されたが、会議等はこれまで通り一つのCFSグループとして行っている。

新体制による工学設計活動は2007年9月から各サブグループ毎のキックオフミーティング (KOM) として開始された。ただし、CFSグループだけは特別で、土木と設備の2つのサブグループではなく、アメリカ、アジア、ヨーロッパの3極がそれぞれ別々にKOMを実施した。

これらの会議と相前後して、測定器グループと、GDEのビーム診断・最終収束部 (BDS) グループ、CFSグループが共同して、衝突点 (IR) に関するワークショップが開催された。この会議では、LEPやLHCの建設で経験の豊富なCERNが中心となって活躍し、実験ホールの大ささなどについて、現状での物理グループの要求を整理した。尚、この会議では4種類の測定器が提案されたが、その後、GDEの計画に同期して (次節参照)、開発すべき測定器の見極め (validation) を2009年春までに行い、2012年までに詳細設計を進めることになった。一方、設備に関しては、FNAL施設部が中心となり、冷却設備の熱負荷の仕様を詳細に詰める作業を開始した。

3. EDR改めTDR活動計画の概観

ILCのEDR活動が順調に滑りだしたかにみえた2007年後半だったが、米国でILCやITERなどの基礎科学予算が突然4分の1に削減される事態が年末に発生した。米会計年度は10月からであり、この決定は活動をただちに停止することを意味した。この政策により、CFSの米国グループは大きな打撃を受けた。彼らはFNALの施設エンジニア5~6名とSLACの3名を核として構成されていたが、FNALのCFSリーダーを除いて日常的な活動の停止を余儀なくされた。不幸なことにSLACの3名は解雇されてしまった。また、ヨーロッパでも、英国政府がILCへの支援に消極的であったり、CERNやDESYが進行中のプロジェクトに手一杯であったり、ILCの推進に困難な状況が生じている。

米国の事態は、ILCに対する財政当局 (エネルギー省=DOE) レベルの政策方針というよりは、連邦政府-議会間の予算折衝のなかで発生した事態のようである。しかし、DOEの次官Raymond OrbachはILCプロジェクトはITERと同様の国際プロジェクトであり、米国内においても手続き (DOE Order 413.3) を踏まねばならず、その実現は2020年代だろうと一度ならず公言している。また、米国素粒子物理学プロジェクト優先順位委員会 (P5) においても、ILCへの言及はあるが、直近の最優先プロジェクトとはされていない。

GDEは当面の財政難を乗り越えるため、2010年達成を目標にしていた活動計画を修正し、2010年まで (TDR1) には、加速電界の向上などの優先課題に絞って達成し、システムの実証や量産化技術の確立などは2012年まで延期 (TDR2) することにした。

4. ILC土木の課題

先に述べたようにRDRでは深いトンネルをとりあげ、浅いサイトの検討はEDRに譲った。現時点で浅いサイトはDESYとJINRから提案されている。

4-1 DESYサイト

DESYが提案しているサイトはハンブルグ郊外 (北西) の現在のサイトを起点として北北西方向に延長するルートで可能な限り地表に近づけたトンネルレイアウトである (図1)。地質は新生代第四紀 (約260万年前~現在) の砂層とマール (泥灰土) で透水性の土壤である。完全密閉式のシールド型TBMによる掘削を行う。



図1 DESYサイト地層図 (縦目盛5 m)

4-2 JINRサイト

JINRはモスクワの約120 km北方、研究学園都市Dubnaにある。JINRが提案するサイトは、JINRの近郊を西端とする東西50 km弱のサイトである。地形は平坦であり、人口も過疎である。DESYと違って透水層は地下30 m~50 mにあり、その上の不透水性の粘土質土壤 (ローム層) にトンネルを配置する。2008年6月4日~7日にDubnaで開催されたGDE会議ではヘリコプターによるサイト視察が行われた。平坦かつ少人口とは言え、多少の起伏があり、鉄道や道路も何か所か横断し、集落も皆無ではないので、地表に加速器を作ることは難しいと思われる。

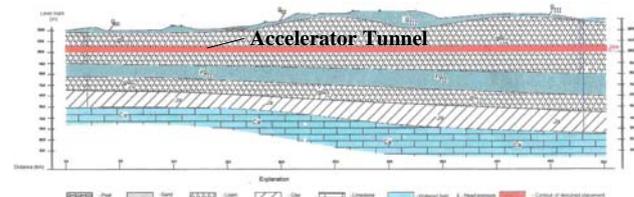


図2 JINRサイト地層図 (縦目盛10 m)



図3 JINRルート直上から北側を望む。鉄道がルートを横切る。

トンネルは地下20 m程度に設置する(図4)。検討はロシアの原子力発電所や加速器施設などの建設を手掛けてきたGSPI (Russian State Project Institute) が担当する。PMのMark Ross、補佐のWilhelm BialowonsがJINR、GSPIのエンジニアとWEB会議を持って検討を進めつつある。

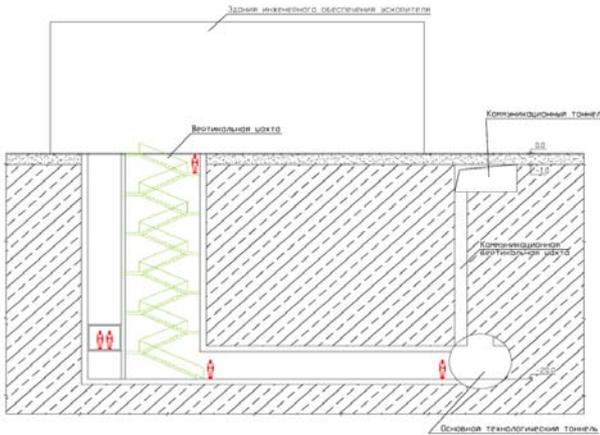


図4 JINRサイト施設案断面図。

5. 最小加速器 (Minimum Machine) の検討

物理からの要求されるビーム性能を犠牲にせず、加速器の余裕を最低限に切り詰めた Minimum Machineの検討が始まった。検討の範囲は、(1) 地下施設の容積を最小にする加速器レイアウト、(2) 加速器要素に対する最低限の仕様、(3) アライメント、運転環境など加速器の性能に関する最低限の仕様、の3つの部分からなる。これらは加速器の稼働率、作業効率、環境、安全などを犠牲にするが、定量化し難い側面を持つため、プロジェクトマネージャの判断によって単一のMinimum Machine仕様を決める。(1)(2)に関してはすでに6月のDubnaの会議で議論が始まっている。(1)のレイアウトに関して、RDRと異なり、電子源、陽電子源、ダンピングリングなどを含む入射器群と衝突点IRを含む最終ビーム輸送系BDSをこれまでのように2層構造にするのではなく同一平面に置き、それぞれの長さも最小限に短縮するなどの案が議論されているが、全体的なたたき台は11月のシカゴでのGDE会議で提案される。これらの加速器仕様と並行して、浅いトンネルの検討、シングルトンネルの検討も行われる。

6. トンネル温度

Dubnaの会議では、冷却空調設備に関連して、トンネル壁による自然冷却について議論された。ビームトンネル内の導波管、サーキュレータ、ダミーロードの放熱量は1 RFユニット (37.956 m) 当たり5.9 kWと見積もられている。トンネルの単位長当たりの熱負荷にすると155 W/mである。地盤内部では、温度変動は殆どなく、温度分布は地熱の影響により100 m 当たり1~3 °Cの割合で上昇すると言われて

いる。また、ILC施設の建設が検討されている100~200 mぐらいの深度の地盤温度は、火山活動などの特殊な条件がない場合、その地域の年平均気温程度であろうと想定される。従って、トンネル壁の初期温度は、一般に空調温度 (RDRでは約30 °C) より低いことが予想される。しかし、トンネル壁による定常的な熱の吸収は地質や水脈などの境界条件により大きな差がある。粗い計算では、すぐ近くに水脈がある場合は数十~数百W/mの放熱が期待できそうであるが、これは今後の要検討事項である。

7. 今後

Dubna会議で「uniform site」という新たな概念がBarishらから提案された。最適化された施設設計を基礎に、サイトによらない標準的な仕様とコストを定めようとするものである。背景にはuniform siteから超過するコストだけをホストに負担させてはという意図があるようだ。TDR1期の課題である施設設計の最適化に異議はなく、当面11月のGDE会議にむけ冷却系最適化などの作業を進める。ただ、何をサイトの標準とするのかは技術的にもまだ疑問が残る。政治的過程の方針はGDEの活動の枠を超える問題であり上部機関 (ILCSC等) の議論を待ちたい。

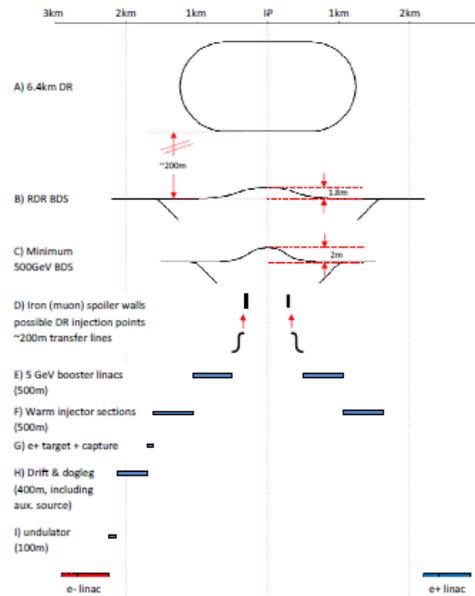


図5 最小加速器入射器群のレイアウト案 (議論中)。

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] A. Enomoto et al., "Present Status of the ILC Conventional Facility Design", Proceedings of the 32th Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, Aug. 1-3, 2007.
- [3] INTERNATIONAL LINEAR COLLIDER REFERENCE DESIGN REPORT 2007, ILC-REPORT-2007-1, and KEK Report 2007-2.