

計 画

地下空間を利用した国際リニアコライダー 研究施設を日本国内に建設予定

(大)高エネルギー加速器研究機構リニアコライダー計画推進室CFS計画グループリーダー 宮原正信
 (大)高エネルギー加速器研究機構リニアコライダー計画推進室長 山本 明
 鉄道・運輸機構新幹線部参与 秋田勝次
 (株)地盤システム研究所所長 近久博志

1 はじめに

本稿では、鉄道や道路やエネルギー関連施設で活用されてきた地下空間の構築技術の新しい展開として、近年、日本国内に計画されている国際リニアコライダー計画¹⁾の地下空間利用について紹介する。

リニアコライダー (linear collider) とは、直訳すれば、linear (直線的) に collide (衝突) させる装置となる。つまり、リニアコライダーとは、直線状に並べられた加速器によって、光速近くまで加速した電子と陽電子を衝突させて、衝突後に発生する未知の粒子の性質やエネルギー状態を調べるための実験施設であり、周辺の自然環境変化の影響を受けないように、地下深くに建設される。

既往の加速器としては、フェルミ国立加速器研究所 (FNAL) の衝突型粒子加速器 (Tevatron, 米国)、欧州合同素粒子原子核研究機構 (CERN) の大型ハドロン衝突型加速器 (LHC, スイス・フランス)、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の大強度陽子加速器施設 (J-PARC, 茨城県) などが有名である。これら従来型の加速器は、陽子・陽子または陽子・反陽子同士を衝突させることが目的であったため、加速器をリング状の地上施設内に設置して実験されてきた。これに対して、電子・

陽電子の衝突は、必要とされるエネルギーレベルや実験精度が極度に高くなるため、エネルギーロスが少ない直線型の加速器を振動の少ない地下に設置して実験することが選択された。

本計画は、2013年のノーベル物理学賞受賞につながったヒッグス粒子の発見に続き、人類の究極の謎とされている宇宙の起源と宇宙の創造と終焉の探索、宇宙のダークマターやダークエネルギーの同定や解明につなげるために、国際純粋・応用物理学会などによって、現在、強く推し進められている²⁾。さらに、研究開発される関連技術は、医療・生命科学から新機能の材料・部品の創出、情報・通信、計量・計測、環境・エネルギーに至る幅広い産業分野で、新しい産業イノベーションの創出につながると高い関心が寄せられている。

このため、国際リニアコライダー (ILC: International Linear Collider) 研究施設を核とした国際科学技術研究圏域は、地域と共生しながらも「世界の頭脳が集積した最先端の科学創造と技術革新を先導する圏域」および「世界の人々が集い豊かな自然環境のもとで生活・交流する多国文化共生圏域」として、世界最先端の科学創造と技術革新を先導することが期待されている³⁾。後述する技術設計書 (TDR: Technical Design Report)⁴⁾の段階までは、いくつかの機会^{5), 6)}を捉えて紹介して

きたため、本稿では、全体計画を概説したあとに、おもに、TDR 以後の検討課題⁷⁾と対策案について論じることとする。

2 国際リニアコライダー研究施設

2004年、IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics) は、世界で1つの電子・陽電子衝突型の将来加速器計画として国際リニアコライダー計画を推進することを決定した。そして、国際設計チームとして GDE (Global Design Effort) が組織され、100を越える研究機関や大学が結集して、ILCに関する研究開発や施設の調査研究を実施し、2007年に概念設計書 (RDR: Reference Design Report)²⁾を、2012年末には TDR¹⁾を取りまとめた。これを機会に、ICFA (International Committee for Future Accelerator) の下部組織として、LCC (Linear Collider Collaboration) が新設され、CERN (European Organization for Nuclear Research) が推進するもう1つの直線型加速器構想 (CLIC) と ILC の研究グループが協力して、新しいタイプの加速器の実現に向けた研究を実施することとなった。図-1に ILC 施設の概念図を示す。

この研究施設では、生成した電子とその反物質である陽電子は、まず、ダンピングリング内部で運動の向きが整えられる。次に、電子と陽電子は、主直線加速器 (メインライナック) トンネルの両端に送られ、その後、高周波の電磁波によって加速されながら中央部に向かって進んでいく。そして、光速近くまで加速された電子と陽電子は、施設中央部のホール内に設けられたディテクター (検出器) の中で、衝突させられる。

このとき、両者は完全に消滅して、宇宙誕生とされるビッグバンから1兆分の1秒後の世界と同じエネルギー状態となり、そのときに宇宙を支配していた基本的な法則や未知の素粒子が現れては消える不思議な現象を再現できることになる。このエネルギー状態を調べることで、宇宙と素粒子

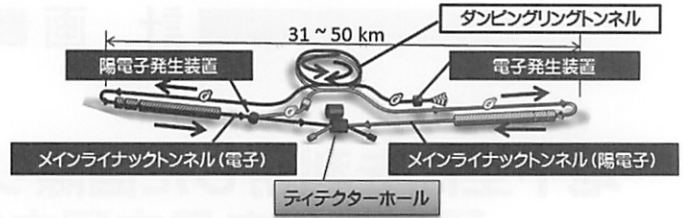


図-1 ILC施設レイアウト

の基本的な法則を探ろうとしている。この実験過程の中で、光速レベルにまで加速された電子と陽電子は、衝突確率を高めるために、各ビーム幅をナノオーダーにまで絞り込んだあとに、中央部のディテクター内でお互いを衝突させることになる。

この加速された電子・陽電子ビームは、周辺の自然環境に影響を受けやすく大気圧、気温、潮汐、列車や自動車や工場などの振動などの影響までも極限まで少なくする必要があるため、安定した岩盤内に加速器を設置しなければならないとされている。

3 ILC 研究施設計画と地形・地質

ILC 計画では、次の3つの施設が中核を占めることになる。表-1にそれぞれの地下空洞の寸法と構造の概略諸元を示す。

- ① 加速器を設置するメインライナックトンネル (主線形加速器トンネル)
- ② 生成された電子や陽電子の流れを調整するためのダンピングリングトンネル
- ③ 加速された電子と陽電子の衝突後の状態を調べるディテクターホール (検出器ホール)

これらの主要施設は、実験中に気候や気温や人工振動 (通行車両や工場や交通など) の影響を受けないように、土かぶり量が25~600m程度の地下深くに設置される。このため、地表面からのアクセスなどのために、メインライナックトンネルやダンピングリングトンネルに取り付ける9本の斜坑とディテクターホールとその周辺に取り付ける2本の立坑が設置される。

これらの斜坑や立坑は、研究者や技術者の出入りだけでなく、地下空間構築、実験や保守点検のための資機材や装置の搬出入、これに関連した重

表-1 ILC研究施設における主要な地下空間の概略諸元

名 称	寸 法	土かぶり	仕 上 げ	地 質
メインライナック トンネル	延長：31km(将来 50km), 掘削断面：56m ² , 幅：11m, 高さ：5.5m	25～637m	覆工コンクリート(覆工背面 での導水処理), 中央隔壁	おもに, B～CH級の 岩盤(花崗岩類など)
ダンピングリング トンネル	延長：3 km, 掘削断面：30m ² , 幅：5.5m, 高さ：4.7m	70m強	覆工コンクリート(覆工背面 での導水処理), 中央隔壁	
ディテクターホール	長さ：108m, 掘削断面：1.069m ² , 幅：25m, 高さ：42m	70m	吹付けコンクリート(実験機 器を守るための導水処理)	

※ダンピングリングトンネルの直線部はメインライナックと同じ断面であるため、曲線部の断面寸法を示す。

車両の入退場、電気・水道・ガス・空調や実験装置の冷却などのサービス、さらには、火事や事故などの救急時の対策や避難などの緊急対策に活用されることになる。また、トンネルの二次覆工背面に設置された防水シートで遮水された地下水は、いったん、アクセスホール付近に設けられた集水ピットに集められて、斜坑や立坑を通じて坑外に排出されることになる。こうした活用を考えて、とくに、斜坑となるアクセストンネルとメインライナックトンネルとの接合部には、大きな断面のアクセスホールの設置を予定している。

3-1 建設地点の選定

国際設計チーム(GDE)が取りまとめていく概念設計書(RDR)や技術設計書(TDR)に対して、次のような5機関から6地点のサンプルサイトの提案があり、ILC施設の基本設計がなされてきた⁸⁾。

- ① フェルミ国立加速器研究所(FNAL：Fermi National Accelerator Laboratory), アメリカ
- ② 欧州合同素粒子原子核研究機構(CERN：European Organization for Nuclear Research), フランスとスイス
- ③ ドイツ・シンクロトロン研究センター(DESY:Deutsches Elektronen-Synchrotron), ドイツ
- ④ ロシア・ドゥブナ合同原子核研究所(Dubna JINR:Joint Institute for Nuclear Research), ロシア
- ⑤ 高エネルギー加速器研究機構(KEK:High Energy Accelerator Research Organization) 日本

GDEが中心になって、これらの提案の中から、おもに、「電力(特高送電線・電力潮流安定性)、地質(とくに活断層がないこと、振動が小さいことなど)、アクセス・輸送の便利さ」の条件から適地を絞込んでいき、最終的に、日本のサイトがもっとも適しているという結論に至った⁹⁾。この過程で、日本では数十のサンプルサイトが2つにまで絞り込まれ、2013年、専門科学者の立場からサイトを検討してきたILC戦略会議は、許認可、施工上および運用上のリスク、工期・コストなど、技術的現実性の観点から北上サイトが最適であると判断した¹⁰⁾。

これを受けて、LCCでは、日本政府の正式受入れ承認を待ちながらも、北上サイトに焦点を絞って関連する実験装置や研究施設の研究開発を進めてきている¹¹⁾。これに並行して、北上サイトでは、地下空間の計画と設計の精度を高めるために、さらに、詳細な地形・地質調査が実施され、その結果にもとづいて、詳細な技術検討が展開されている。

次に、こうした最近の研究開発成果の中から地下空間の計画設計に関するものを紹介する。

3-2 地形概要

北上山地は、南北250km、東西80kmに及ぶ非火山性の山地である。尾根には定高性があり、起伏が小さくならかな高原状地形を示し、隆起準平原とされている。このうちILCの建設予定地点(図-2)は、北上山地の南部にあたる。

当該地域では、^{ひとかべ}人首深成岩体、^{せんまど}千巖深成岩体の周囲が貫入時の接触変成作用により硬質なホルンフェルスとなっているため、花崗岩体を縁取るように、しづく状の地形を形成している。この中で、

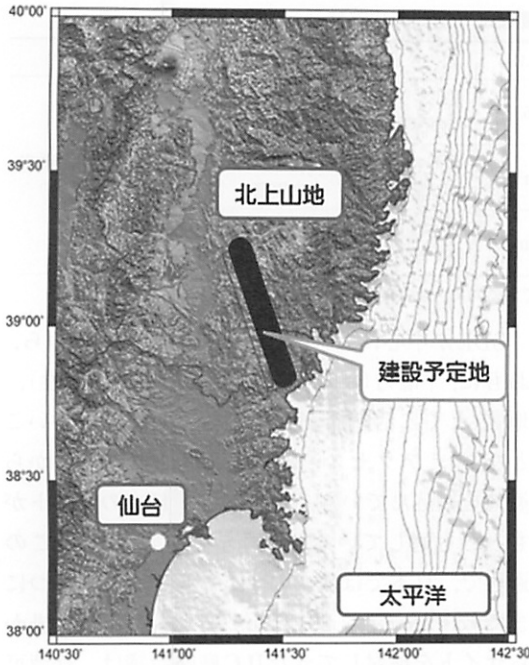


図-2 ILC 研究施設の建設予定地点

ILCの計画地沿いでは、花崗岩類からなる山体が、全体になだらかな高原状の地形(標高400~500m程度の山体)をなしている。花崗岩類の周囲は熱変成が進んだ中・古生層が分布しており、標高700~800mの山体が多く存在する。

3-3 地質概要

北上山地は、おもに古・中生代の堆積岩類とそれに貫入する白亜紀の花崗岩類からなる。地質的には、盛岡から釜石に位置する北西-南東方向の早池峰構造帯を境にして、北部北上山地と南部北上山地に分けられる。ILCの計画地は南部北上山地の地質であり、先シルル系を基盤岩として浅海性の堆積岩に花崗岩を主とする深成岩体が併入している。

図-3に示すように、ILCの地下空洞は、南部北上山地の南西部に接しながら続く人首深成岩体、千厩深成岩体および折壁複合深成岩体を掘削することになり、50kmまで施設延長した場合、南側の一部で中生代三畳系にあたる稲井層群に至ることになる。延長31kmの一期工事でトンネル掘削することになる人首深成岩体と千厩深成岩体は、ボーリング孔で熱水変質の影響や長石の風化を受

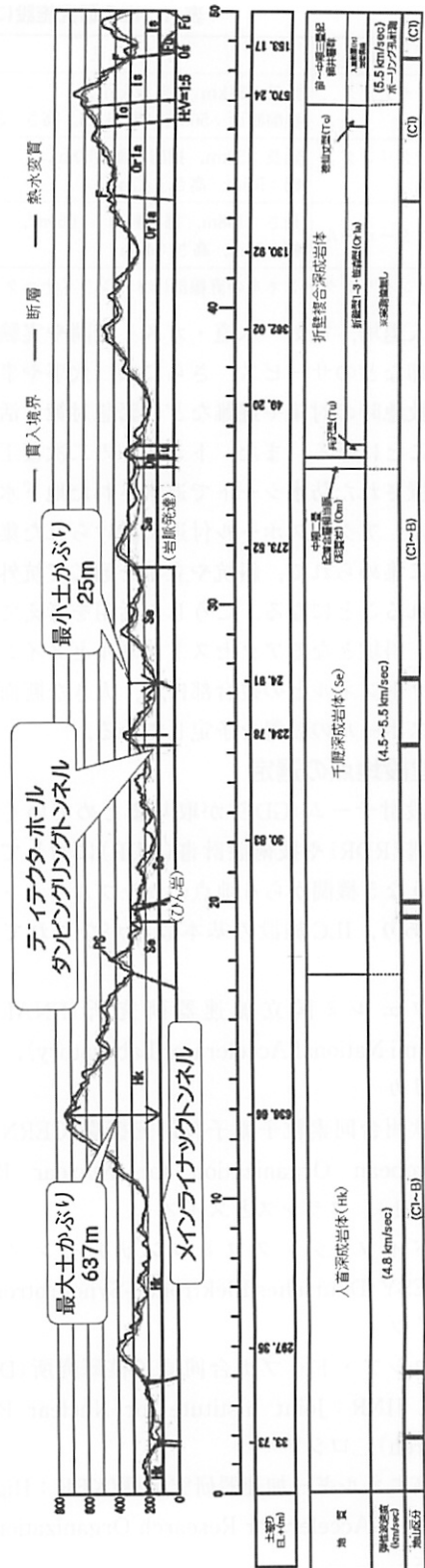


図-3 ILC施設の建設地点における地質概要とトンネル土かぶり

ける場合が見られるものの、全体的に硬質で健全な花崗岩類(P波速度は4.8～6.0km/secであり、一軸圧縮強度は100～150MN/m²程度)をトンネル掘削することになると予想されている。しかし、石英閃緑岩よりも石英の含有が多いトータル岩が主体との報告もあり、トンネル掘削中の削岩機のロットやビットの損耗が激しくなることが懸念されている。また、一部区間で、花崗岩の風化や玢岩の貫入によって、脆弱な地山や突発的な湧水に遭遇する可能が残されている。このため、トンネル施工に際して、急変する岩質変化や突発湧水に対応できるように、事前に備えておくことが肝要となる。

4 ILC計画の地下施設

4-1 メインライナックトンネル

メインライナックトンネルは、現在、図-4に示すように、吹付けロックボルト工法によって掘削する、かまぼこ型断面で計画されている。トンネルの掘削断面積と扁平率(縦横比)は、それぞれ56m²、0.5であり、在来型新幹線トンネル(掘削断面積73～80m²、扁平率:0.8)よりは断面積が2.5割程度少なく、4割程度扁平な断面性状を示している。また、断面の中央に設置するコンクリート製の隔壁によって、次のような2つの空間に区画されている。

① 加速器空間：超伝導加速器(クライオ・モジュール)を設置

② 高周波装置空間：加速器へ高周波を供給するクライストロンや電源機器などを設置

メインライナックトンネルやダンピングリングトンネルへのアクセストンネルは、下り勾配で掘削される予定である。一方、冷却のために用いる液体ヘリウムの液面を水平近くに保つ必要があり、加速器設置されるトンネルの大部分は、ジオイド面に沿って加速器を設置する必要があるとされている。このため坑内湧水を自然流下させにくい環境にある。この課題を解決するために、現在、現地の山岳地形をうまく利用して、坑内水を坑外へ自然流下で排出できるような排水トンネルの可能

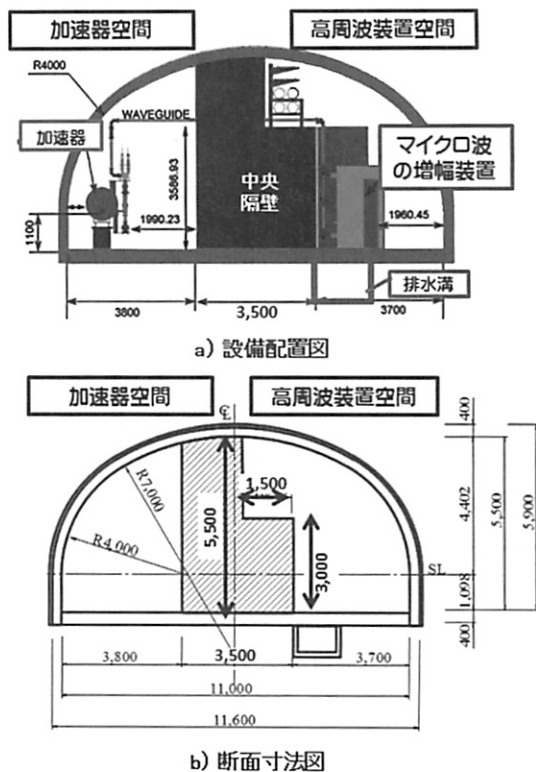


図-4 メインライナックトンネル断面

性を探っている。しかし、適切な排水トンネルが設置できない場合は、水気を嫌う精密試験装置をうまく保護しながらもいかに効率的に坑内水を坑外へ排出するかが大きな課題となる。これに対して、トンネル底盤下部に設置する排水溝の縦断勾配やアクセストンネルとの交点部における排水ビットやリレーポンプの規模や能力などの検討をしている。

中央隔壁は、ビーム運転によって発生する放射線を遮蔽することを主目的としている。そして、基本設計では、ビーム運転中でも高周波(Radio Frequency, RF)装置のメンテナンスのために人が立入ることができるという計画を立てた。さらに、万が一の火災やヘリウムガスのリークなどの災害時には、この隔壁によって、片方の空間が避難路となり、施設の冗長性を確保することが可能となる。このトンネル構造は、大深度地下空間となるILC施設にとって宿命的な課題とも言える防災機能の向上に大きく寄与するものと位置づけら

れている。

4-1-1 中央隔壁とトンネル断面

前述した基本設計段階の考えに対して、コスト削減の可能性を検討する目的で、ビーム運転中のメンテナンスをなくした場合を想定して、メインライナックトンネルの中央隔壁の厚さと断面形状を検討した。基本計画で3.5mであった中央隔壁の厚さを2.5~1.5mに変更することによって、建設費は、1~2割程度削減できる。図-5に、中央隔壁の厚さが2.5mの場合のトンネル形状を示す。

中央隔壁の厚さに関しては、単なる構造上の問題だけでなく、今後の実験やメンテナンスの作業手順と施設の安全管理上のスキームとも関連することになる。このため、さらに、厚さ1.5mを中心にして、費用対効果だけでなく、安全や安心を含めた幅広い検討が加えられ始めている。

4-1-2 インバートコンクリート

メインライナックトンネルは、おもに新鮮で健全な白亜紀の花崗岩類を掘削することを想定しているため、これまでインバートコンクリートの検討を十分にしていなかった。しかし、千厩岩体、人首岩体、折壁岩体のそれぞれの境界付近や珩岩の貫入箇所や地表面付近では、亀裂帯や熱水変質帯や風化帯に遭遇する可能性が高い。そして、不良岩体をトンネル掘削する場合、遭遇時に敏速な対応ができるように、事前に掘削方法や支保パターンを準備しておくことが重要である。

こうした背景を受けて、検討したインバートコンクリートの適用について、隔壁厚さ2.5mの場合(図-6)を例にして紹介する。トンネル構造物には、掘削後、地盤内の応力再配分やプレートテクトニクスなどの影響で、さまざまな応力再配分挙動(後荷現象と呼ばれている)が生じることになる。基本設計されたメインライナックトンネルの覆工コンクリートでは、作用荷重が増加すると、覆工コンクリートの脚部の地盤だけで抵抗することになり、その部分の地盤の強度が小さい場合、支えきれないことになる。一方、底盤コンクリートは地盤の上部に置いてあるだけの状態であり、底盤を押し上げるような変位挙動に対して、抵抗する

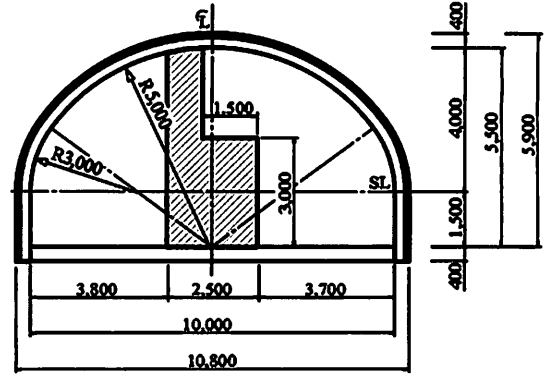


図-5 中央隔壁厚が2.5mの時のメインライナックトンネル断面

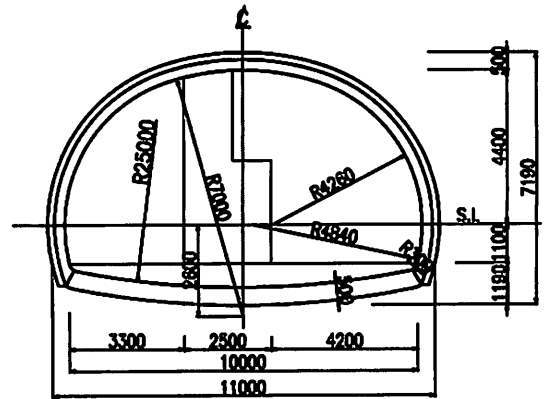


図-6 メインライナックトンネルのインバートコンクリート

構造になっていない。このため、鉛直方向の作用荷重の増加に関して、抵抗力が小さい構造形式になっている。

これに対して、覆工コンクリート脚部の応力集中を分散させて、より広い範囲の地盤で作用荷重を支えることができるように、インバートコンクリートの上に覆工コンクリートを載せ、作用荷重を支えるために発生している覆工コンクリートの軸力を、極力、インバートコンクリートに(せん断力ではなく)軸力として伝わるような構造にする必要が生じる。こうした考えから図-6のようなインバートコンクリートが計画されている。

4-2 ディテクターホール

電子と陽電子を衝突させ、その後のエネルギー状態を観測するディテクターホール(図-7)は、幅25m、高さ42m、延長108mの弾頭型の地下空洞

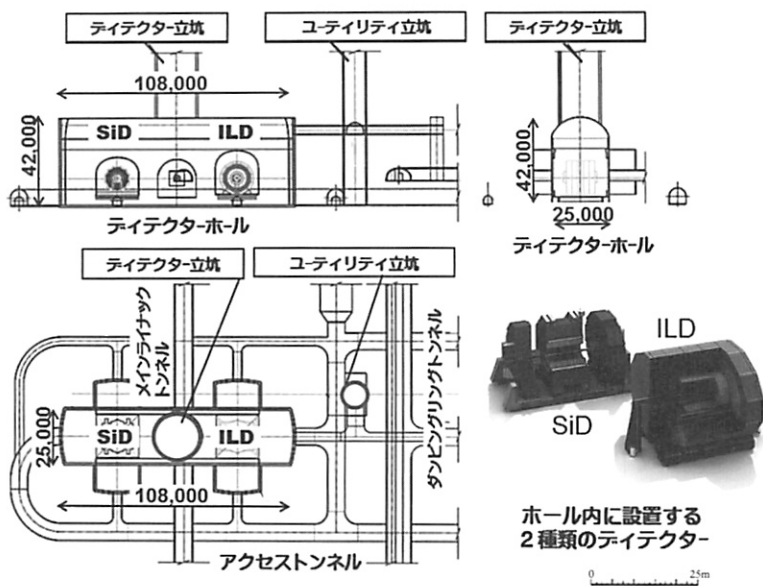


図-7 ディテクターホールとその周辺

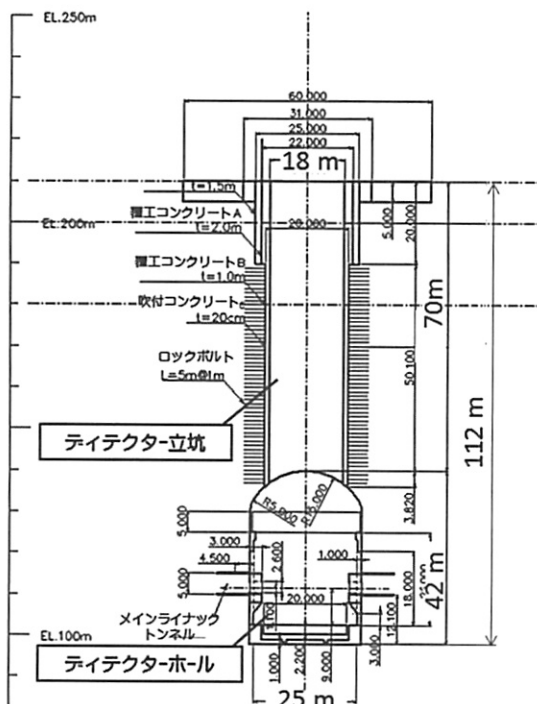


図-8 ディテクター立坑と坑外仮設

であり、ホールの底面から10mの高さの位置に直交するようにメインライナックトンネルが設置されている。ホール内には、観測精度を高めるために、ILD(国際大型測定器、重量約15,000t)とSiD(シリコン測定器、重量10,000t)の2種類の

違った方式のディテクターが設置される。

この2種類のディテクターを互いに入れ替えて、同じ現象を観測することになるため、ホール内には、メインライナックトンネルを挟んで、アルコーブと呼ばれるディテクターの設置やメンテナンスのためのスペースが設けられ、ディテクターや周辺機器装置の揚重のために、天井クレーン(250t×2機)が設置される。

ディテクターはコンクリート製のエアパレット(D:20m, W:20m, H:3m)上に設置し、

パレットと一緒に移動することになる。アルコーブは、移動されたディテクターを挟んでホールの両側面に合計4か所設置される。アルコーブの空洞寸法は、幅20m、高さ18~20.5m、延長12.5mである。

4-2-1 ディテクター立坑

地上で組み立てられたディテクターを、直接、ディテクターホールへ下ろすことができるように図-8のような立坑を計画した。この立坑によって、ディテクターの組立て工事と地下空間構築工事とが、互いに影響を受けることなく、個別に実施することができるようになる。また、地下のディテクターホールは、組立て作業を考えるとなく、ディテクターの設置と実験と保守点検に必要な空間として設計することができる。

結果として、当初の斜坑案に比べて立坑の建設工期が9か月ほど長くなるが、ディテクターの組立て工事とディテクターホールの建設工事が短くなり、全体としては、当初計画より1割以上の工期短縮を図ることが可能となった。

4-3 ビームディリバリーシステム(BDS)

ビームディリバリーシステムは、メインライナックの終端部から受継いだ電子と陽電子ビームを、目標光度が得られるまでビームサイズを絞り

込んでから、衝突点に送り込むための最終段階にある加速器である。

ビームを輸送する機能以外にも、ライナックからのビームハローを除去してディテクターのバックグラウンドを最小限にする役割および衝突前後のビームパラメータを精密に測定する役割など、多岐にわたる機能を有している。

基本設計段階では、サービストンネル($H:4\text{ m}$, $W:4.5\text{ m}$, $A:21.9\text{ m}^2$)とビームディリバリーシステムトンネル($H:5\text{ m}$, $W:8\text{ m}$, $A:41.9\text{ m}^2$)の2本に分けて計画されてきたが、現在、図-9に示すように、厚さ1.5mのコンクリート隔壁で仕切られた1本のトンネル(幅10m)に集約できるかどうかの技術検討が開始されている。

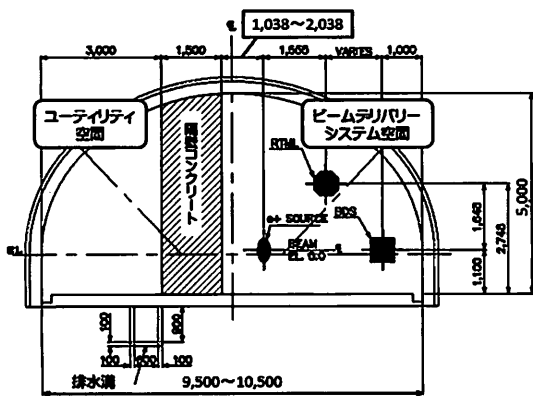


図-9 統合型ビームディリバリーシステムトンネル

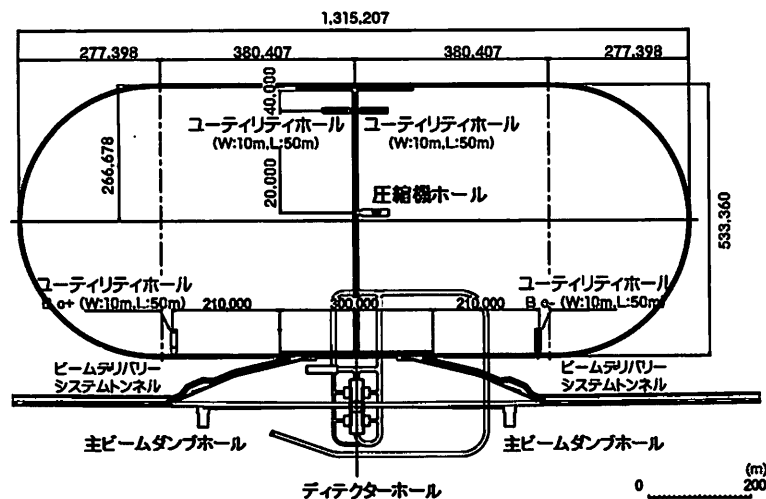


図-10 ダンピングリングトンネルと周辺施設

4-4 ダンピングリングトンネル

ジェネレーターで生成された電子と陽電子ビームは、いったん、ダンピングリング内でエミッタンスを低減し、整えられたあとに、ライナックへ送り込まれる。このとき、ダンピングリング内は、各ビームは反対方向に周回するように、1つのトンネル内に電子リングと陽電子リングが2層に設置されている。

ダンピングリングトンネルは、図-10に示すように、半径約267mの急曲線を有する延長約3.2 kmのレーストラック形状をしている。基本的に全周ジオイド面に沿った縦断線形となる。また、ダンピングリング内には幅10m、長さ50mほどの冷却装置を設置するユーティリティホールが4か所、避難用横坑が4か所計画されている。

直線部のトンネル断面は、メインライナックトンネルと同じであり、覆工コンクリートが施工され、湧水に対して適切な防水・排水構造となることが求められている。

4-5 アクセス施設(斜坑, 立坑)

地下施設と地上施設を連絡するアクセストンネルとしては、次の4種類が計画されている。

- ① メインライナックトンネルへのアクセス斜坑：内空幅8 m、高さ7.5m、勾配10%以下で、約5 km間隔にメインライナックトンネルと直交するように設置(合計8本)
- ② ダンピングリングトンネルへのアクセス斜坑：メインライナックトンネルへのアクセス斜坑と同断面
- ③ ディテクターホールへのアクセス立坑(ディテクター立坑)：内空幅18m、高さ70m
- ④ ユーティリティホールへのアクセス立坑(ユーティリティ立坑)：内空幅10m、高さ100m

アクセス施設は、ILC地下施設群と地上を連絡する通路とな

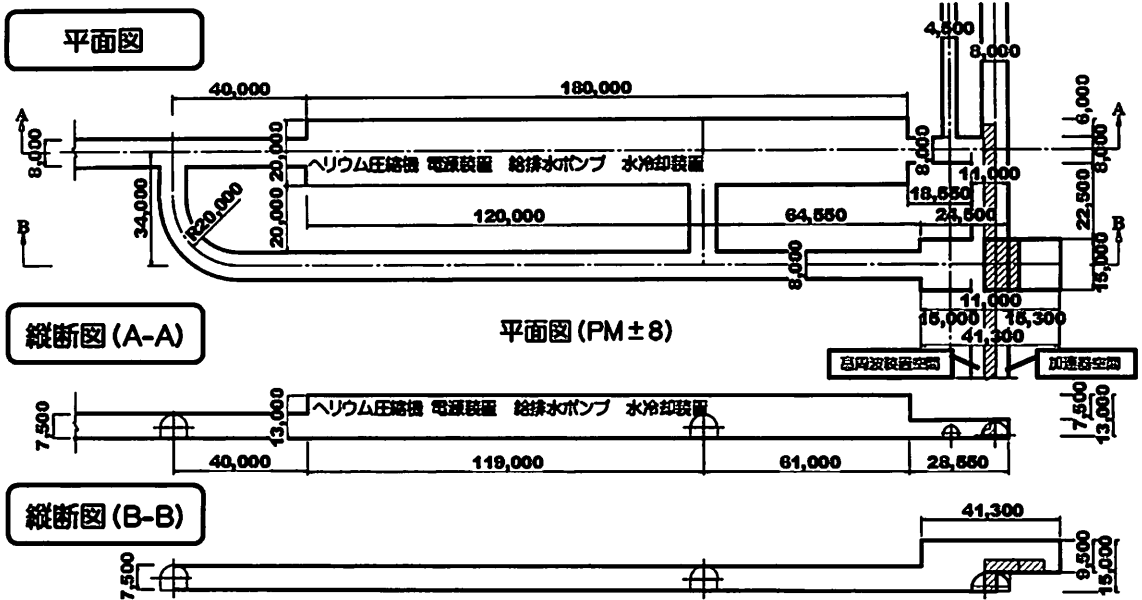


図-11 アクセスホール

るため、建設時の施工性、機械・装置類設置時の作業性、さらに維持管理上の経済性を総合的に判断して平面・縦断線形、内空断面、仕様、接続方法などを検討して決定した。アクセス施設の仕上げには、経済性を考慮して、おもに吹付けコンクリートを用いた支保構造としている。

4-6 アクセスホール

メインライナックトンネルの約5kmおきに設置されるアクセストンネルとの交点部には、内空幅20m、高さ13m、延長180mのアクセスホールを設置する。このホール内には、図-11に示すように、ヘリウム圧縮機(41m)、電源設備(30m)、配管装置(10m)、冷却水装置(20m)、コールドボックスやヘリウム用タンク(51m)を設置する予定である。

メインライナックトンネルとの接合部には、トンネルの両端に幅15m、高さ15m、長さ41mの小空洞が設けられ、トンネル内の高周波装置などにつながる機器が設置される。現在、更なる安全性と維持管理作業の効率性の向上を目的にヘリウム冷却機器(Cryogenics)の配置計画の見直し作業が進められており、地上への移設が適当と判断されれば、このアクセスホールの空洞延長は半分

程度に縮められることになる。

5 ILC計画の概略工程

ILC計画の地下空間施設建設とその計画設計の概略工程を図-12に示す。現在(2015年)、基本設計が終わった段階にあるが、ILC計画の政府承認を待って本研究施設の建設と研究推進の中核機関となるILC研究所を設立して、本計画の実現に向けて本格的な活動を実施することになる。しかし、当面、高エネルギー加速器研究機構が中心になって、できる範囲の作業を進めている。

今後、詳細設計から実施設計を実施して、地下空間施設のコストも含めた設計仕様を煮詰めていくことになる。そして、その設計計画にもとづいて、建設工事が開始される。

現在、地下空間の設計と建設工事に、13年かかると見積もられているが、地下空間は地上構造物と違い、事前に設計条件を完全に確定しにくい。このため、地下空間建設は、計画・設計・施工の段階ごとに、工期短縮やコスト削減を進める必要がある。この意味で、クリティカルになる項目を事前に抽出し、できる限り事前に対応しておくことが重要とされている。

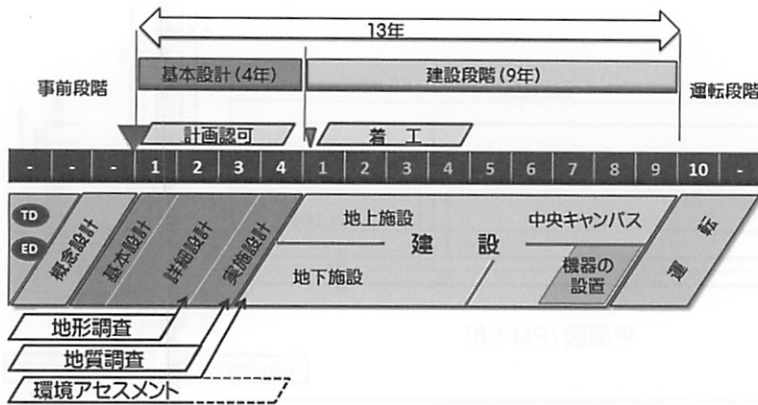


図-12 ILC計画の地下空間施設建設に関する概略工程

例えば、広域にわたる地下空間建設に関しては、計画時の環境アセスメントが重要な事項で、最低でも3年かかり、場合によっては、さらに多くの年月が必要になる。このため、工期を短縮するためには、環境アセスメントや関連する調査を早い時期に進める必要がある。また、大規模な地下空洞となるディテクターホールの頂設部分に地質調査坑を施工して、環境アセスメントや大空洞の詳細設計に必要な調査・試験を原位置で行い、この結果を用いて、より経済的な支保形式や空洞形状の実施設設計を行うことも模索されている。さらに、その地質調査坑は、工事が輻輳し、全体工事のクリティカルになると懸念されているディテクター立坑の底部でのずり出し用の作業坑として活用することができれば、掘削工事の進捗が著しく改善されることになる。

このように、現時点でも、全体工程を勘案しながらも、工期短縮や工事費の削減に向けて、施策を立案し、実施していくことが重要であると考えている。

6 おわりに

日本における地下空間は、従来、世界的にも多くの施設開発がされてきたが、その活用は、道路、鉄道、発電所、上下水道などのインフラ関連施設に限られてきた。そして、それらの地下空間施設は、事業者ごとに独自の設計手法や指針を作って、計画・施工が実施されてきた。一方、近年、地下

河川や貯水槽、地下備蓄基地などの新しい施設¹²⁾、更には、美術館¹³⁾や食物貯蔵倉庫などのような建築物にも活用されるようになってきている。こうした地下施設は、事業者が同じような施設をくり返し建設することが少ない。また、基本的には、事業者が独自の設計・施工指針を持つことが少なく、例えば、監督官庁の安全基準や建築基準法¹⁴⁾などをもとにした安全審査

を受けて、設計・施工を実施することになる。

これらと同様に、ILC計画は、これまでになかったような構造形式や構造機能が求められるようになってきている。さらに、地下深くに加速器実験施設を建設した経験のある欧米に比べて、わが国では同じような地下空洞を施工したことがなく、関連する情報がほとんど整わない状況で計画が進められる状況にあった。

このため、2005年、ILC施設の日本誘致を成功させるために、日本でのILC建設が他国よりも魅力的であることを示したいので支援して欲しいという依頼が、高エネルギー加速器研究機構から土木学会にあった。これを受けて、世界的にも珍しく特殊な地下空間となるILC研究施設を実現させるために、日本の産官学に属しているトンネルや地下空洞建設に携わっている現役の岩盤工学のエキスパートが、ボランティア活動として、これまでさまざまな立場や分野の事業目的で研究開発してきた世界に誇るわが国の地下空間構築技術を集約させて、最適に組み合わせ、本研究施設の建設に活用できるようにしたいと考えて、『国際リニアコライダー(ILC)施設の土木工事に関するガイドライン』¹⁴⁾をまとめた。

海外の研究者や技術者からは、このガイドラインの技術的な内容もさることながら、いろいろな事業分野の産官学の研究者や技術者が、一堂に会して、このようなガイドラインをまとめ上げたこと、いわゆる日本特有の「和の精神」こそが、日

本における ILC 建設の一番の魅力になるとの評価を受けている。

今回、プレ ILC 研究所となるリニアコライダー計画推進室の活動の中間成果を整理する目的で、本稿にまとめた。今後、ILC 計画は、さらに、広範囲で研究開発されてきた技術を活用して、より高品質で、経済的な計画になるように、基本設計の見直しを図っていきたいと考えている。

最後になるが、ILC 計画の地下空間施設のこれまでの具体的な計画・設計は、ILC 計画に関係する産官学の科学者や技術者だけでなく土木学会の岩盤力学委員会とトンネル工学委員会や先端加速器科学技術推進協議会からの強力な支援の賜であり、ここで改めて謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) Linear Collider Collaboration (LCC) : International Linear Collider Progress Report, https://www.ilc.kek.jp/LCoffice/OfficeAdmin/Test/Progress%20Report_final151029.pdf, 2015.
- 2) ILC Global Design Effort (GDE) : ILC Reference Design Report, <http://www.linearcollider.org/about/Publications/Reference-Design-Report>, 2007.
- 3) 東北 ILC 推進協議会 : 東日本大震災からの復興に向けて、ILC を核とした東北の将来ビジョン, 2012.
- 4) ILC Global Design Effort (GDE) : ILC Technical Design Report, <https://www.linearcollider.org/ILC/Publications/Technical-Design-Report>, 2013.
- 5) Chikahisa, H., Enomoto, A., Mityanhara, M. and Mashimo, H. : Current plan of underground openings for international linear collider in Asia and the development of its guidelines, the 13th World Conference of the Associated Research Centers for the Urban Underground Space (ACUUS), Singapore, pp.1375-1385, 2012.
- 6) Enomoto, A., Tanaka, M. and Chikahisa, H. : PRESENT STATUS OF THE ILC CONVENTIONAL FACILITY DESIGN, 5th Annual Meeting of PASJ and 33rd Linear Accelerator Meeting, pp.177-179, 2008.
- 7) Yamamoto, A. : Problems and requests from ILC-GDE (the present status and requests), JSCE, 41th Japanese Symposium on Rock Mechanics, 2012.
- 8) 榎本取志・宮原正信・近久博志 : 日本における国際リニアコライダー(ILC)の地下空洞の計画の現状, 岩の力学国内ニュース, pp.5-8, 2012.
- 9) Brumfiel, G. : Japan in pole position to host particle smasher, <http://www.nature.com/news/japan-in-pole-position-to-host-particle-smasher-1.12047>, 2012.
- 10) ILC 戦略会議 : 国際リニアコライダー 圏内候補地の立地評価会議の結果について立地評価会議の結果について, <http://ilc-str.jp/topics/2013/08231145/>, 2013.
- 11) ILC Organisation : Status of the project, <https://www.linearcollider.org/ILC/What-is-the-ILC/Status-of-the-project>.
- 12) 「大規模地下空洞」連載小委員会 : 岩盤地下空洞の新たな活用, 北欧における不特定多数が活用する岩盤地下空洞, トンネルと地下, Vol.30, No.1, pp.73-82, 1999.1.
- 13) Nakada, K., Chikahisa, H., Kobayashi, K. and Sakurai, S. : Plan and Survey of an Underground Art Museum in Japan. Using a Large-Scale Rock Cavern, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol4, No.11, pp.16-23, 1996.
- 14) JSCE ILC Committee : Development of the guidelines on civil works for International Linear Collider (ILC) facility, JSCE, 41th Japanese Symposium on Rock Mechanics, 2012.

岩盤地下空洞の設計と施工

E. フック・E. T. ブラウン共著 / 小野寺透・吉中龍之進・斎藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)



株式
会社

土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072