

# 宇宙の起源と終焉の解明のための地下空間を利用した研究施設 国際リニアコライダー(ILC)計画

宮原 正信 (大) 高エネルギー加速器研究機構  
山本 明 (大) 高エネルギー加速器研究機構  
秋田 勝次 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
近久 博志 (株) 地盤システム研究所

## 1. はじめに

近年、日本における成長社会から成熟社会への変革は、社会の構成要素である建設構造物にまで影響を及ぼし、求められる建造物が、多様化し、複合化するようになった。特に、成長社会においては、止めどもなく発生する課題を、効率的に、数多く解決することが重要であったが、成熟社会では、専門技術者が社会のニーズの中に入り込み、自らの課題を見つけ出し、タイムリーに解決していくことが重要となってきた。こうした社会にある潜在的なニーズの掘り起こしとその実現化のためには、これまでの概念から離れた新しい価値観の創造に繋がるようなことが求められるようになってきている。本書では、社会の構造的な変化の中で、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<sup>1)2)</sup>(図-1)の地下空間利用について紹介する。

本計画は、2013年のノーベル物理学賞受賞に繋がったヒッグス粒子の発見に続き、宇宙の起源と宇宙の創造と終焉の解明、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繋げるために、国際純粋・応用物理学会が、現在、強く推し進めているものである。後述する技術設計書(TDR: Technical Design Report)<sup>3)</sup>の段階までは、幾つかの機会<sup>4),5)</sup>を捉えて紹介してきたため、本書では、全体計画を概説した後に、主に、TDR 以後の検討課題<sup>6)</sup>と対策案について論じることとする。



図-1 国際リニアコライダー計画のイメージ

## 2. 国際リニアコライダー研究施設<sup>1)</sup>

2004年、IUPAP(International Union of Pure and Applied Physics)は、世界で一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(ILC: International Linear Collider)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)<sup>7)</sup>を、2012年末にはTDR<sup>3)</sup>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(欧州原子核研究機構、European Organization for Nuclear Research)が推進するもう一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、今後の直線型加速器(Linear Collider)とその測定器の研究を実施することとなった。そして、永年にわたって各国からの提案や調査結果などを検討した結果、2013年、LCCは、日本の北上山地内の岩盤空洞がILCの建設地として最も相応しいと判断した<sup>8)</sup>。

図-2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。つぎに、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、加速しながら中央部に向かって進んで行く。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、その時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ダにまで絞り込んだ後に、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、周辺環境に影響を受け易く大気圧、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なくする必要があるので、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。一方で、この研究施設は、世界中から多くの人材が集まる素粒子物理学の研

研究拠点となり、研究者とその家族だけで約1万人が集う都市を創生する。ここでは、日本の既存社会と世界の宗教・文化・習慣を持つ人が融合し、これまでになかった新しい都市モデルが形成されることになる。

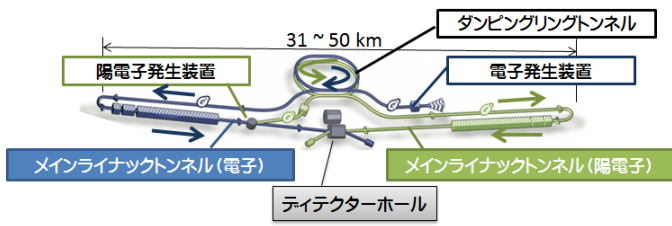


図2 ILC 施設レイアウト

### 3. ILC 施設計画の概要

#### 3.1 ILC 研究拠点を核とした国際科学技術研究圏域のコンセプト<sup>9)</sup>

ILC 研究施設を核とした国際科学技術研究圏域は、図-3に示すように、5つの要素（科学・技術・情報・交流・生活）を条件とする「世界の頭脳が集積し最先端の科学創造と技術革新を先導する圏域」及び「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」の2つの創生コンセプトを持っている。また、東北の社会基盤ストックを有効に活用し、新たな社会基盤投資を可能な限り抑制した多国籍共生により世界最先端の科学創造と技術革新を先導する圏域（マルチナショナル・サイエンスシティ）を創生する計画である。

#### 3.1.1 国際科学技術研究圏域の構成範囲

本国際科学技術研究圏域は、つぎの3つの範囲から構成される。

##### (1) 「中心範囲」

国際科学技術研究圏域の機能・空間両面での中心的な役割を担う地域を「中心範囲」と呼ぶ。「中心範囲」は、つぎのような2つのエリアから成り、世界からの研究者や家族の生活行動ニーズ、効率的な圏域整備を重視して、「中核研究拠点」を中心とする概ね半径15~20km、自動車移動30~40分の地域を想定している。

- ①最先端科学技術エリア・・・ILCの主要加速器実験施設、ILC国際研究所や世界の研究機関のオフィスからなる地域
- ②国際交流生活エリア・・・世界からの研究者・家族の住宅、世界の人々の生活に必要な国際的サービス施設などの立地を促す地域

##### (2) 「中域交流範囲」

「中心範囲」の後背地域としての機能を補完・強化する役割を担い、人・物資・情報の移動や集積が行われる地域を「中域交流範囲」と呼ぶ。ここでは、盛岡から仙台に至る南北の地域、西の奥羽山脈から東の沿岸都市（宮古、釜石、大船渡、気仙沼等）に至る東西

を包含した地域で、つぎのような機能を想定している。

- ①学術研究機関（東北大学等）や高度技術産業（自動車産業等）との ILC 研究施設を活用した研究を通じた連携
- ②ILC 研究に関連した設備や資機材の（港湾を活用した海運も含む）輸送による連携
- ③高次生活サービス機能（高度救命救急医療、買回品の物販等）やスポーツ・レジャー機能（プロスポーツ観戦、スキー、ゴルフ等）など、研究者やその家族への生活環境の提供

##### (3) 「広域連携範囲」

新潟県を含めた東北全域を対象に、ILCの研究活動との科学技術面での連携可能な東北の理工系大学や先端技術産業が集積し、連携可能な地域（連携範囲）として「広域連携範囲」を想定している。

#### 3.1.2 ILC 研究拠点を核とした国際科学技術研究圏域の建設と活動による経済波及効果

ILC 研究拠点の建設（10年）と運用（20年）により発生する全国ベースの経済波及効果は、非常に大きく、生産誘発額で約4.3兆円、誘発雇用者数で約25万人（年平均で約8,300人）になると推計されている。ILC 研究拠点は、加速器分野における科学技術の高度化だけでなく、「利用者（ユーザー）産業」と「供給者（サプライヤー）産業」の双方において、技術・産業イノベーションをもたらすことも期待されている。

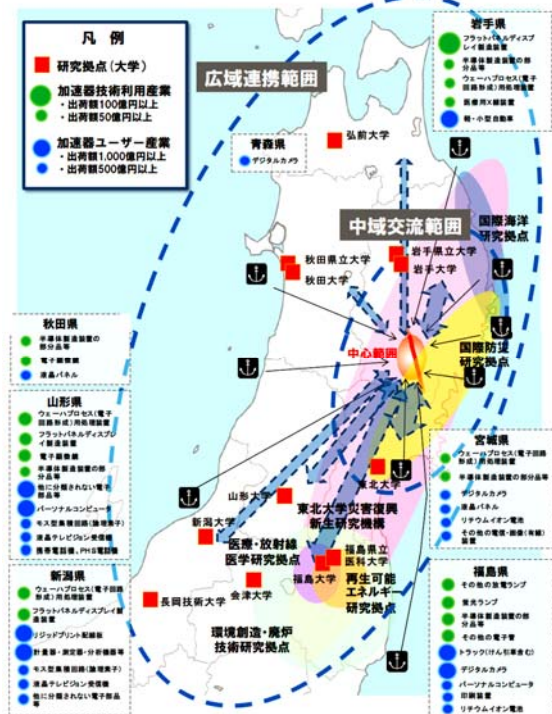


図3 日本における国際リニアコライダー計画の建設地点<sup>9)</sup>

今後、ILC 研究に関連した加速器分野の技術革新によって、素材産業、自動車産業、電気電子産業などの東北における「利用（ユーザー）産業」だけでなく、重電産業、機械産業、建設土木業等の「供給（サプライヤー）産業」の双方において、技術・産業イノベーションをもたらすことも期待されている。



イヤー) 産業」においても、技術・産業イノベーションが進展することになり、これらを起爆剤にして、裾野が広く、多様な産業にまでさらに拡大していくことが見込まれている。さらに、ILC に関連した研究開発から派生する技術に触発されて域内の産業技術力向上にも資することも期待されている。そして、その国際研究推進拠点の整備と充実を、現在進行中である東北の復興に組み入れることで、両者の相乗効果がさらに高まるものと考えられている。こうした期待から、東北地方では自治体、産業界、経済界、関連する企業、地域などが一丸となって、ILC 計画の実現を切望し、推進しようとしている。

#### 4. ILC 研究施設計画と地形・地質

図-4 に ILC 計画の地下空間を利用した研究施設のレイアウトを示す。本施設は、次の3つが中核を占めることになる。

- 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を衝突させるディテクターホール (検出器ホール)

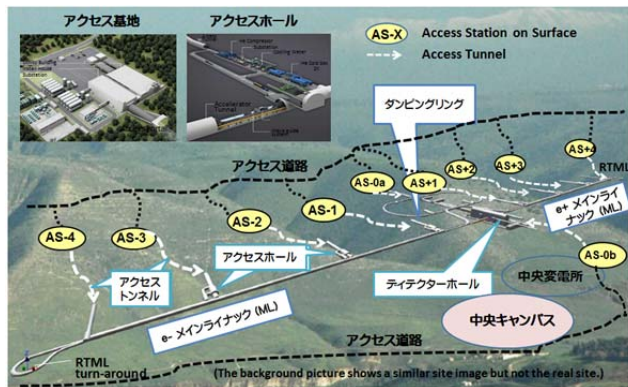


図-4 国際リニアコライダー計画の地下構造物の概要

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、土被りが25から600m程度の地下深くに線形に設置される。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設置される2本の立坑が予定されている。そして、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、地下空間構築や実験や保守点検中のための資機材や装置の入搬出、これに関連した重車両の入退場、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、一旦、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、特に、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、断面が大きく入り組んだアクセスホールの設置を予定している。

#### 4.1 地形概要

北上山地は、南北250km、東西80kmにおよぶ非火山性の山地である。尾根には定高性があり、起伏が小さくなだらかな高原状地形を示し、隆起準平原とされている。東北日本弧には構造性盆地が発達するが、北上山地には見られない。また、全体的に大規模な河川はなく、川沿いの谷は概して幅広くゆるやかである。このうち ILC の建設予定地点(図-5)は、北上山地の南部にあたり、ルートから約10~20kmの位置に一関市、奥州市水沢区、同平泉、同江刺区と続いている。

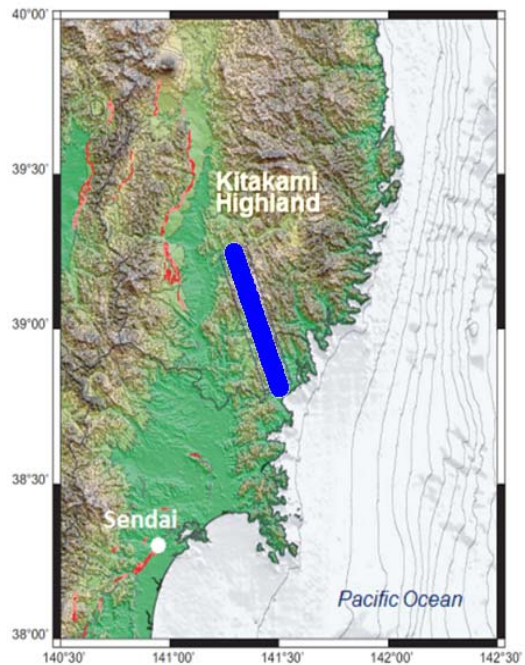


図-5 ILC 研究施設の建設予定地点

地形の特徴としては、人首地区から鳥海川沿いに続く帯状の地形と沖田地区から藤沢町に続く”しずく状の地形”が上げられる。これらの地形は、人首深成岩体、千厩深成岩体に属する花崗岩類の分布地と一致しており、花崗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、風化の進みやすい花崗岩体を縁取るような地形を形成している。ILC 計画地点の西側は、北上山地の西縁となる北上川が北から南に向けて流下しており、計画地内の河川はこの北上川の支流であることが多いため、大部分の河川は蛇行しながらも東から西に向けて流れている。ILC の計画地沿いでは、標高700~900mの山体が多く形成されている。花崗岩類からなる山体は、阿原山が最も高く標高782mである。そのほかは、標高400~500m程度の山体が見られる程度で、全体になだらかな

高原状の地形となっている。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 700~800 m の山体が多く存在する。北から、天狗岩山（標高 775m）、蓬萊山（標高 788m）、徳仙丈山（標高 712m）などで、この付近の最高点となる室根山（標高 895m）は古生層や折壁複合深成岩体に岩脈群が貫入して形成されている。

#### 4.2 地質概要

北上山地は、主に古・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、ILC の計画地は、このうち南部北上山地に含まれる。北部北上山地に分布する地質は、西側の葛巻―釜石帯と東側の安家―田野畑帯に分けられるが、いずれもチャート等の異地性岩体を含む中・古生層を主とするのに対して、南部北上山地の地質は先シルル系を基盤岩として浅海性の堆積岩が分布している。そして、これらの地質に花崗岩を主とする深成岩体が多く併入する。

図-6 と図-7 に示したように、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。花崗岩を取り囲む地質は北側でより古い地質が露出しており、宮守、母体付近で当地区の基盤岩となる先シルル系の塩基性岩類や変成岩類が見られ、その南側で人首深成岩体、千厩深成岩体に接して石炭系が分布する。そして、この石炭系と人首深成岩体および折壁複合深成岩体を取り囲むように二畳系が見られ、その南側に稲井層群などの泥岩、砂岩およびその互層から成る三畳系が分布している。

こうした地質に対して、地下空間建設のために実施

された工学的な調査試験結果を整理すると次のようになる。図-8 に、メインライナックトンネルの計画断面での速度検層結果を示す。人首深成岩体は、ボーリング孔で熱水変質の影響や長石の風化を受ける場合が見られるものの、速度検層結果の P 波速度は 4.8km/sec 以上であり、一軸圧縮強度は 150MN/m<sup>2</sup> 前後の値を示している。また、千厩深成岩体では、屈折法地震探査、速度検層やコアの超音波測定の結果、P 波速度は 5~6km/sec であり、一軸圧縮強度は 100~150MN/m<sup>2</sup> 程度の値になっている。折壁複合深成岩体や折壁複合深成岩体など、今後の調査結果を待つ必要があるものの、現状では、硬質で、健全な花崗岩類（稲井層群での中生代の堆積岩）をトンネル掘削することになると予想されている。特に、人首・千厩岩体では、石英閃緑岩よりも石英の含有が多いトーナル岩が主体との報告も有り、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る。

また、一部区間で、玢岩の貫入や風化によって、脆弱な地山や突発的な湧水に遭遇する可能性が残されている。このため、トンネル施工に際して、急変する岩質

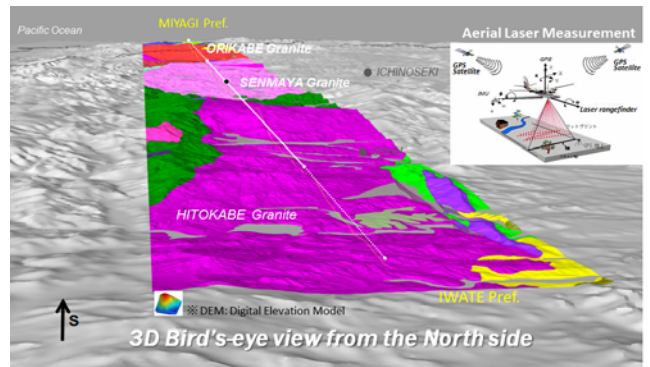


図-6 ILC 施設の建設地点の地質分布

変化や突発湧水に対応できるように、事前に、備えて

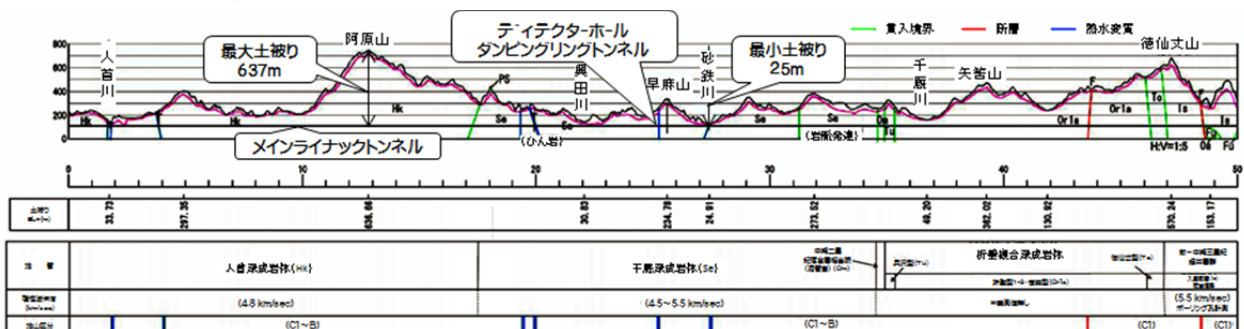


図-7 ILC 施設の建設地点における地質概要とトンネル土被り

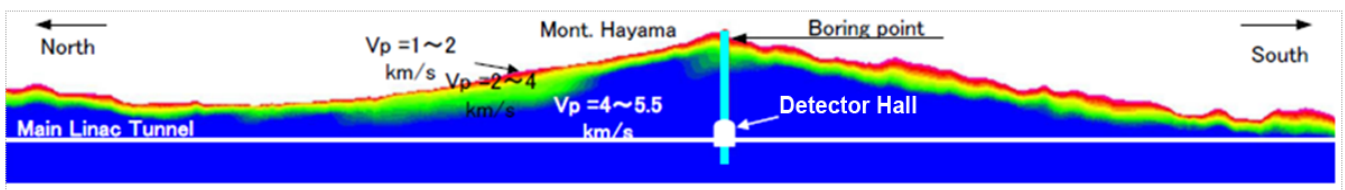


図-8 ILC 施設の建設地点の弾性波分布



おくことが肝要であると考えられている。

## 5. ILC 計画の地下施設

### 5.1 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-9** に示すように、吹き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。トンネル断面の中央に設置するコンクリート製の隔壁によって、つぎのような二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

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。このため、ビーム運転中でも高周波（Radio Frequency, 以後 RF）機器のメンテナンスのために人が立ち入ることができるというメリットを有することになる。さらに、万が一の火災やヘリウムガスのリーク等の災害時には、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ている。

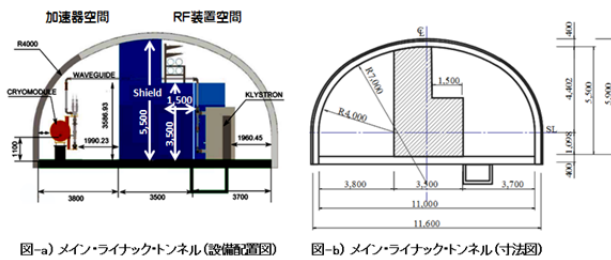


図-9 メインライナックトンネル断面

#### 5.1.1 中央隔壁とトンネル断面

こう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無くした場合を想定して、**図-10** のようなメインライナックトンネルを検討した。

中央隔壁の厚さの変更によって、基本設計では 65 m<sup>2</sup>であったメインライナックトンネルの掘削断面積は、62~60 m<sup>2</sup>に減少し、建設費は、2 割程度削減できる。中央隔壁の厚さや有無に関しては、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事になる。このため、結論に関しては、費用対効果だけでなく、安全や安心を含めた幅広い観点から判断が必要になり、今後の詳細検討の結果を待つ必要がある。

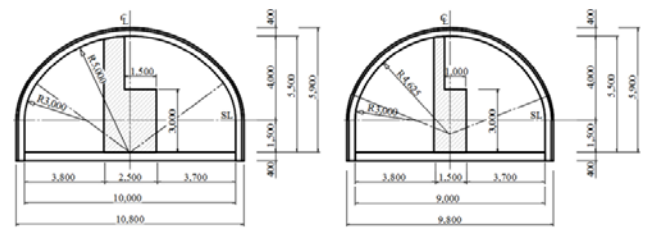


図-10 メインライナックトンネル断面と中央隔壁の変化

#### 5.1.2 インバートコンクリート

##### 5.1.2 インバートコンクリート

メインライナックトンネルは、主に、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玢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出来るように、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 の場合を例にして紹介する。トンネル構造物は、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

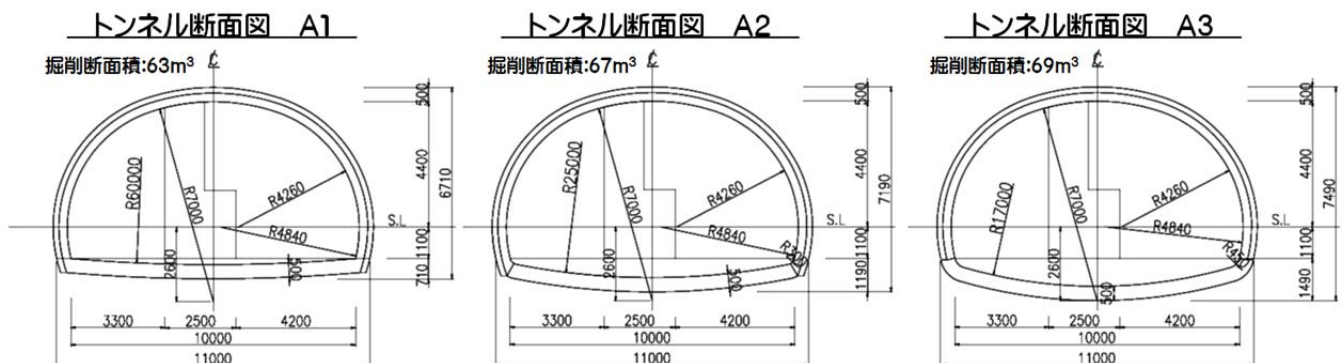


図-11 メインライナックトンネルのインバートコンクリート

し上げるような変位挙動に対して、抵抗する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るために、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る。また、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。この場合、想定される作用の大きさによって、脚部を丸くしたり、インバートコンクリートの形状を円形にすることになる。こうした考えから、図-11 のようなインバートコンクリートが想定されている。

## 5.2 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-12,13）は、幅 25 m、高さ 42m、延長 108m の弾頭型の地下空洞であり、ホールの底面から 10m 程度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。そして、この 2 種類のディテクターをお互いに入れ替えて、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、アルコープと呼ぶ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、パレットごと移動することになる。アルコープは、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 箇所設置される。アルコープの空洞寸法は、幅 20m、高さ 18~20.5m、延長 12.5m である。

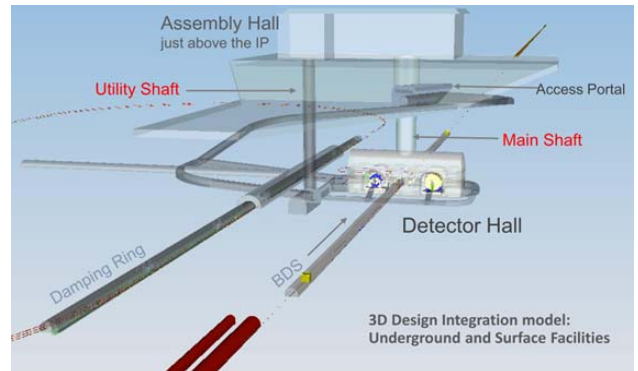


図-12 ディテクターホールと周辺施設の鳥瞰立坑

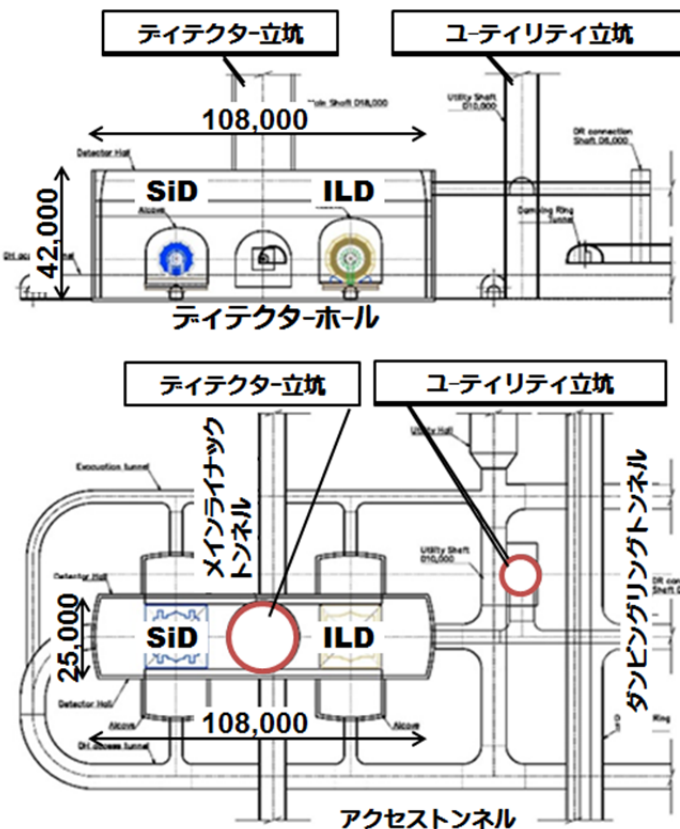
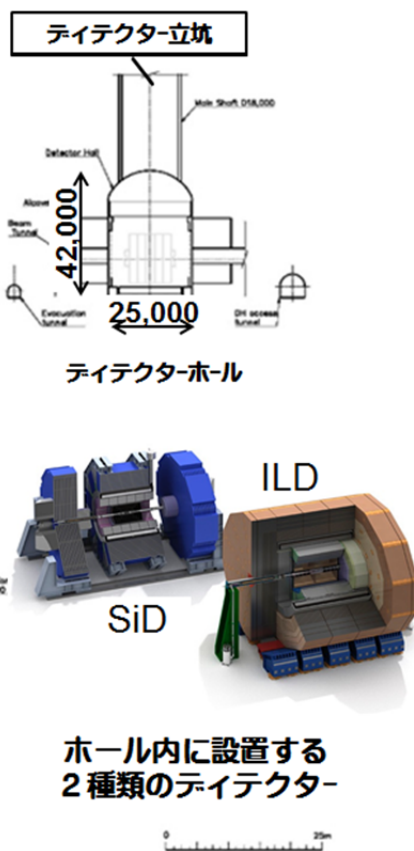


図-13 ディテクターホールとその周辺

### 5.2.1 ディテクター立坑

基本設計では、斜坑でディテクターホールへアクセスすることとしていた。このため、アクセス斜坑の搬入限界と運搬能力の関係から、ディテクターの大部分は坑内で組み立てることになる。これに対して、ディテクターホール直上に立坑（内空直径φ18m）を建設した場合、ディテクターは、地上の組み立てホールで組み立てられ、完成後に、地下のホールに下ろされて、設置することになる。この立坑方式では、地下空間構



築工事や組み立てホールの空間

図-a)ディテクター立坑平面図

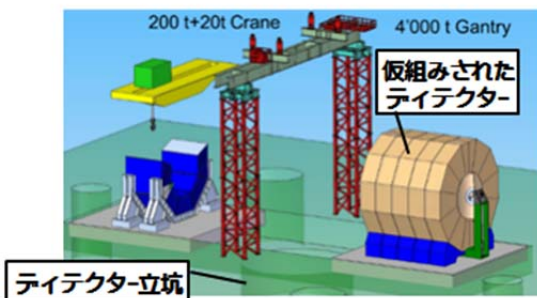
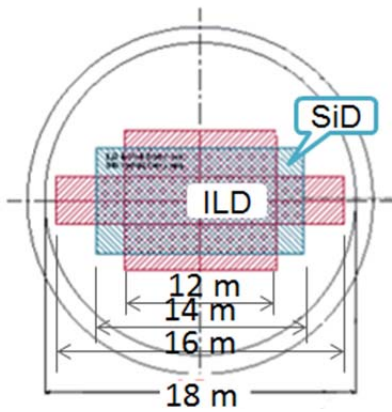


図-c)ディテクター立坑口付近の仮設状況

図-b) 縦断面図

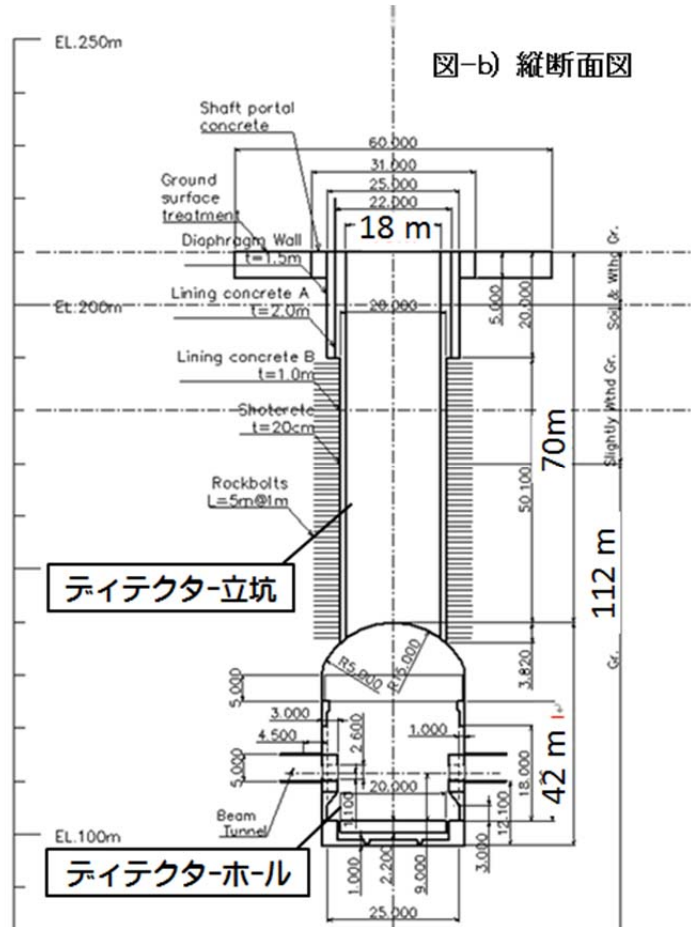


図-14 ディテクター立坑と坑外仮設

的な制約を受けることがなく、ディテクターを組み立てることができ、地下のディテクターホール内で組み立て作業は、必要最小限度とすることができる。このため、ディテクターの組み立て工事で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、組み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出来る。こうしたメリットを享受するためには、基本設計段階の地質調査結果に基づいて計画していた土被り 240m でのディテクターホールを如何に浅い地点で建設できるかという問題に帰着することになる。その後の現地の地形・地質調査を実施、検討した結果、土被りが浅いディテクターホールの建設可能地点を見つけ出すことができた。この地点で、改めて ILC 施設建設の工事計画を見直した結果、図-14 のような立坑案が計画された。この案では、当初の斜坑案に比べて立坑の建設工期がやや長くなるものの、アクセス坑は、立坑の施工のために 9ヶ月ほど工期が長くなるが、ディテクターの組み立て工事とディテクターホールの建設工事が短くなり、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。

### 5.3 ビームデリバリーシステム (BDS)

BDS は、メインリニアックの終端部から受け継いだ電子と陽電子ビームを、目標ルミノシティが得られるまでビームサイズを絞りを絞ってから、衝突点に送り込むための最終段階にある重要な加速器である。

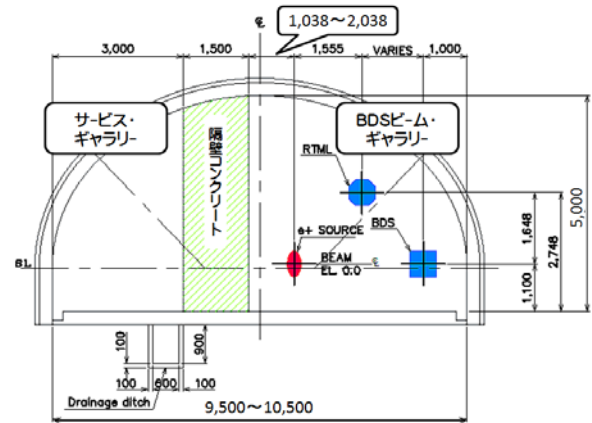


図-15 統合型 BDS トンネル

また、ビームを輸送する機能以外にも、リニアックからのビームハロ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、多岐に渡る重要な機能を有している。基本設計段階では、サービスト



ンネル(H:4m,W:4.5m,A:21.90 m<sup>2</sup>)とBDS ビームトンネル(H:5m,W:8m,A:41.85 m<sup>2</sup>)の2本に分けて計画されてきたが、現在、図-16に示すように、メインライナックトンネルと同様に厚さ1.5mのコンクリート隔壁で仕切られた幅12m程度の一本のトンネルに集約できるかどうかの技術検討を開始されている。

#### 5.4 ダンプングリングトンネル

ジェネレータで生成された電子と陽電子ビームは、一旦、ダンプングリング内でエミッタンスを低減し、整えられた後に、ライナックへ送り込まれる。このとき、ダンプングリング内は、各ビームは反対方向に周回するように、一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。ダンプングリングトンネルは、図-15に示すように、半径約290mの急曲線を有する延長約3.2kmのレーストラック形状をしている。そして、縦断線形は、基本的に全周ジオイド面に沿った線形となる。また、ダンプングリング内には幅10m、長さ50mほどの冷却設備横坑が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・排水構造を構築することが求められている。

- 1) メインライナックトンネルへのアクセス斜坑：内空幅8m、高さ7.5m、勾配10%以下で、約5km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) ダンプ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
- アクセストンネルは、ILC 地下施設群と地上を連絡する通路となるため、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、接続方法等を検討して決定した。そして、経済性を考慮して、アクセストンネルの仕上げには吹付けコンクリートを用いた支保構造の採用を想定している。

#### 5.6 アクセホール

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のアクセホールを設置する。

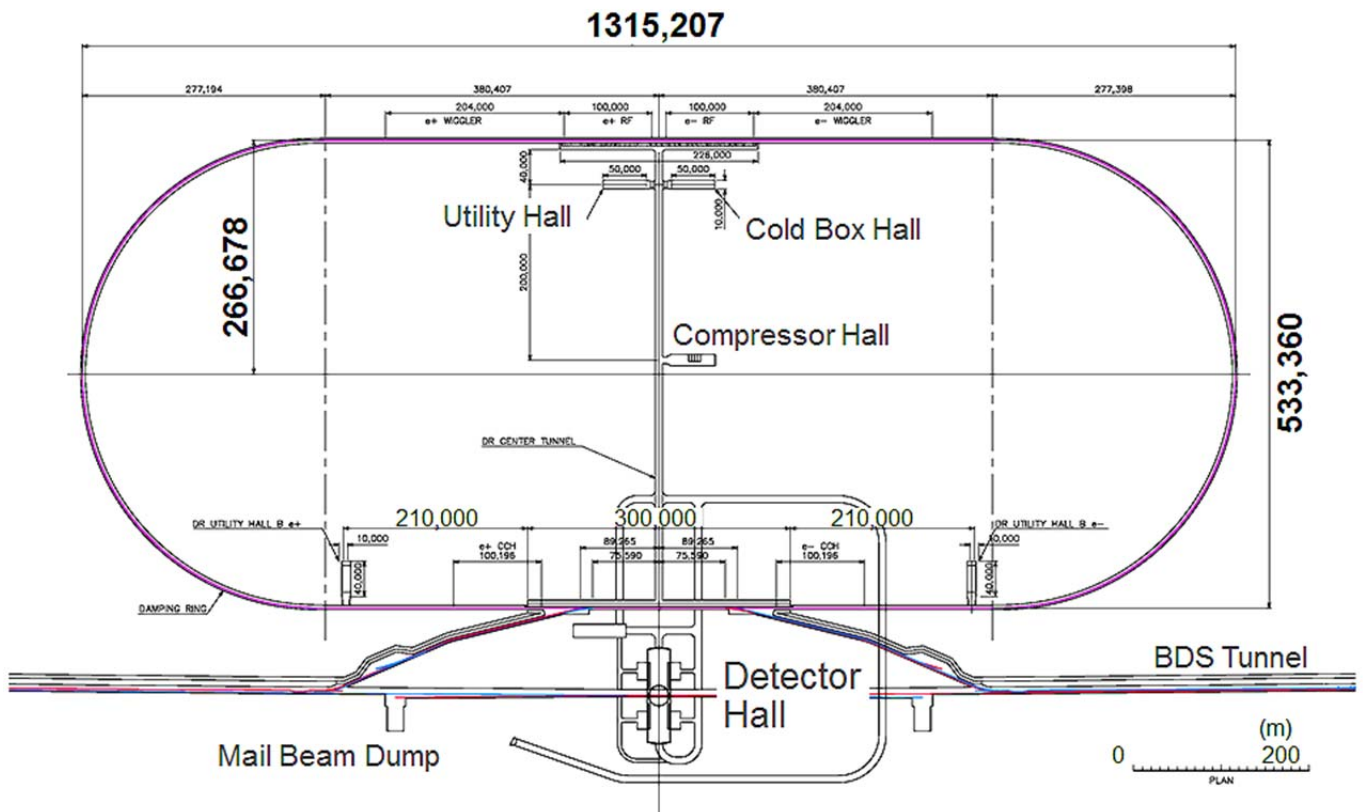


図-16 ダンプングリングトンネルと周辺施設

#### 5.5 アクセ施設(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、つぎの4種類が計画されている。

このホール内には、図-17に示すように、ヘリウム用コンプレッサ(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ー



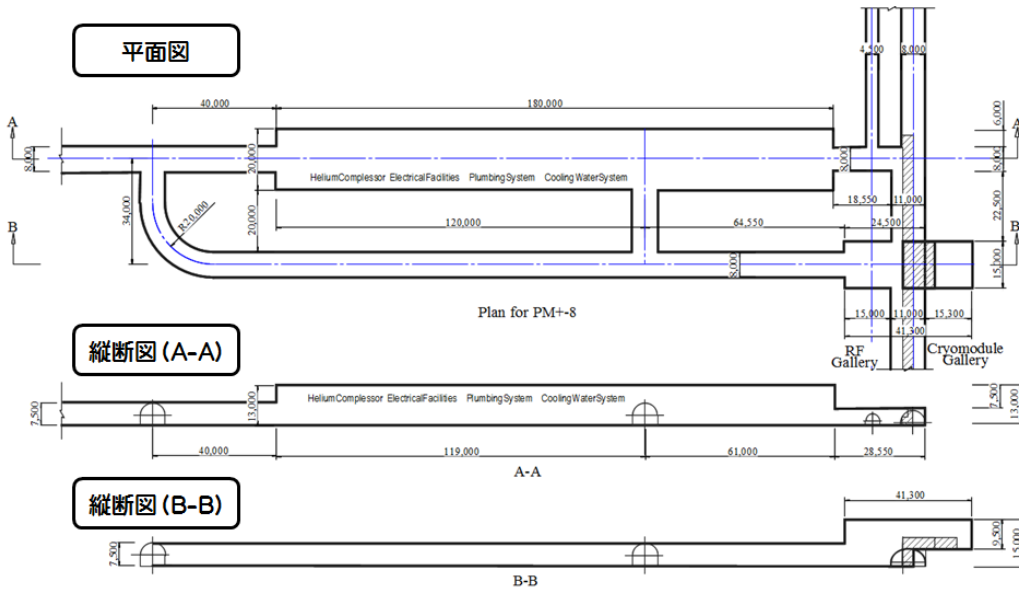


図-17 アクセスホール

ム用タンク (51m) を設置する予定である。また、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 RF 装置等に繋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。

## 6. 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-18、図-19 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、全体計画の速やかな遂行を目的にして、ILC 準備研究所が中心になって、出来る範囲の作業を進めることになる。当該地域では、2005 年以降、地形や地質の調査を 7 回実施し、ILC の地下空間施設の概念から基本設計を実施してきた。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行くことになる。そして、その設計計画に基づいて、建設工事が開始される。特に、現在、地下空間の設計と建設工事に、13 年掛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できない。このため、地下空間建設は、計画・設計・施工の各段階毎に、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。

例えば、広域に渡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

掛かり、場合によっては、さらに多くの日数が必要になる。このため、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り、構造的安定性の確保のために更なる構造的設計が必要なディテクターホールの頂設部分に調査坑を施工して、環境アセスや大空洞の詳細設計に必要な調査・試験を原位置で実施する。そして、その結果を用いて、長期的安定が確保されながらも経済的な

支保形式や空洞形状の構造設計を行う。さらに、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ズリ出し用の作業坑として活用することによって、全体工事の進捗が著しく改善されることになる。このように、現時点でも検討できることが多くあり、全体工程を勘案しながら、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。

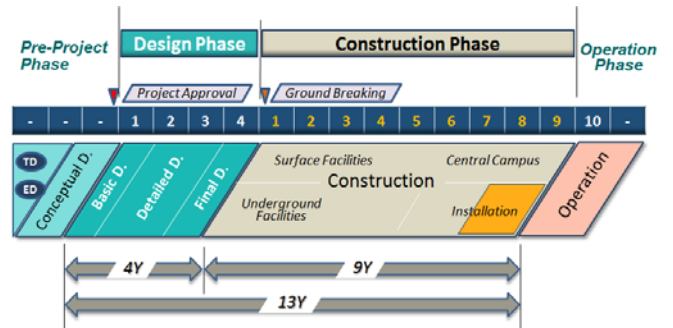


図-18 ILC 計画の地下空間施設建設に関する概略工程

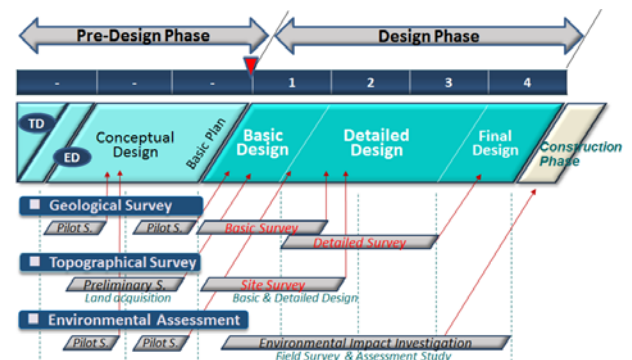


図-19 ILC 計画の地下空間施設建設の計画設計に関する概略工程

からの強力な支援の賜で有り、ここで改めて謝意を表したい。

## 7. 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、事業者毎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<sup>10)</sup>、さらには、美術館<sup>11)</sup>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繰り返し建設する事が少ない。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<sup>1)</sup>などを基にして安全審査を受けて、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、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。こうした中で、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、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我が国の地下空間構築技術を集約させて、最適な組み合わせで、本研究施設の建設に活用出来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”<sup>12)</sup>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評価を受けている。

ILC 計画は、今後、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ることになる。そして、ここで集約された技術は、他の既往の地下空間利用施設にもフィードバックされ、品質の向上や経済性に役立てられることになる。一方で、ここでの地下空間構築技術が、さらに高められれば、周辺環境へのインパクトが少ないだけでなく、その特性でもある遮断性、気密性、断熱性によって施設運用時のエネルギーコストの削減につなげることができるようになる。この意味で、今後、ILC 計画の地下空間利用施設で研究され、活用されている技術が、他の施設にも活用されることによって、日本の地下空間利用の益々の活性化に繋がることが期待している。

最後に、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

## 参考文献

- 1) <http://aaa-sentan.org/ILC/about-iloc/outline/>
- 2) ILC GDE (2007), "ILC Reference Design Report," July 2007. <http://www.linearcollider.org/about/Publications/Reference-Design-Report>.
- 3) ILC Global Design Effort (GDE), "ILC Technical Design Report" June 2013. <https://www.linearcollider.org/ILC/Publications/Technical-Design-Report>
- 4) Chikahisa, H., Enomoto, A., Mityanara, 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 Centres for the Urban Underground Space (ACUUS), Singapore, pp.1375-1385, 2012.
- 5) Enomoto, A., et al. (2009), Present Status of the ILC Conventional Facility Value Engineering, JAEA, Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting, 1139-1142
- 6) Yamamoto, A. (2012) Problems and requests from ILC-GDE (the present status and requests), JSCE, 41th Japanese Symposium on Rock Mechanics
- 8) Ross, M., et al. (2011), Present status of the ILC Project and Developments, Proceedings of IPAC2011, San Sebastian, 16-20
- 9) 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
- 10) 「大規模地下空洞」連載小委員会, 岩盤地下空洞のあらたな活用, トンネルと地下, Vol.30-1, pp.73-82, 1999
- 11) K. Nakada, H. Chikahisa, K. Kobayashi and S. Sakurai, Plan and Survey of an Underground Art Museum in Japan, Using a Large-Scale Rock Cavern, Tunneling and Underground Space Technology, Vol4-11, pp.16-23, 1996
- 12) JSCE committee (2012), Development of the guidelines on civil works for international linear Collider (ILC) facility, JSCE, 41th Japanese Symposium on Rock Mechanics