

ILC 施設・電気設備と非常時安全対策の検討
～ 北上山系をモデルとした検討 ～

2018 年 9 月 13 日

先端加速器科学技術推進協議会(AAA)・大型プロジェクト推進部会
東北 ILC 準備室・設備設計部会
(第 I 章)

公益社団法人・地盤工学会・東北支部
東北 ILC 準備室・ILC 北上立地課題検討委員会
(第 II 章)

本検討書の趣旨と経緯

- 本検討書は、ILC 施設・電気設備の基本設計と全停電時等の非常時対応について報告する。特に、ILC 候補地域（東北・北上山系）をモデルとした諸条件を踏まえた検討結果を纏めたものである。
- 技術的には、ILC-TDR（500 GeV, 2013 年）における基本パラメータを前提とした検討である。ILC-250 においても基本的な考え方は同様であり、本検討結果を参考とすることができる。
- 本検討は、先端加速器科学技術協議会（AAA）、東北 ILC 準備室、地盤工学会の協力によるものであり、また包括的に Linear Collider Collaboration (LCC) による具体的候補地を定めない検討とも整合性があることを確認している。

報 告 概 要

ILC 電設備の基本設計と非常時の対応（東北・北上山系をモデルとして）

ILC 受電設備設計と非常事態への対応について、基本的な考え方を本報告書にまとめた。定常運転における主電力受電系統による運転と、停電時に無停電電源装置、自家発電装置の組み合わせによる安全確保と、復帰に対する対応案の概要は以下の通りである。

項目：	パラメーター／コメント：	建設コスト見積	参照
基本設計方針： 主受電系統（受電・送電線長）： 主電力負荷（受電）容量： 補助電力： ・無停電電源（バッテリー）：制御・モニター、 ・自家発電機：照明/アクセス、He 回収、排水等 配電：各アクセス点副変電所にて降圧配電 省エネルギー：排熱利用によるエネルギー循環	154 KV, 15 km, 120～130 (160～180) MW < 1 MW 10 MW (2 MW/station) 154kV → 66KV → 6.6kV 提案有り	含む (ESS) 含む 含む 含む 含む 含まず	p. 6 p. 10. p. 10 p. 7
全停電時の非常対応 A 瞬停(<0.2 秒)：無停電電源対応 B (<30 秒)：無停電電源→受電復帰 C (>30 秒)：発電機起動/切替→加速器停止・安全対処 D (<数日)：発電機連続運転可→ He 回収等安全措置 E (>数日)：発電機燃料補給→地下トンネル排水継続 F (>数日)：長期に電力供給がないと想定する場合 →中央実験ホールから下流河川に自然排水（可）	→自動復帰 →加速器運転復帰 →系統復電後、運転復帰 He 地上回収(< 6 日) 発電機燃料の備蓄増強要 下流河川への自然放水路 放水トンネル長(4.3 km)	含む 含む 含む 運転に含む 運転に含む 不含 (+91 億円) 準備期間に判断	p. 10, p. 15 p. 19

補足説明：

- A) 瞬時停電(0.1～0.2 秒)であれば、He 冷凍機停止に至らず、バッテリーにより制御機器の連続稼働で、自動的に復帰を想定。
- B) 停電が 30 秒以内の場合は、自家発電機を利用せずに復帰。He 冷凍機的主要電力機器である圧縮機は停止。He ガス資源を回収しつつ、安全確認等の所定の復帰手順を経て、まず冷凍機運転を順次復帰させ、数時間をかけて加速器ビームを復帰させる。
- C) 30 秒程度以上の停電の場合は、自家発電機の電力により He ガス回収システム、排水システム・照明・空調等の電力(10MW)を賄う。冗長性のある非常用小型発電機の分散常備配置(30 秒以内の確実な起動)、またはコジェネ(CGS)の常時運転により対応。加速器ビーム及び主要機器は全て OFF となる。系統電力復帰後、B)同様の安全確認・復帰作業を行う。
- D) 東日本大震災時のような数日に及ぶ長期停電においては、備蓄燃料による自家発電機の電力で賄う。加速器ビーム主要機器は全て停止し、作業者の安全退避、He の安全地上回収、排水ポンプの連続稼働が必要。
- E) 東日本大震災を超える超長期での停電が継続する場合：He の地上回収には、約 3 日間の自家発電機の連続稼働が必要となる。その後は、排水ポンプの連続稼働となり、必要な電力は半減する。燃料備蓄については、公共施設での標準的な対応に沿って、1 日分の備蓄が見積もりに含まれているが、近年の東北での経験を踏まえ、3 日間以上の備蓄に増強する。
- F) 東日本大震災を超える超長期での停電が継続し、かつ冗長性のある自家発電機も全て作動できなかった場合に相当する。メインライナック・サービストンネル（高周波電源エリア）水平床面に流れ込んだ自然湧水は、水面上昇とともに緩やかに流れ、傾斜を持った物理実験ホールに向かう直線トンネル部分を経由する自然水流となり中央物理実験ホールに設ける貯留槽に導かれる。ここでモニターによる安全確認がされつつ、より標高の低い下流河川に自然排水することができる。北上山系（候補地）では、ILC ビームラインレベルが標高 110m の地点にあることから、全停電が長期に継続した場合でも自然排水でき、加速器トンネルの水没がない設計が実現できる。なお、中央物理実験

室からの排水トンネル追加費用は 91 億円と見積もられている。候補地が特定され、自然環境調査を踏まえた上で、シビアアクシデント対策として有効なバックアップ案となると考えている。

ILC 自然災害等による地表水、地下水増加時への対応

項目：	注記：	建設コスト 見積	引用
基本設計方針（定常時）： ポンプによる組み上げ・排水： ・加速器ビームトンネル内：排水管理 ・加速器サービストンネル内＋トンネル外側：排水管理	貯槽での安全確認後放流 自然水排水＋定期確認	含む 含む	p. 17
非常対応方針： ・自然湧水は、非常電源によるポンプアップ排水。 ・アクセスポイント（地上斜面）からの流入対策 自然排水（北上環境で可能な最終バックアップ）： ・ML(水平)→BDS(直線、勾配有)→中央実験室（貯槽） →山岳地形を活用し、河川に自然排水が可能	ポンプの冗長性を確保 入口の水門で対処可 ビームレベル、標高 110m シビアアクシデントでの水 没回避	含む 含む （参考見積）	p. 18 p. 19

(本文)

ILC 施設・電気設備と非常時安全対策の検討 ～ 北上山系をモデルとした検討 ～

I. 電気設備に関わる検討

1. はじめに

ILC-GDE による TDR とそれに引き続く LCC/KEK のワークをベースラインとして参照しつつ、北上候補サイトに即した電気設備の設計及び非常時の対応について検討した。検討チームメンバーと主たる役割は、本報告の付記 1 (Appendix 1) に記している。

本検討は ILC250 GeV の方針が検討される以前に行われ、TDR 設計を前提としている。この為、必要な電力は、TDR 当初の 164 MW (ILC250 では 120~130MW)、サブ変電所は、7 箇所 (ILC250 では 5 箇所) が基本となっている。ILC250 と数量の差があるが、システム設計の基本方針、非常時の対応については共通である。

1.1 検討の基礎

本検討にあたっては、1) GDE/TDR、2) LCC/KEK および 3) アメリカチームの検討資料を参考とした。

● 電力負荷情報

設備設計で最も基礎となる電力負荷表は TDR に示される図 1-2-1 をベースとした。500GeV のときの電力合計は 164MW、内訳は表に示してある。年間使用料は運転時間によるが大凡 10 億キロワット・時程度である。これはピーク、使用量ともに地元電力のキャパシティの 1%程度であり、供給に問題はない。

● TDR からの変更点

TDR と最近の LCC/KEK による設計で幾つか設備設計にも影響を与える重要な変更点がある。最も大きな変更はヘリウムプラントのレイアウトで、圧縮機は地下 (AH: アクセスホール) ではなく、地上 (AS: アクセス坑口) に設置することになった。

1.2 KEKB、J-PARC の経験、欧米との比較

米国チームは 2012 年 2 月に "ILC Americas Region TDR" を作成、その中には機械および電気設備の設計とコスト評価が含まれる。それらは主としてフェルミ国立研究所において長年積み上げた経験がベースになっており、特高電圧以外は日本の KEKB や J-PARC の経験と大きな違いはない。主な事項で我々の経験との類似点・相違点を以下に示す。

● 電力

電力に関して、我々はこれまで TRISTAN 時代にピーク電力で 96MW (ILC の 58%)、年間使用電力は KEKB 時代に 5 億キロワット時 (ILC の 50%) の経験があり、ILC との間に大きな差はない。実際、154kV 中央特高変電所の設計は J-PARC のそれと全く同じでよい。

● 特高電圧について欧米と日本の違い

CERN では主電源としてフランスの 400kV 幹線から受電、サブとしてスイス側から 130kV で受電し 66kV で系統連系している。負荷には 20kV で配電している。ちなみに非常用電源と

しては3台のディーゼル発電機が設置してある。米国は345kVで受電、負荷へは35kVで配電している。

一方、日本国内プロジェクトのKEKBやJ-PARCは154kVで受電し、負荷へは6.6kVで配電している。本設計ではILC北上候補サイトでもKEKB、J-PARCと同じ電圧を選択することにした。これが我が国では最もコストパフォーマンスに優れている。我が国では特別高压電力線は500kV、275kV、154kV、66kVなどあるが、事業所への供給はほとんどが154kV以下の電圧である。このように日本は欧米にくらべ比較的低い電圧を使っている、このことについては欧米の研究者に理解を求める必要がある。

● 2点受電と1点受電

CERNが受電点を独立な2系統からとっていることに習い、当初は我々もそのように想定し、サイト評価委員会に対しては、そのような資料を提出した。図1-1に示すように、水沢変電所（154kV、距離15km）と一関線（66kV、距離10km）の2点案である。しかし、関連各社と協議を重ねた結果、本地域での特性として、独立な2点受電の場合、安全確実な系統連系が極めて難しく、リスクを増大しかねないと判断し、水沢変電所からの受電+バックアップ非常電源方式を基本方針とした。

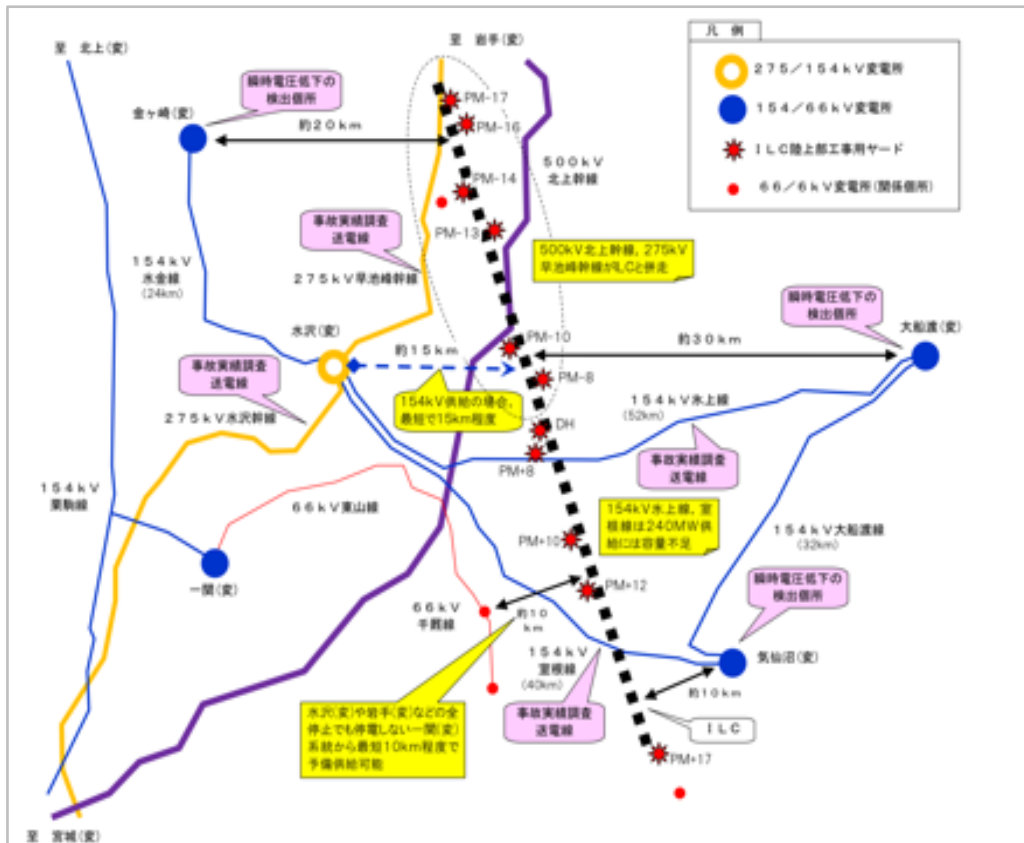


図 1-1. ILC 地域送電線網

ILCに必要な電力とエネルギーのバックエンド、省エネルギー・CO₂対策にむけてILCのような大電力を使用する大規模施設においてCO₂負荷をできるだけ低減することは社会に対する責務であることが国際的な共通認識となっている。

東北地域における電力供給事情の特徴は再生可能エネルギーのキャパシティが28%と高く、実際の発電量も19%に達していることである。従って、ILCに必要な電力全量を再生可能エネルギー

一によることは契約によっては可能である。しかし、これだけでは受け身の対応である。機械設備設計にあたってできるだけ省エネルギーになるようパラメータ設定をすることとして、冷却設備などから排出する排熱を可能な限り回収して地域の 1 次産業と連携した事業計画も検討を重ねている。

2. 受電・電気設備の基本設計

2.1. 商用グリッド

● 受電点

受電点はほぼ一義的に ILC 中央域から西へ 15km ほどの新幹線沿線近くにある東北電力の水沢変電所となる。図 1-2, a, b に示されるように、水沢変電所には 275kV の幹線があり、ここから 154kV に降圧して各地に送られる。

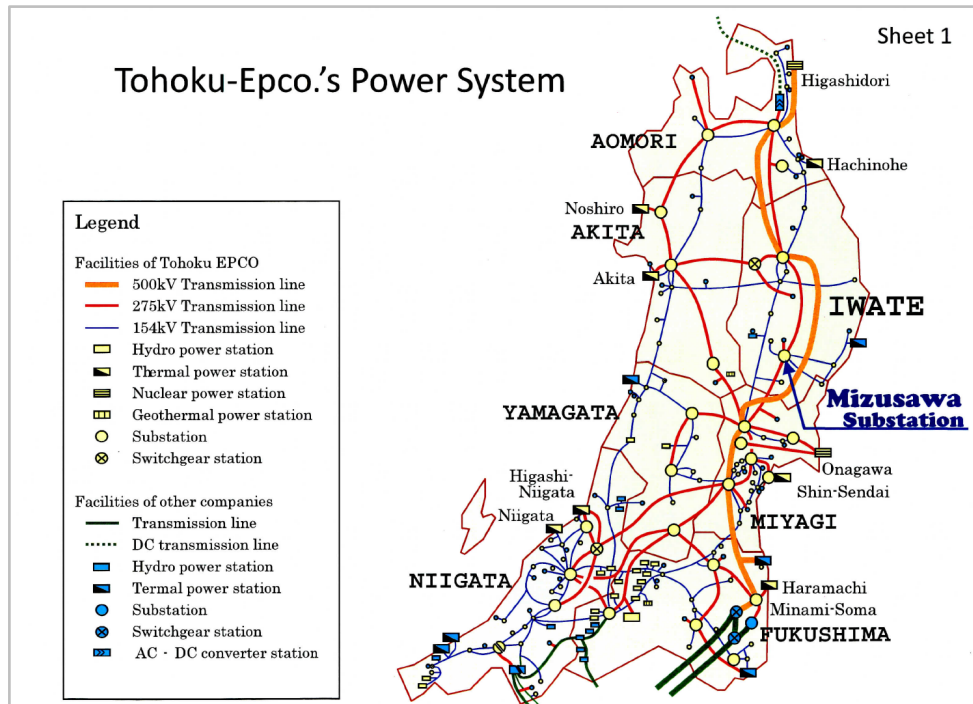


図 1-2a. 東北地域の電力グリッド



図 1-2b. 水沢変電所と ILC との位置関係

変電所の航空写真(Google)を図 1-3 に示す。西側道路に近い変電ゾーンには、新たに ILC 用変電設備の設置可能な十分な空きスペースがある。



図 1-3. 水沢変電所上空からの写真。

● 東日本大震災の影響

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災の影響による停電について、東北電力の資料を図 1-4 に示す。横軸は震災発生からの時間、縦軸は管内 7 県毎の停電戸数の変化を示す。候補サイトの立地する岩手県をみると、津波被害を受けた沿岸部を以外はほぼ 3 日間で停電は収束している。また担当者へのインタビューによれば水沢変電所自体の被害は軽微であったが送電開始はエンドユーザーの安全性や潮流の制御を考慮して実施するために、送電開始までに 24 時間を要したというのであった。次節で述べるバックアップ電源については、この事実を参考にして検討した。

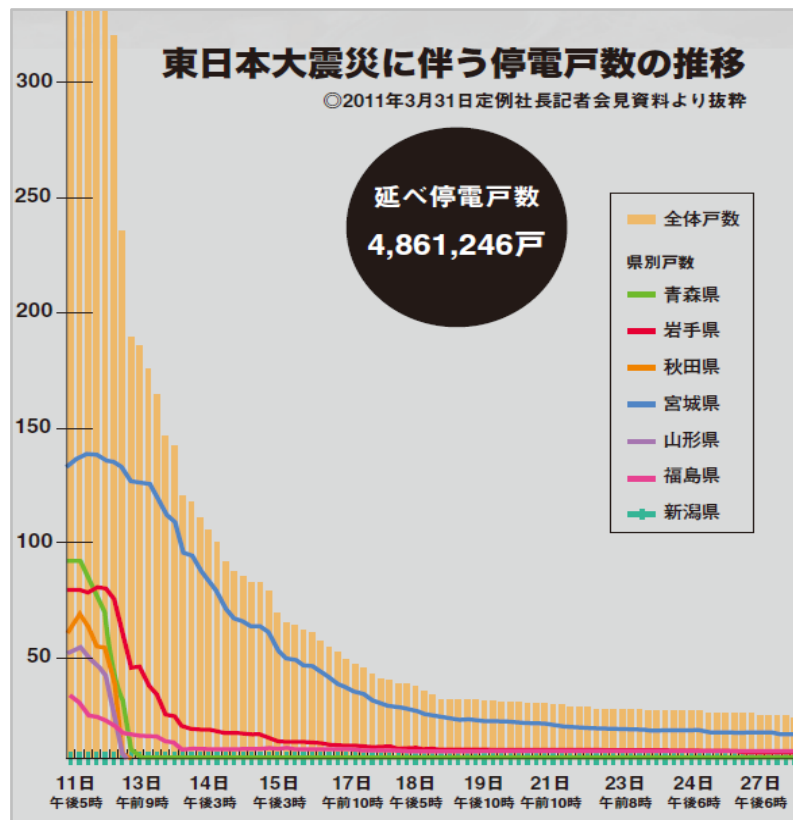


図 1-4. 2011 年・東日本大震災による停電からの停電復帰の推移。

2.2. 電力フロー

- 水沢変電所から ILC 中央変電所への 15km 架空配線

ILC 電気設備全体設計の概要、電力のフローを図 1-5 に示す。水沢変電所からは約 15km の距離を、新設の架空配線(2 回線)を経由して ILC 中央部に設置する ILC 中央変電所で受電する。

- 中央変電所、サブ変電所、ローカル変電所

ILC 中央部の一箇所の中央変電所にて 66kV に降圧する。ここには冗長化された非常用発電機(起動:<30 秒)または LNG コージェネ(CGS、出力電圧 6.6kV)を燃料とともに常備する。コージェネの場合には 66kV に昇圧し、系統連系は 66kV とする。ユーティリティ立坑から 66kV 特高ケーブルを地下に降ろし、地下アクセスホール(AH)および電子・陽電子ライナックトンネルに敷設する。AH にはサブ変電所(合計 7 箇所、ILC250 では 5 箇所)を設置し、ここで 6.6kV に降圧し、分散配置するローカル変電所に送る。

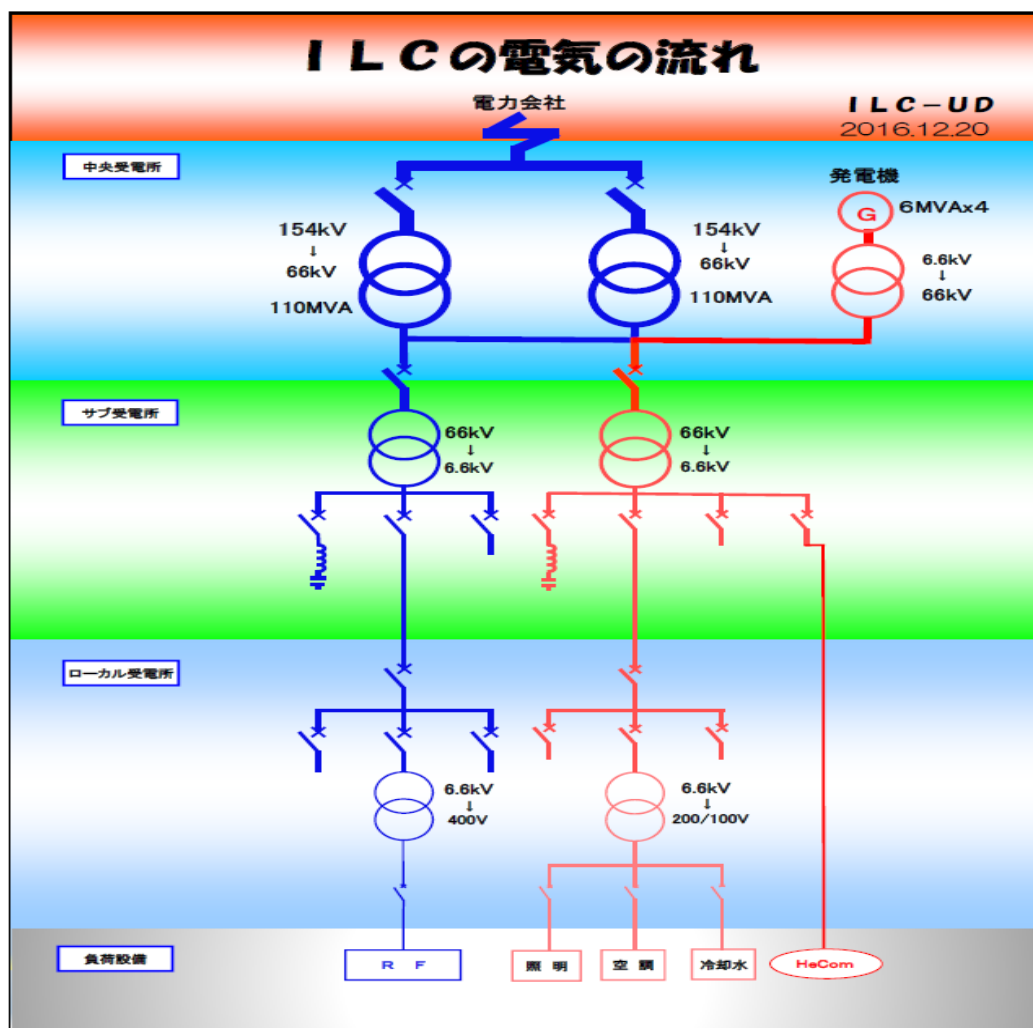


図 1-5. 電力フロー図

- ヘリウム冷却システムおよび安全系の電力確保

ILC は超伝導加速空洞システム冷却のため、大規模な液体ヘリウムプラントを必要とし、ヘリウムの喪失の要因となる長時間停電は許されない。同プラント電力は照明や排水ポンプなど安全系の電力とともに、図に赤線で示すように、非常運用用別系統を整備する。

2.3. 中央変電所、冗長性の確保

- 基本構成、商用グリッドと CGS の二重化

中央変電所には 110MVA のトランスを 2 基(将来は 3 基)設置し、154kV から 66kV に降圧する。また停電時に起動する非常発電機または LNG コージェネ(CGS)を複数台設置する。CGS の場合は常時運転とする。前節で概説したように ILC においては通常の安全のためだけではなく、貴重な資源であるヘリウムの喪失に至るような電気事故は避けなければならない。電力の冗長性確保は最重要課題である。なお、常時運転の CGS を商用グリッドと系統連系する方式は、理研(和光)の超伝導サイクロトロン施設で実績がある。

- 冗長性確保に重要なこと

本検討では、KEKB、J-PARC、CERN などの経験を踏まえ、以下を基本方針とした。

- 1) 複数電源は必須であり、二重システムにする。一方に事故が生じた場合、系統連系に失敗しないような設計が最重要課題である。
- 2) 非常用発電機は必須であり、緊急時の信頼性が確保されていなければならない。そのために冗長性を持った複数台の非常用小型発電機の分散常備配置 (30 秒以内の確実な起動) または CGS の常時運転によるバックアップが不可欠となる。さらなる詳細設計、選択は、建設サイト状況、環境が明確となった時点で行う事が適切である。CGS の場合は 1 台をスタンバイとし、メンテナンスに備える。CGS の規模と必要台数は詳細設計によるが、本検討では CGS-6MVA 規模を尤度を含み 4 台としている。

- 単線結線図と配置図

中央変電所の結線フローを図 1-6 に示す。赤線は非常時の送電状態を示している。どちらかの系統が停止するのは、電気事業法に基づく法令点検時と事故の 2 つの場合で、両方に対応できなければならない。この中央変電所構成は、J-PARC と同様である。ただし J-PARC の非常用発電機は非常時のみの運転で 750kVA のディーゼル発電機 2 基である点異なる。

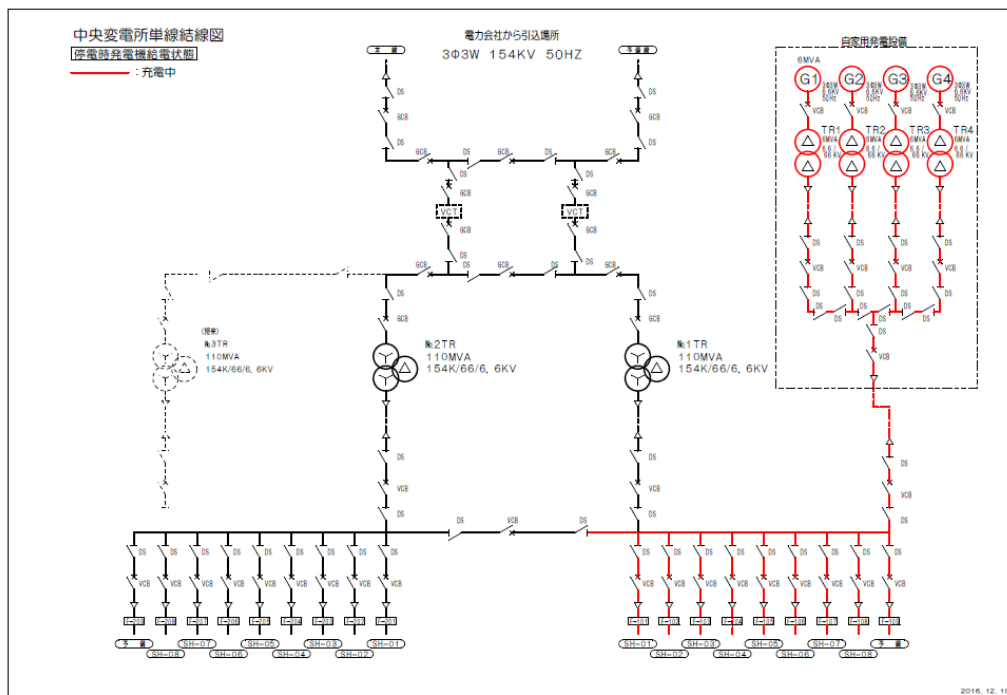


図 1-6. 中央変電所電力結線（フロー）図。赤線は非常時にアクティブなバックアップ系統。

● 商用グリッド停止および回復時の切り替え手順

系統連系の設計は、商用グリッドが停電の際には、一旦すべての負荷を開放し(全停電にし)28秒後に CGS からの送電を再開するようにしている。逆の場合も、一旦は全停電とし、35 秒後に復電する。

2.4. サブ特高変電所

サブ特高変電所の結線フローを図 1-7 に示す。赤線は非常時の送電状態を示している。また、変電所での機器レイアウトを図 1-8 に示す。

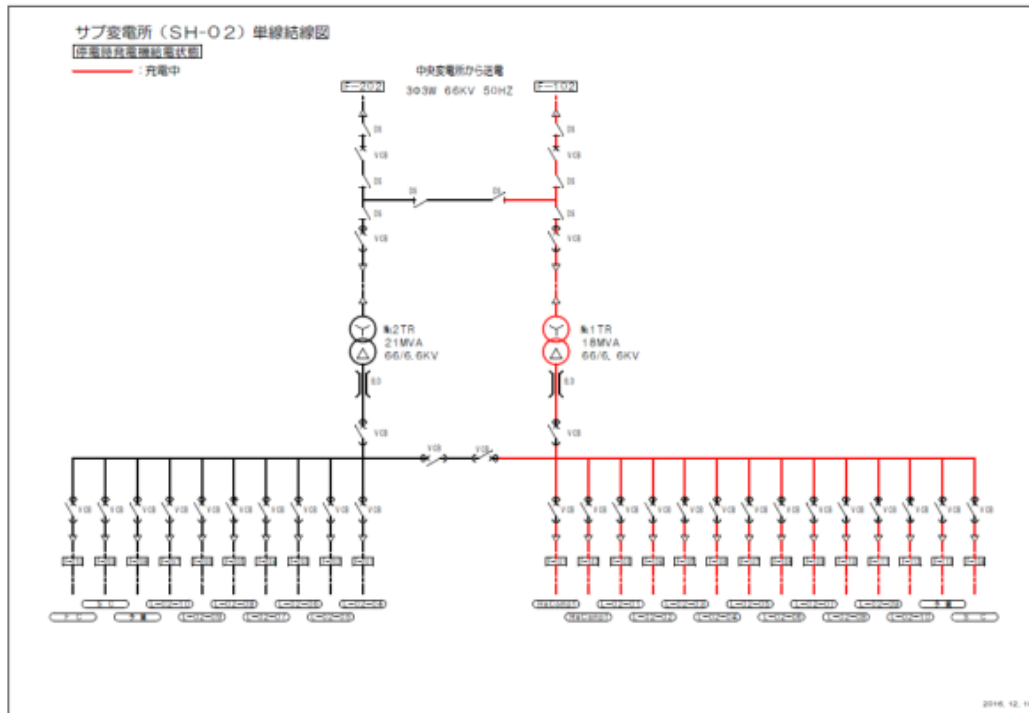


図 1-7. サブ変電所単線結線図。赤線は非常時にアクティブなバックアップ系統。

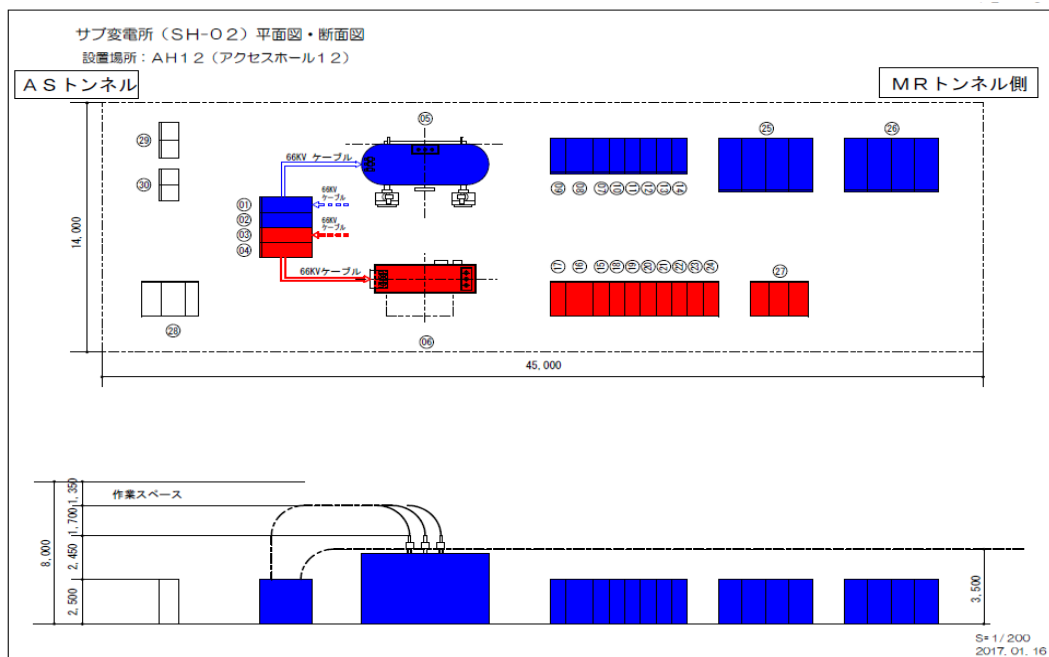


図 1-8. サブ変電所配置図

2.4. 電力負荷総合表

ILC 電力系統 (サブ特高変電所やローカル変電所) の設計を進めるための基本データが、表 1a, b に示す総合負荷表である。

表 1a. 総合負荷表(1)

(KVA)											No. 1
番号	変電所名称	設置場所	装置系				一般系				負荷合計
			RF		Mg	計	He	動力	電力	計	
			6KV	400V	400V		6KV	200V	100V		
	SH-01	中央変電所					2,250				
1	L-01-01	中央変電所						200	200		
2	L-01-02	中央コントロール棟						1,000	500		
3	L-01-03	計算機棟						500	200		
4	L-01-04	アッセンブリーホール			1,000			1,000	500		
	小計		0	0	1,000	1,000	2,250	2,700	1,400	6,350	7,350
	SH-02	AH-12					11,250				
5	L-02-01	AH-12						300	300		
6	L-02-02	AS-12						1,000	300		
7	L-02-03	RFトンネル						200	300		
8	L-02-04	RFトンネル		2,160				200	300		
9	L-02-05	RFトンネル		2,160				200	300		
10	L-02-06	RFトンネル		2,160				200	300		
11	L-02-07	RFトンネル		2,160				200	300		
12	L-02-08	RFトンネル		2,160				200	300		
13	L-02-09	RFトンネル		2,160				200	300		
14	L-02-10	RFトンネル		1,620				200	300		
	小計		0	14,580		14,580	11,250	2,900	3,000	17,150	31,730
	SH-03	AH-10					11,250				
15	L-03-01	AH-10						300	300		
16	L-03-02	AS-10						1,000	300		
17	L-03-03	RFトンネル						200	300		
18	L-03-04	RFトンネル		1,800				200	300		
19	L-03-05	RFトンネル		1,800				200	300		
20	L-03-06	RFトンネル		1,800				200	300		
21	L-03-07	RFトンネル		1,800				200	300		
22	L-03-08	RFトンネル		1,800				200	300		
23	L-03-09	RFトンネル		1,800				200	300		
24	L-03-10	RFトンネル		2,520				200	300		
	小計		0	13,320		13,320	11,250	2,900	3,000	17,150	30,470
	SH-04	AH-8					6,750				
25	L-04-01	AH-8						300	300		
26	L-04-02	AS-8						500	200		
27	L-04-03	RFトンネル		1,080				200	300		
28	L-04-04	RFトンネル		1,080				200	300		
29	L-04-05	RFトンネル		1,080				200	300		
30	L-04-06	RFトンネル		1,080				200	300		
31	L-04-07	RFトンネル		1,080				200	300		
32	L-04-08	RFトンネル		1,080				200	300		
33	L-04-09	RFトンネル		1,080				200	300		
34	L-04-10	RFトンネル		1,440				200	300		
35	L-04-11	RFトンネル						200	300		
36	L-04-12	RFトンネル						200	300		
37	L-04-13	RFトンネル						200	300		
38	L-04-14	RFトンネル						200	300		
	小計		0	9,000		9,000	6,750	3,200	4,100	14,050	23,050

表 1b. 総合負荷表 (2)

(KVA)

No.2

番号	変電所名称	設置場所									負荷合計
			RF		Mg	計	He	一般系			
			6KV	400V	400V		6KV	動力 200V	電力 100V	計	
	SH-05	AH-0 a	6,250				1,000				
39	L-05-01	AH-0 a						300	300		
40	L-05-02	AS-0 a						500	200		
41	L-05-03	DR1			4,700			200	300		
42	L-05-04	DR2			4,700			200	300		
		IR		1,450		400	300				
	小計		6,250	0	10,850	17,100	1,000	1,600	1,400	4,000	21,100
	SH-06	AH+8									
43	L-06-01	AH+8						300	300		
44	L-06-02	AS+8					6,750	500	200		
45	L-06-03	RFトンネル		1,080				200	300		
46	L-06-04	RFトンネル		1,080				200	300		
47	L-06-05	RFトンネル		1,080				200	300		
48	L-06-06	RFトンネル		1,080				200	300		
49	L-06-07	RFトンネル		1,080				200	300		
50	L-06-08	RFトンネル		1,080				200	300		
51	L-06-09	RFトンネル		2,160				200	300		
52	L-06-10	RFトンネル						200	300		
53	L-06-11	RFトンネル						200	300		
54	L-06-12	RFトンネル						200	300		
	小計		0	8,640	0	8,640	6,750	2,800	3,500	13,050	21,690
	SH-07	AH+10									
55	L-07-01	AH+10						300	300		
56	L-07-02	AS+10					11,250	1,000	200		
57	L-07-03	RFトンネル		2,160				200	300		
58	L-07-04	RFトンネル		2,160				200	300		
59	L-07-05	RFトンネル		2,160				200	300		
60	L-07-06	RFトンネル		2,160				200	300		
61	L-07-07	RFトンネル		2,160				200	300		
62	L-07-08	RFトンネル		1,440				200	300		
63	L-07-09	RFトンネル		1,440				200	300		
64	L-07-10	RFトンネル		1,440				200	300		
	小計		0	15,120	0	15,120	11,250	2,900	2,900	17,050	32,170
	SH-08	AH+12									
65	L-08-01	AH+12						300	300		
66	L-08-02	AS+12					11,250	1,000	200		
67	L-08-03	RFトンネル		1,440				200	300		
68	L-08-04	RFトンネル		1,440				200	300		
69	L-08-05	RFトンネル		1,440				200	300		
70	L-08-06	RFトンネル		1,440				200	300		
71	L-08-07	RFトンネル		1,440				200	300		
72	L-08-08	RFトンネル		1,440				200	300		
73	L-08-09	RFトンネル		1,440				200	300		
74	L-08-10	RFトンネル		1,440				200	300		
	小計		0	11,520	0	11,520	11,250	2,900	2,900	17,050	32,170
	合計		6,250	72,180	11,850	90,280	61,750	21,900	22,200	105,850	196,130

2.6. ローカル変電所と 66kV 特高ケーブル配線図

第3レベルとなるローカル変電所における 66kV から 6.6kV への配電系統を図 1-8 に、機器レイアウトを図 1-9 に示す。

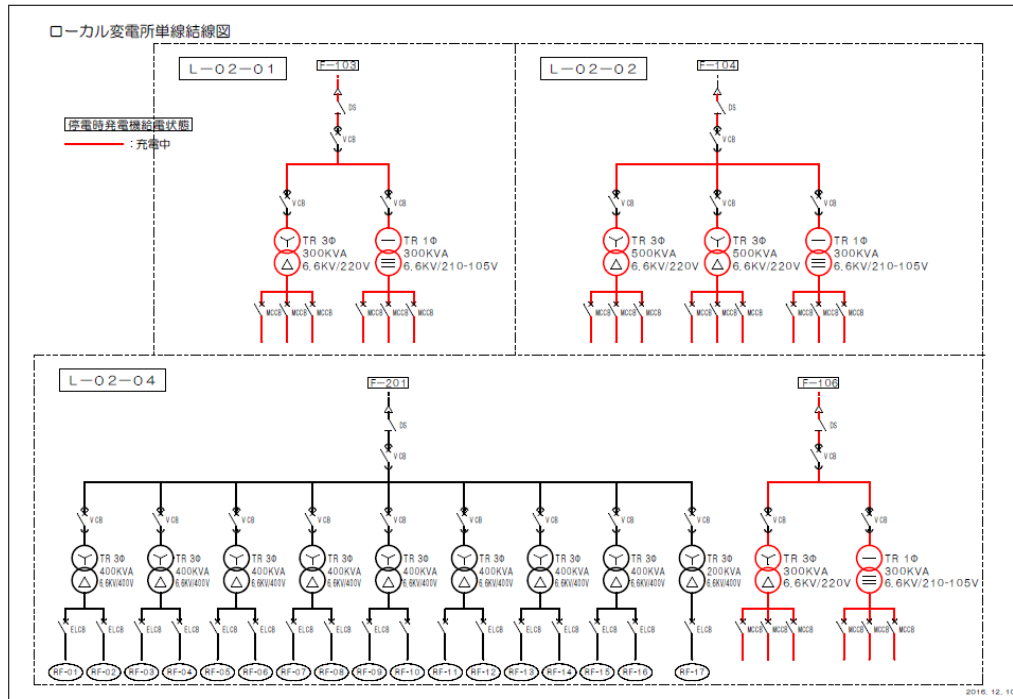


図 1-8. ローカル変電所単線結線図。赤線は非常時のライン。

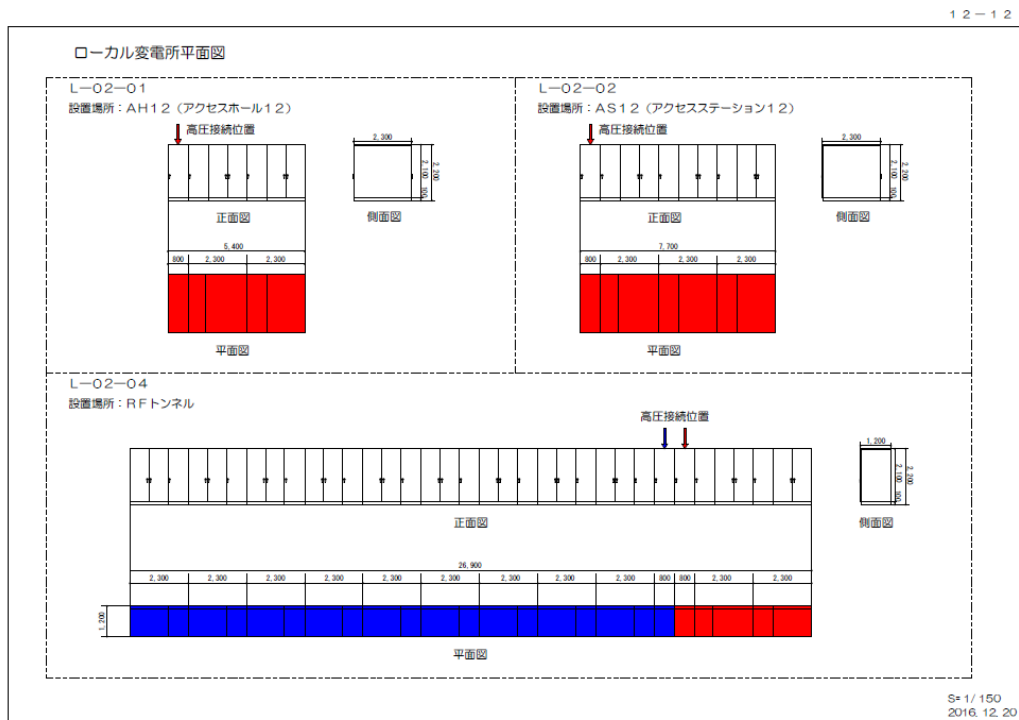


図 1-9. ローカル変電所配置図

II. 全停電時の非常対応

1. はじめに

ILC-GDE/TDR とそれに続く LCC/KEK の検討を参照しつつ、北上山系を具体的なモデルとした自然環境での湧水状況の調査を進めるとともに、ILC 計画の建設・運用期における安全、また非常時の安全確保について検討を深めた。

本報告は、公益社団法人・地盤工学会・東北支部と東北 ILC 推進準備室・ILC 北上立地課題検討委員会の協力による検討を踏まえている。執筆グループのメンバーと役割分担については、本稿末尾・付記を参照されたい。

2. 北上山系における自然湧水

2.1. 湧水量

地下湧水は地質（透水係数）、気候（降雨量）、トンネルの土被りの厚さになど、多くの要因に依存する。北上候補サイトのトンネル標高は 110m と高く、かつ地質調査によれば風化層は比較的薄く（図 2-1 参照）、均質な硬岩地帯にある。また現地の年間降雨量は 1000～1300mm と少ない。従って、地下湧水量に特別な扱いは必要なく、本検討に於いては、図 2-2 に示すデータに基づいた。

国内の山岳硬岩トンネル条件における湧水量を平均すると、 $0.8\text{m}^3/\text{km}/\text{分}$ となるが、これは北上候補サイトにおける上限値と想定される。1 日当たりの湧水量は $1152\text{ m}^3/\text{km}$ なので、1m 当たりでは 1.152 m^3 となる（20 km のトンネル総量は 23,040 トン）。この量は底辺幅が 9.5m のトンネルのサービストンネル側（蒲鉾型トンネルの半分）に一樣に冠水したとして、深さ 20 cm レベルとなる。（加速ビーム側は、放射線安全管理の観点から湧水の流入を防ぐことが求められる）。もちろん、ジオイド（水平）面に沿った ML トンネルの場合、勾配はゼロであり、BDS(ML 後中央実験室へのビーム供給ライン)での勾配を持ったトンネル（勾配～0.05%）から見て最奥部では水深は深くなるし、またアクセストンネル、ダンピングリング、実験ホールなどからの湧水分も考慮する必要があるので、さらに詳細な検討が求められる。

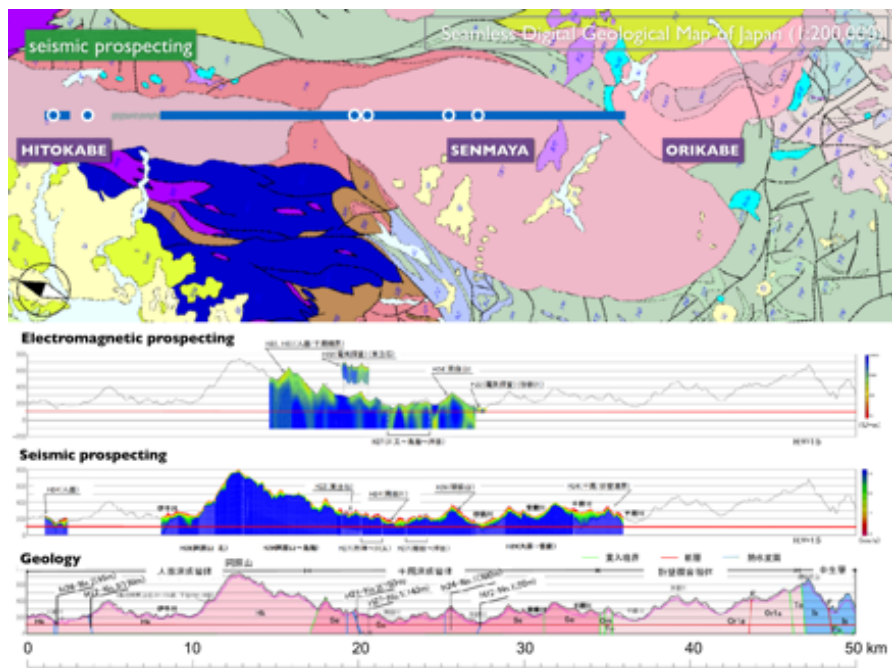


図 2-1：地質調査結果。上から、地質とボーリング位置、電磁探査、弾性波探査、地質断面図。地質探査図のブルーが均質花崗岩硬岩部。風化層（ライトグリーン、オレンジ部）が薄い事が分かる。

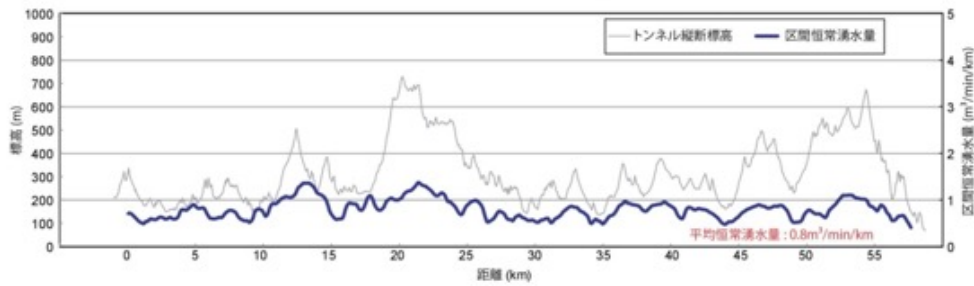


図 2-2. 地下湧水量の推定（北上候補サイトでは上限値と考えてよい）

2.2 定常状態における湧水処理、管理

定常状態においては、地下湧水は放射線管理区域に直接接触することなく処理される（図 2-3 参照）。トンネルライニング背面に設置する防水シートを自然流下する湧水は中央床下排水管に集水され、その水を 500m ピッチ（LCC 検討では 200m ピッチを想定）で設置された排水タンクに導水する。そこで集水・下水は縦断排水溝（図 2-4）を利用して、500m ピッチに設置された排水タンクに順次ポンプにより導水していく（図 2-5）。最終的には BDS トンネルの自然流下部まで集水する。このように、地下湧水は通常であれば、加速器トンネル内部（ビームトンネル）とは「縁切り」されており、放射線管理水として扱う必要のない条件で移送する。2.1 で記述した内容は、電力が長時間停止した“最悪”の場合としてもサービストンネルまでに冠水が限られる事を想定したものとなる。そのような場合を含む ILC 全体の排水計画を図 2-6 に示す。これはメイントンネルおよびアクセストンネルエリアからの地下湧水を全て中央実験室部に集め、放射線安全を確認しつつ、排水（放流）トンネルを通して自然流下させるものである。ただし、この排水トンネルは現在までの建設コストには含まれていないオプションであり。候補地が定まり、自然環境条件の詳細が理解された時点で判断されるべきである。現状の設計では、中央実験室部の全体集水タックからポンプ動力により排水路に放流する。この場合でも、立坑アクセスのみである CERN・LHC で安全な運用経験が積み重ねられている。

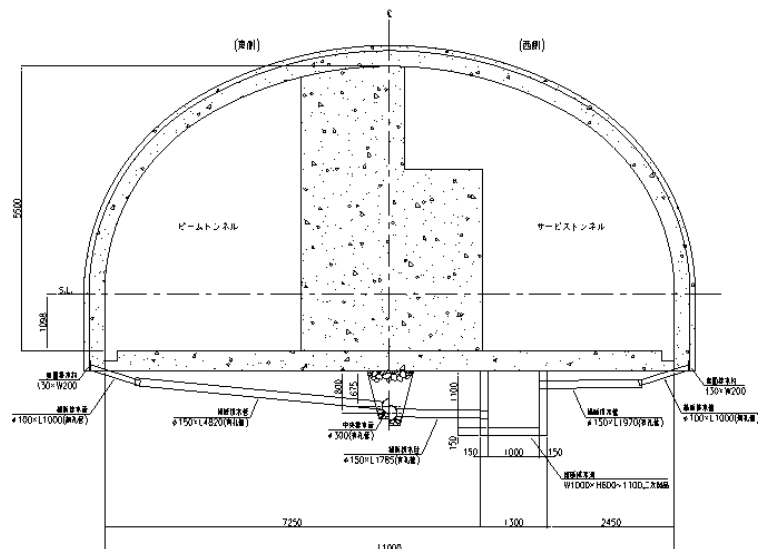


図 2-3：メインライナックトンネルにおける地下湧水処理。トンネル床面下にある 1m 角の断面がトンネル外側での自然湧水排水路となる。

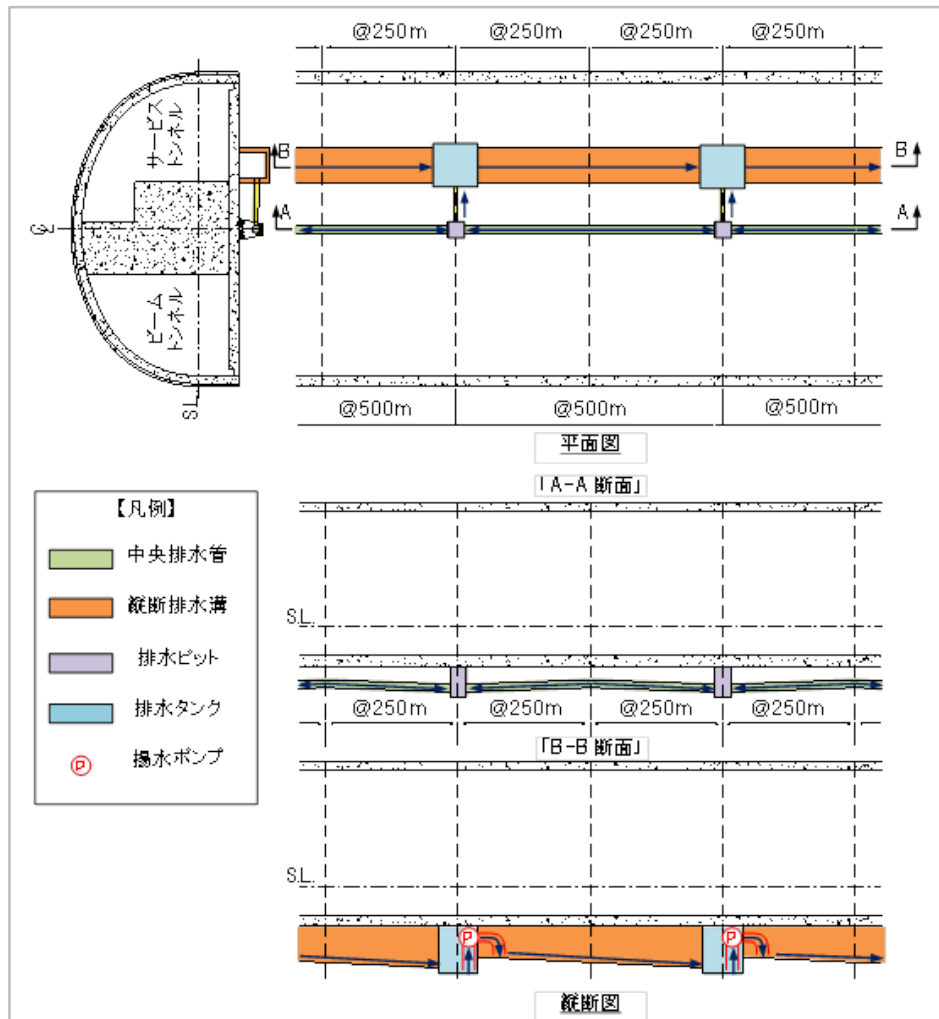


図 2-4：縦断排水管と 500m ピッチの集水タンク

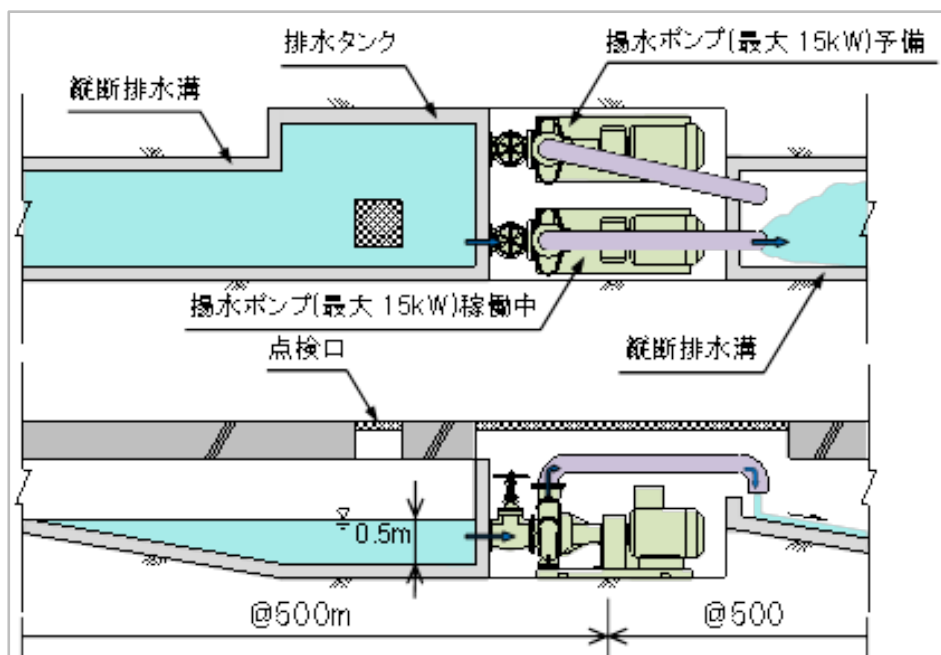


図 2-5：500m ピッチに設置されるポンプ

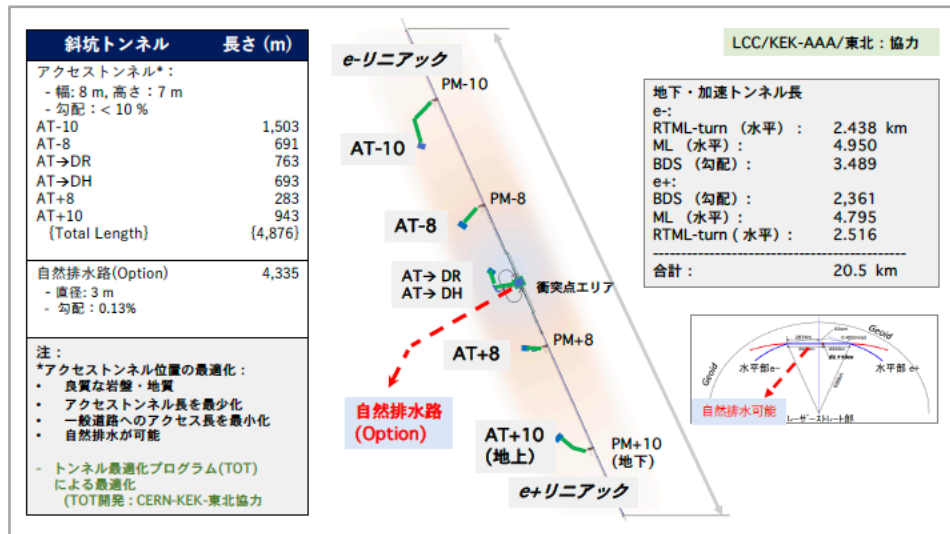


図 2-6: ILC 全体の排水計画 (中央実験ホールからの自然排水路トンネルはバックアップ)

2.3 停電時の地下湧水の挙動

ジオイドに沿ったトンネルは勾配がゼロ、レーザーストレート部分の勾配は<0.1%のレベルとなる。ここで最も懸念されるのが停電時にどのような事態になるかである。

(1) 商用グリッドの停電

● ジオイドに沿ったトンネル

停電後のシナリオとしては図 2-7 に示す 500m ピッチ (本検討での想定) で設置された揚水ポンプが停止し、その後、湧水は縦断排水溝内の空隙 V に貯留していくと考えられ、それが満水に至るまでの時間は図 7 の設計パラメタの場合は約 12.5 時間と推定される。

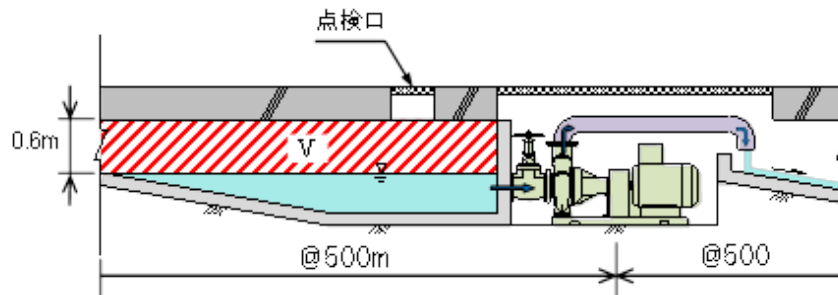


図 2-7: 縦断排水溝内の空隙 (本検討での概念設計)。

● レーザーストレート (光学的直線) トンネル

本まとめの原本においてはその時点で BDS 区間はダブルトンネルの設計であった。従って、末尾に示す原本においては 7.5 時間としているが、現在は BDS もメイントンネルと同様な形状となり、勾配を持った直線であることから中央実験室に向かっての下ることとなる。従って、水位が最も高くなるのは、基本的にメイントンネル上流となる。

● 非常用電力系統への切り替え

電力系統に関する説明にあるように、商用グリッドの停電時には非常用電源への切り替えが行われ、それに要する時間は 30 秒程度である。実際に東日本大震災時には非常用電源への切り替えは設計通り 30 秒で行われた。従って、“通常の停電”であれば、地下湧水の管理 (放射線管理

も含めて) についての懸念はないと言える。非常用電源の備蓄燃料は、東日本大震災時に、岩手県内における復電に要した期間が沿岸部を除き、3 日間であったことを考慮すれば、3 日間分の燃料備蓄は合理的な判断であろう。

(2) 東日本大震災を凌ぐ災害による長期停電

非常用発電機の3日間の備蓄燃料を使い果たした場合を考える。このような場合は恐らく最優先事項は人命第一であろう。図7の空隙(排水タンク)を満たし、それ以上になった地下水はサービストンネル床面に滲出し開水路となる。その場合の水深予測計算を図2-8に示す。

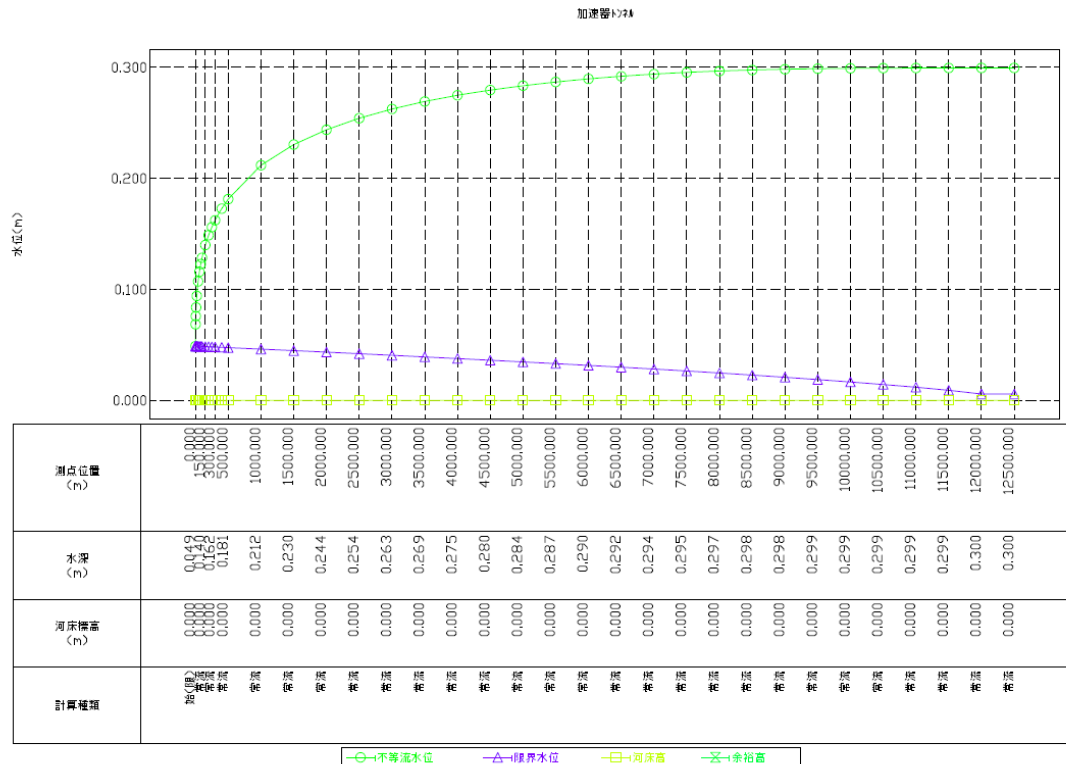


図 2-8 : 加速器トンネル区間の水深 (左端が BDS トンネルとの接続部、右端は 12.5 km 上流)

この結果は TDR の条件下であり、ジオイド (水平) に沿ったトンネル長が 12.5 km の場合である。この場合でも最奥部の水深は 30 cm レベルであり、殆どの機器の損傷に至らないレベルである (もちろん人命には係らない)。BDS 区間は本報告の原本においてはダブルトンネルの例のみ計算しているが、レーザーストレートなトンネルであり、水深は 35 cm 以下となり、結論は変わらない。

III まとめ

- ILC の基本受電設計

ILC における電力供給は、定常電力を商用電力系統（154KV, 120～130MW：負荷）を一箇所受電し、TDR の条件で 7 箇所（ILC-250 では 5 箇所）のサブステーションに配電する。

- 停電対応、電力系統の冗長化：

停電時には、各サブステーションにバックアップ電源を常備し対応する。瞬時停電には、各機器に直結する無停電電源（バッテリー）で切れ目なく対応する。それ以上停電には、常設され、冗長化されたバックアップ用非常電源（自家発電機：合計容量 10 MW）で対応する。常備する発電機燃料は ≥ 3 日間を計画する。これは停電時、He 冷媒資源を安全に地上回収の必要時間となる。

- 長期電力供給停止に対する検討：

停電が 3 日以上長期に及び、バックアップ電源の燃料も尽きた場合でも、（重力による）自然水流を可能とする基本設計方針を堅持するにより、加速器トンネル（サービストンネル）内床面の水位は数十センチレベルに止まり、水没する事はない。ただし、現段階では衝突点最低部に接続可能な排水トンネルは、見積もりに含まれていないオプションである。同トンネルが無い場合は、実験ホールの床面に自然湧水が貯留することになるが、実験ホールの床面積を考慮しつつ、実験室底面に冗長性のある貯留槽を確保し、人が安全に退避する事ができる。

- 今後のさらなる検討：

東日本大震災時の岩手県内は津波に襲われた沿岸部を除き、3 日間で復電している。特高ラインに対する損傷はほぼゼロで、復電に至る時間は負荷側の健全性確認によるものであった。これを超える災害を想定した場合、どのように対応できるかは今後の課題となる。

本報告書を超える詳細な検討は、ILC 建設地域が明確となり地域の地質、環境調査が進展した時点で、更に深められる必要があり、その時点で設計、技術が集約されるべきである。

付記 1:

I 章：(原典) ILC 北上候補サイトにおける地域に特化した電気設備設計**-- 主として特高受配電部（抜粋） --**

検討グループ：（一般社団法人）先端加速器科学技術推進協議会(AAA)、東北 ILC 準備室
AAA (<http://www.AAA-sentan.org>) :

総括	大西有三	(AAA・京都大学)	大型プロジェクト推進部会担当理事
全体調整	山下 了	(AAA・東京大学)	大型プロジェクト推進部会長
	民間会員企業 110 社	賛助会員 (大学・研究機関等研究グループ)	41

東北 LC 推進室 作業メンバー：

主宰：	吉岡正和	(東北大・岩手大・岩手県立大)	
メンバー：	佐貫智行	(東北大・KEK)	実験室・CFS
	小貫勅子	(東北大)	キャンパスデザイン
	早野仁司	(岩手県立大・KEK)	加速器全般・CFS
	成田晋也	(岩手大)	地域
	岡村崇弘	(KEK-JPARC)	ヘリウムプラント
	村上好秋	(KEK-JPARC)	電気設備
	青木臣史	(岩手県立大)	機械設備
	熊谷郁夫	(岩手県庁)	自治体・消防署等
	亀澤祐介	(東経連)	地域企業

専門分野企業各社からの技術情報提供：

作業にあたっては J-PARC および KEKB 加速器設備建設に経験のある多くの企業から技術情報の提供をいただいた。電力供給については、地元電力の情報が不可欠であり、地域企業各社からの技術情報提供頂いた。また特高受配電設備に関しては、J-PARC における MR 特高変電所を担当された企業から技術情報提供を頂いた。これら各社からの参考・技術情報提供に深く感謝致します。

II 章：(原典) ILC を北上サイトに建設した場合の具体的な建設内容等調査業務**2015 年度・報告書****検討グループ：** AAA

公益社団法人・地盤工学会・東北支部
 東北 ILC 準備室・ILC 北上立地課題検討委員会

委員長： 京谷孝史 (東北大学)

副委員長： 吉岡正和 (東北大学)、風間基樹 (東北大学)

幹事： 河井 正 (東北大学)、亀村勝美 (深田地質研究所)、他

オブザーバ： 佐貫智行 (東北大学)

専門技術提供： 有識者の方々から専門技術情報の提供に協力を頂いた。深謝致します。

注：本検討は 250GeV ILC の方針が確定される以前のものであり、TDR 設計に基づいている。従って現状の設計とで大きくは以下の 2 点で違いがある。

① トンネル全長

② トンネル断面 (底辺長さが 9.5m でなく 11.5m、隔壁厚さが 1.5m でなく 3.5m)

ただし、地下湧水に関する検討ではスケーリングが可能である。メイントンネルはジオイド面に沿い、かつ BDS はレーザーストレートである基本設計は同一であり、アクセストンネルも本数が減少するのみで基本設計は同一である。従って課題理解のために本作業を適用することができる。

ノート： 本資料を編集するにあたり、AAA・東北 ILC 準備室・地盤工学会による連携検討と、国際協力による LCC の検討の整合性を確認、調整を図る為、山本明 (LCC-KEK) が協力した。

付記 2:

日本国内での ILC 施設（土木・建築・設備）設計・検討協力:

- AAA, KEK, 東北 ILC 準備室と各関連機関の検討協力の経緯。

