

郊外部および積雪寒冷地における効率的で多様な無電柱化技術の提案に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 31～令 3

担当チーム：地域景観チーム

研究担当者：大部裕次、岩田圭祐、
松田泰明、緒方聡

【要旨】

北海道の自然・田園域のように魅力的な景観を有する郊外部の道路では、電線類地中化により飛躍的な景観向上が期待でき、観光振興への期待などにより今後事業化ニーズの高まりが予想される。しかし、電力通信需要が低く整備延長の長い郊外部での地中化推進には、抜本的な低コスト化・施工効率化が不可欠である。

そこで本研究では、郊外部の環境に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術を提案した。また、地中化に伴い新たに設置される地上機器について景観と歩行を阻害しない設置手法を提案した。更に、これまでの無電柱化に関する知見を活かし、高压鉄塔・送電線の景観対策について提案した。

これらの技術の活用により、国土全体の無電柱化推進による魅力的な景観形成に貢献する。

キーワード：無電柱化、電線類地中化、地上機器、送電線、景観対策

1. はじめに

1.1 郊外部での無電柱化の効果とニーズ

北海道の自然・田園域のように魅力的な景観を有する郊外部の道路では、**写真-1.1 上**のように、電線電柱類が沿道景観を阻害している課題がある。しかし、このような郊外部の道路では、電線電柱類以外の景観阻害要素が少なく、**写真-1.1 下**のように“電柱さえなければ”飛躍的な景観向上が望める場所が少なくない。

これまで当研究所では、**図-1.1**に示すような「片寄せ（反対側への移設）」「セットバック（道路から離して設置）」、また「通信ケーブルのみ地中化」など、実現性が高く景観の向上に寄与する手法として電線類地中化だけでなく多様な景観対策手法を提案している¹⁾。また、これらの多様な手法について景観効果に関する被験者実験を行い、都市部・市街地だけでなく自然・田園域などのいずれの場面でも高い景観効果が得られることを明らかにし、かつ都市部よりも自然・田園域の方が、景観向上効果が高いことも明らかにしている³⁾。国内における無電柱化は主に都市部・市街地において進められてきたものの、国土全体でみると無電柱化は諸外国に比べ大きく遅れを取っている状況である⁴⁾。延長の長い郊外部における無電柱化が推進されれば、国土全体における魅力的な景観形成に大きく寄与できる。

実際に美瑛町では、中心市街地だけでなく観光客が多く往来する田園域の展望公園に向かうアプローチ道



写真-1.1 田園風景にある電線電柱類の影響
(上：フォトモンタージュ（再現）
下：実際の写真（現在）)

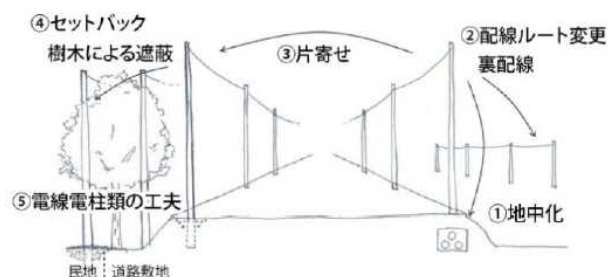


図-1.1 自然田園域における多様な景観対策手法

路など、独自で費用を負担し面的に電線類を地中化している（写真-1.2、図-1.2）。また、大石ら⁹⁾が実施した全国自治体アンケートでは、今後の事業実施の基準として景観法の施行などを背景に景観面への配慮が重要と認識されていることが示されている。このような近年の地方公共団体における無電柱化の気運の高まりを踏まえ、平成 28 年には「無電柱化の推進に関する法律⁶⁾」が制定された。更に平成 30 年には、国土交通省が本法⁹⁾に基づく無電柱化推進計画⁷⁾を策定しており、無電柱化の対象道路として、防災や安全・円滑な交通確保に加え、景観形成・観光振興の観点から世界遺産やジオパークの周辺、景観法に基づく景観地区等を代表する道路など具体の箇所を示している。

このように、景観形成や観光振興の効果が高い郊外部の道路においては、政策面での後押しもあり、今後事業化ニーズが高まるものと予想される。

1.2 郊外部での無電柱化推進の課題

前述の通り、国内における無電柱化の整備は主に都市部・市街地において進められており、主な整備手法としては、道路管理者が主体となって地中化を行う電線共同溝方式となっている。しかし、電線共同溝方式は、電力・通信需要密度が高く交通量の多い都市部を対象とした技術仕様となっており、需要密度が低く整備延長の長い郊外部での地中化推進には、沿道環境に適した抜本的な低コスト化・施工効率化技術が不可欠である。また、国土交通省が設置した有識者会議『無電柱化推進のあり方検討委員会』中間取りまとめ⁸⁾においても、整備に時間と費用を要する電線共同溝方式に偏重した手法の限界と、これ以外の方式による整備の必要性が指摘されている。

1.3 郊外部での無電柱化推進に資する技術開発

そこで本研究では、図-1.3 に示すようにこれまでの研究成果を踏まえ、電力・通信需要密度が低く延長の長い郊外部の道路での地中化の推進に向け、抜本的な低コスト化・施工効率化を可能とする「郊外部に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術の提案（第2章）」を目的に研究を行った。また、地中化に伴い新たに設置される地上機器が景観や歩行の障害となっている課題から、「景観と歩行を阻害しない地上機器設置における対策手法の提案（第3章）」を目的に研究を行った。

他方、高圧鉄塔／電線等が沿道景観に与える影響も大きく無電柱化が進んでいる諸外国においては地中化が進められており、今後日本国内においても高圧鉄塔／電線等の地中化を含む景観対策が求められる事が想

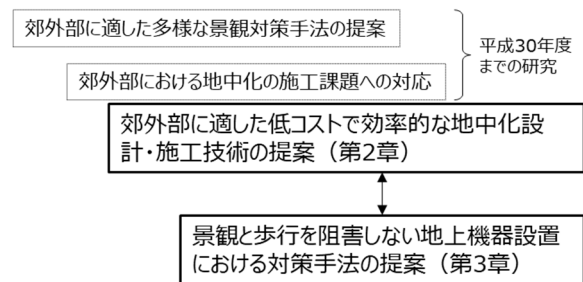


写真-1.2 新栄の丘展望公園近傍の電線類地中化事例



図-1.2 美瑛町における無電柱化実施例
(市街地のほか観光地で面的に実施)

● 郊外部の無電柱化推進に向けた研究



● 送電線の景観対策推進に向けた研究

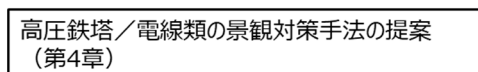


図-1.3 本研究の位置づけと実施内容

定される。これについて、これまでの無電柱化に関する研究の知見を生かし、「高圧鉄塔・電線等の景観対策の提案（第4章）」を目的に研究を行った。

2. 郊外部に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術の提案

2.1 はじめに

2.1.1 郊外部での無電柱化推進の課題

第1章で記載したとおり、北海道の自然・田園域のように魅力的な景観を有する郊外部の道路では、電線類地中化により飛躍的に景観向上が期待できる¹⁾³⁾と共に、観光ルートなどで地域の観光振興に活用され、また車両衝突リスクの低減や緊急輸送道路の機能向上に繋がるなど、潜在ニーズが高い(写真-2.1)。また、近年政策面での後押しがあり、今後地方公共団体による事業化ニーズの高まりが予想される。

しかし、地中化の主な手法である電線共同溝方式は、電力・通信需要密度が高く交通量の多い都市部を対象とした技術仕様となっており、需要密度が低く延長の長い郊外部での地中化推進には、沿道環境に適した抜本的な低コスト化・施工効率化技術が不可欠である。

2.1.2 低コスト化・施工効率化に向けたこれまでの技術開発

これまで当研究所では、特に低コスト工法として効果的な浅層埋設について、積雪寒冷地における課題克服に向け、管路内滞留水の凍結による通信障害が無いこと⁹⁾¹⁰⁾や、浅層埋設管路の実現場において凍上による路面変状を及ぼさないこと¹¹⁾について明らかにし、寒冷地での浅層埋設導入について可能性を得ている。また、地中化の専用掘削機械としてトレンチャーの適用可能性について試験¹²⁾¹³⁾を行ってきた。以上のように、郊外部の道路における地中化の低コスト化・施工効率化に向け、核となる要素技術の研究を行ってきた。

なお全国的には、電線共同溝に偏重した日本の無電柱化の課題から、国交省では『無電柱化低コスト手法技術検討委員会』(平成26年9月発足)での検討を受け、平成28年2月には埋設深さの基準が緩和¹⁴⁾され、『道路の無電柱化低コスト手法導入の手引き-Ver.2-15』も発行されるなど、無電柱化の低コスト化に向けた技術の普及が進んでいる。

2.1.3 郊外部に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術の開発

そこで本研究では、これまでの研究成果を踏まえ、電力・通信需要密度が低く延長の長い郊外部での地中化の推進に向け、抜本的な低コスト化・施工効率化を可能とする「郊外部に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術の提案」を目的に研究を行った。

提案にあたっては、まず対象となる箇所の電力・通信需要と道路構造について分類・整理し、郊外部の道



写真-2.1 地中化ニーズの高い郊外部の道路

路における地中化の基本的条件を把握した(2.2)。次に、これらの条件を基に、既往基準の見直しや実際の現場を想定したケーススタディを通じ、郊外部の道路に適した低コストで効率的な地中化設計・施工の考え方を検討した(2.3)。更に、令和3年度には開発した技術を実現場に導入し、開発技術の精度の向上と、施工全体へのコスト縮減及び施工時間短縮の効果を検証した(2.4)。これらを通じ、郊外部に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術を提案した。

2.2 郊外部における地中化の基本的条件の整理

北海道内の郊外部の道路において、景観向上・観光振興を目的とした無電柱化のニーズが高く、かつその効果の高い区間を想定し、その区間における地中化の基本的条件を把握するため、電力・通信需要の程度と道路構造及び沿道環境の調査を行った。

2.2.1 調査の方法

調査の対象区間として、シーニックバイウェイ北海道「秀逸な道」¹⁶⁾、国立公園特別保護地区・第1種特別地域内の国道、及びその他無電柱化の要望箇所を選定した。

選定した区間において、Google ストリートビューを活用し、対象区間の1km毎における電力線・通信線の本数、道路本体の盛土/切土等の構造と歩道の有り/無し、及び沿道の土地利用状況をカウントした。

2.2.2 調査の結果

調査結果を表-2.1に示す。沿道土地利用に応じた電力・通信線本数の多少から3つのタイプ(以下、少ない方から自然域、田園域、郊外部)に大別し、それぞれの代表的な道路構造を抽出した。なお、各タイプにおいて、埋設管路条数については既往の電線共同溝技術マニュアル第4.2版¹⁷⁾(以下、既往電共マニュアルという)を参考に想定し、道路横断面構成の中で考えられる埋設位置については道路台帳と照合し抽出した。以下、それぞれの特徴を述べる。

表-2.1 無電柱化想定箇所のタイプ分類

分類	区間の概要	沿道環境 土地利用	電力・通信線のおよその本数	埋設管路の想定	代表的道路構造	想定される管路埋設位置	土盛り (想定)
1	自然域（山間部・沿岸部など） 世界遺産、世界ジオパーク、国立公園 区域内の特別保護地区、第1種特別地域など	土地利用無し	電力線：高圧1回線 通信線：1～3本程度 引き込み線無し (配線ルートは片側)	電力φ100×2条(高圧1予備1) 通信φ50×3条(幹線2予備1)	両盛土・片切り片盛り (長大切土・盛土) 歩道無し	(盛土) 法尻、法面(防護柵有)、路肩 (切土) 法尻、法面※緩勾配法面の場合 擁壁、落石防護柵のバターン有	120cm程度
2	田園域 シーニックバイウェイ北海道秀逸な道 サイクルート北海道、景観法に基づく 景観重要道路など	田畑利用 住宅・商店が 点在	電力線：高圧1回線 通信線：2～4本程度 引き込み線有り(部分的) (配線ルートは片側が、両側に電力・通信を分割)	電力φ130×2条(高圧1予備1)、 引き込みφ100×1条 通信φ50×5条(幹線3予備1引き 込み1)	両盛土(低盛土) 片歩道	(盛土) 法尻、法面(防護柵無)、歩道	100cm程度
3	郊外部（郊外の観光地など） 景観法に基づく景観地区など	道の駅、観光施設、店舗等が連日	電力線：高圧1～2回線、低圧1回線 通信線：2～6本程度 引き込み線有り (配線ルートは両側)	電力φ130×4条(高圧2低圧1予備1)、 引き込みφ100×2条 通信φ50×7条(幹線3予備2)引き 込みφ150FA管×1	平坦部(3種道路) 両歩道	平坦部、歩道	80cm程度
参考	市街部の電線共同溝	店舗やビルが 建ち並ぶ (開発または再開発圧力強い)	電力線：高圧1～2回線、低圧1回線 通信線：多い 引き込み線多い (配線ルートは両側)	電力φ130×6条(高圧2低圧1予備3) 引き込みφ100×4条 通信φ75×12条、 引き込みφ150FA管×1	街路(4種道路) 両歩道	歩道	

(1) 自然域の特徴

国立公園、世界遺産、世界ジオパークなど、山間部や沿岸部などの自然域を通り、眼下に見える山・樹林や海・湖などの自然景観をダイナミックに感じられる区間。沿道土地利用がほぼ無く、電線・電柱が景観の大きな障害要因になっており、「電線さえなければ」飛躍的な景観改善に繋がる（写真-2.2）。

電力・通信は、需要地をつなぐ幹線として高圧線 3本=1回線程度、光ケーブル 1～3本程度。引き込み需要は無いため、柱状トランスは無い。配線ルートは片側に集約されている場合が多い。

道路構造は、起伏のある自然地形を通る道路線形であり沿道利用が無い場合、やや高い盛土（一部片切り片盛り）が多く、ガードケーブルなどが設置され、歩道が無い場合が多い。



写真-2 自然域の例：大雪山国立公園（上士幌町）

(2) 田園域の特徴

シーニックバイウェイ北海道「秀逸な道」¹⁶⁾など、開けた田園地域を通り遠くに山なみが見えるなど、雄大な風景を楽しめる区間。沿道は耕作地や牧草地として利用されており、日常的に人の活動があるため、人家や商店が点在する（写真-2.3）。

電力・通信は、需要地をつなぐ幹線として高圧線 1回線程度、通信線 2～4本程度。引き込み需要は少ないため、柱状トランスの設置間隔は広い。配線ルートは、電力・通信を両側に分けている区間や、片側に集約されている区間がある。

道路構造は、平坦な地形を通る道路線形であるため、低盛土区間が多く、片側歩道があるが幅は狭い。



写真-3 田園域の例（フォトモンタージュ）：丘のまちびえい（美瑛町）

(3) 郊外部の特徴

地方の市街地や観光地にアクセスする道路などで、商店や観光関連施設、「道の駅」などの沿道休憩施設が張り付く（写真-2.4）。

電力・通信は、需要地をつなぐ幹線として高圧線が



写真-4 郊外部の例：「道の駅」ニセコビュープラザ（ニセコ町）

1～2 回線程度、通信線 4～6 本程度。引き込み需要は密ではないが、柱状トランスがやや多くなる。配線ルートは両側。市街地に比べ需要はやや少ない環境だが、整備方式は電線共同溝方式も想定される。

道路構造は低盛土が多いが、沿道の嵩上げにより道路～民地までが平坦になっているところも多く、管路埋設はこの空間が有効活用できる。両側にやや広い歩道があるが、交通安全性の確保や除雪等の作業効率化のため、歩道上に道路附属物を設置しない場合が多い。

(4) 郊外部の道路における現地条件のまとめ

このように、市街部から自然域に離れるほど、沿道の土地利用が少なくなり、電力・通信線の本数や引き込み需要が少なくなることが確認された。これに伴い、地中化のための埋設管路条数も少なくなる。一方、開放的な景観であるため、景観を阻害している電線・電柱の延長、すなわち無電柱化すべき延長が長くなることとなる。

道路の構造については、沿道の土地利用が少なくなることによって、市街部では平坦で余裕幅のない道路敷地幅が、高低差があり広い道路敷地を有するようになる。また、車両利用が中心になるため、歩道が狭くなり道路附属物が路外になるなど、利用のされ方に応じた構造や施設配置に変化していく。これに伴い地中管路を埋設できる位置も歩道だけでなく路肩や土工部などの利用可能な位置が多くなることが確認された。

図-2.1 にこれらの概要を示す。

2.3 郊外部に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術の検討

2.2 において、郊外部の道路における地中化に向けて考慮すべき基本的な現地条件として、地中管路の条数は少ないが延長は長くなることや、埋設位置として路外の土工部が活用可能であることを確認した。

このような条件は、これまで都市部・市街地で主に進められてきた電線共同溝の基本的な適用条件とは異なるものであり、郊外部の地中化において既往電共マニュアル¹⁷⁾の基準を適用すると高コスト・非効率となることが考えられる。そのため、郊外部において地中化を推進するためには、抜本的な低コスト化と施工効率化を実現するため、環境に適した設計基準や施工法が必要となる。

そこで本節では、積雪寒冷地における浅層埋設の実証、既往基準の見直しによる施工断面の最小化の検討、実際の現場を想定したケーススタディによる優先的な埋設位置の検討を行い、現場事例の調査による検証を踏まえ、郊外部に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術について検討した。

2.3.1 積雪寒冷地における浅層埋設の実証

積雪寒冷地においては、地中管路の土被りは、凍結や凍上を考慮した「凍上深」を確保することが求められており、既往電共マニュアル¹⁷⁾において通信管の土被りは「70cm 以上かつ凍上深を確保」することとされている。この「凍上深」については、道路保全の観点から一般的に図-2.2 に示す道路の置換厚（北海道開発

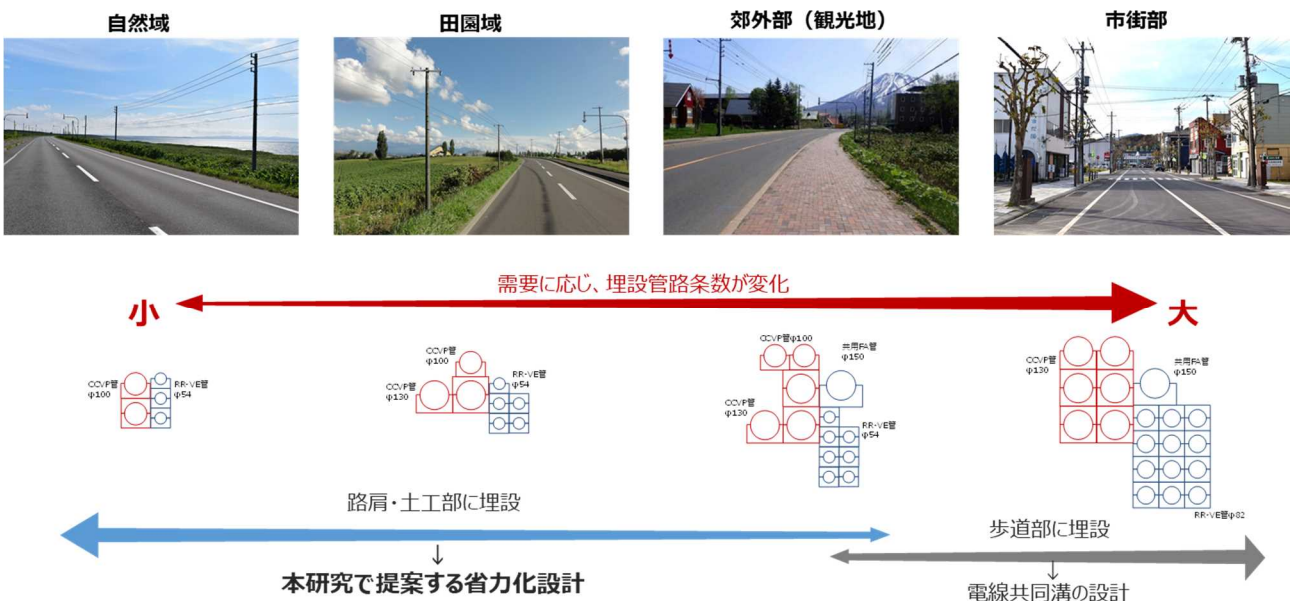


図-2.1 各タイプの管路条数と省力化設計の範囲

局道路設計要領¹⁸⁾で示される20年確率理論凍結深さの70%置換厚)が採用されている。特に内陸の山間部などでは120cmに及ぶ場合があり、掘削深さが1.5mを超え、更に土留めも必要となることで施工効率が大きく低下する。

この課題を改善するために、前述したとおりこれまでの研究では、管路内滞留水の凍結による通信障害が発生しないこと⁹⁾¹⁰⁾や、浅層埋設による路面変状の影響がないこと¹¹⁾を明らかにしている。これらの既往研究を踏まえ本研究では、実現場での実証試験により積雪寒冷地における浅層埋設が可能であることを実証した。

(1) 浅層埋設実証試験の概要

実証試験箇所は北海道美深町で、道内でも特に冬の気温が著しい低く、土被り120cmに及ぶ地域である。試験区間は一般道道680号班溪美深停車場線であり、歩道に試験管路を埋設し、土被りや管径・管種の異なる5パターンの試験設備を構築した(図-2.3)。

試験の実施にあたっては、道路管理者と電線事業者等で組織される北海道無電柱化推進協議会の下に設置された低コストワーキンググループに当研究所が参画して実施した。試験の方法については、当研究所の既往の知見を踏まえ試験計画を作成し、設備や計測を各管理者の役割分担のもと行うこととした。道路管理者は、試験設備の構築と舗装の健全性検証のための舗装路面高さの計測、電力事業者は浸水した管路内でのケーブルの施工性や健全性の確認、通信事業者は光ケーブルの通信損失とメタルケーブルの健全性の試験、及び当研究所では気温・地盤温度・管路内温度の計測

をそれぞれ実施することとし、平成30年度～令和2年度の冬期において浅層埋設による影響の確認を行った。

(2) 温度計測の結果

温度計測の結果を図-2.4に示す。なお、図-2.4は令和2年度の結果を例示しているが、計測した3カ年で同様な傾向であった。

地盤内温度は、例年気温が下がる1月下旬～2月上旬にかけて低下し続け、その後外気温の上昇と共に温度上昇に転じる傾向が見られ、-60cmより深い地盤では氷点下になることは無かった。温度変化は、-60cmより深ければ、外気温変化の影響を受けにくく長期間で緩やかに低下・上昇し、-50cmより浅ければ外気温変化の影響を受けやすく短期間で低下・上昇を繰り返す

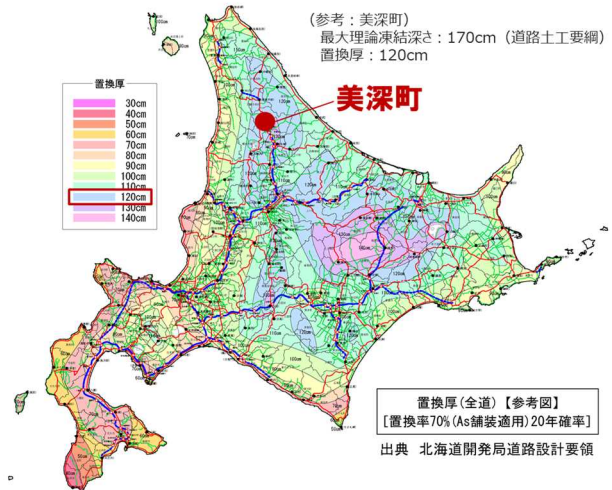
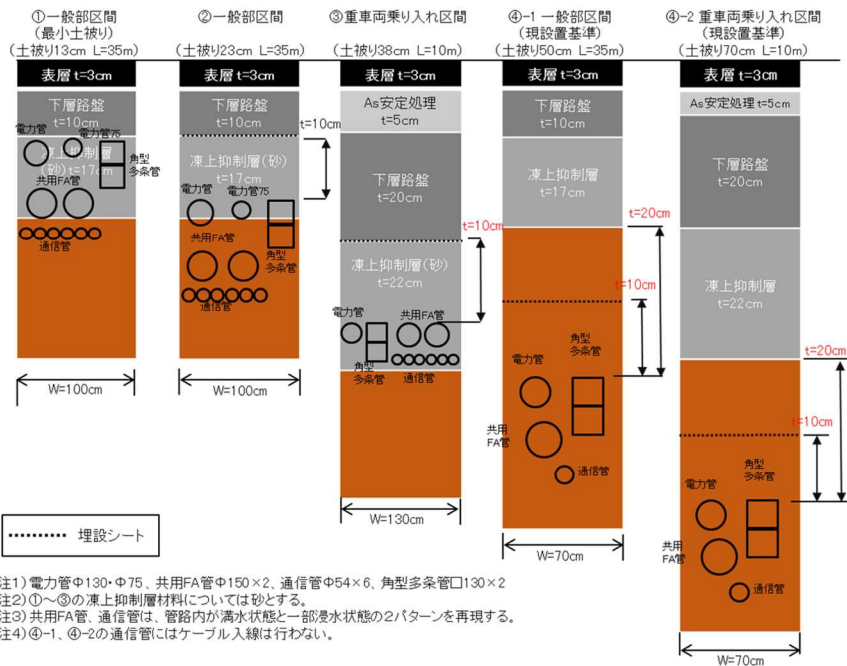


図-2.2 従来の土被り(凍上深)の採用値



注1) 電力管φ130・Φ75、共用FA管φ150×2、通信管φ54×6、角型多管φ130×2
 注2) ①～③の凍上抑制層材料については砂とする。
 注3) 共用FA管、通信管は、管路内が満水状態と一部浸水状態の2パターンを再現する。
 注4) ④-1、④-2の通信管にはケーブル入線は行わない。



①一般部区間(最小土被り13cm)



②一般部区間(土被り23cm)

図-2.3 試験施工パターン

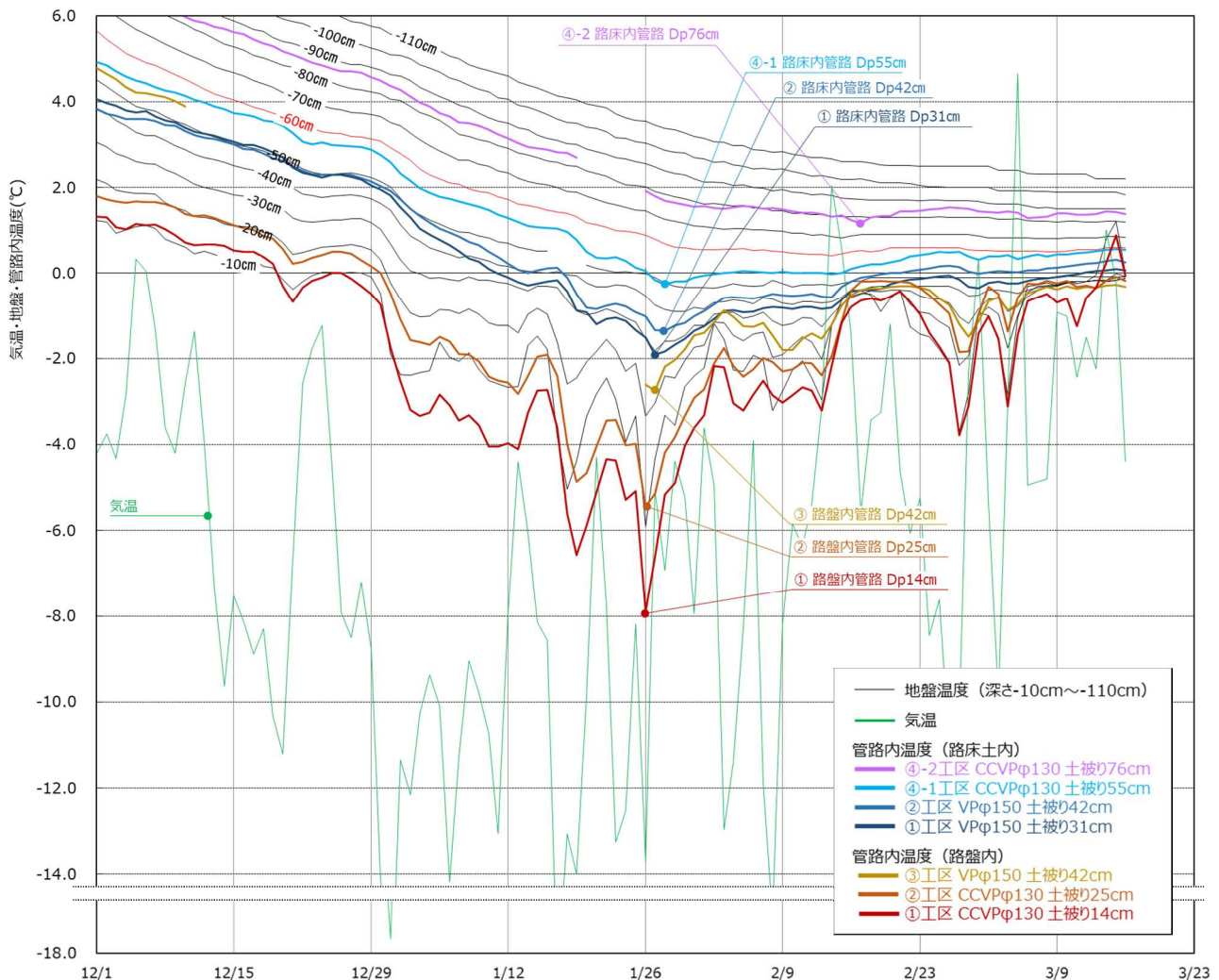


図-2.4 浅層埋設実証試験 温度測定結果（令和2年度）

ことが確認された。

管路内温度については、路床内にある管路は地盤温度に追従し同等程度の温度となっていた。一方、下層路盤や凍上抑制層（砂）内にある管路は、外気温変化の影響を受け地盤温度より低くなることが確認された。

これらの地盤温度と管路内温度の関係から、歩道路床内に埋設される管路は、-60cmより深ければ地盤温度に追従し管路内が氷点下になることはなく、凍結を考慮した管路埋設深さとして-60cmとすることは問題無いものと考えた。

(3) 電線共同溝技術マニュアルの土被り基準の改訂

以上の結果について、低コストWGに報告し、各管理者からの結果報告を踏まえ、管路の土被り基準見直しの議論を行った。

道路管理者からは、舗装路面高さについて、歩道上の通常部と管路直上部の計測結果が報告され、2～17mmの上下動があるものの、どちらの点でも同等程度の変化であったため、浅層埋設が道路管理上問題に

なることは無いとされた。

通信事業者からは、土被り-42cmの供用FA管φ150mmを満水にした状態で確認試験を行ったところ、管路内滞留水は凍結したが、光ケーブルの光損失試験とメタルケーブルのメタル電気的特性試験共に問題が発生しなかったことが示された。ただし、VE管φ50における同様な試験では、通信の損失は発生しなかったものの、ケーブル外皮が一部損傷したため、これについて品質担保はできないとの認識が報告された。

以上の結果を踏まえ低コストWGにおいて議論した結果、『供用FA管および1管セパレート管は、冬期の管路凍結を考慮した土被りの値（暫定値）として、60cmとする』こととされ、令和3年3月に電線共同溝技術マニュアルが第4.3版¹⁹⁾に改訂された。なお、美深町の置換厚120cmより深い地域については、その置換厚を用いることとされたが、道内の電線共同溝事業箇所多くは美深よりも温暖な地域で浅層埋設が可能であり、大幅なコスト縮減に繋がった。

2.3.2 基準の見直しによる施工断面の最小化の検討

従来の管路埋設の施工においては、市街地における施工環境や道路の管理・保全が考慮され、特に積雪寒冷地においては前述したとおり凍上深さを確保するため、土被り基準が非常に深くなっていた。これにより、土留めが必要な大きな掘削断面となり、土工量の増加や土留め内作業の発生により、施工時間が大幅にかかることが課題であった。また、これによるコスト増や管路敷設時に曲管を別途用意する必要性など、施工全体においてコスト・効率ともに課題があった。そこで、トータルでの低コスト化・施工効率化を最も重要視し、土留めの要らない最小の施工断面となるよう検討した。

検討にあたっては、表-2.2 に示す既往電共マニュアルとそれ以外の技術基準や技術資料の比較分析を行い、既往基準適用による課題の抽出と条件に応じた基準の見直しを行った。

検討結果について、電線・電力需要が最小となる自然域を例に図-2.5 に示す。従来の施工断面に比べ、提案の最小化断面は約 1/3 の断面積となり、土留めが無く大幅な低コスト化及び施工効率化が期待できる。また、施工断面が小さくなることで、新たな掘削機械としてトレンチャー掘削が可能となった。以下、詳細について記述する。

(1) 土被りの大幅な低減

前述の美深のように、内陸の極寒地などでは置換厚保 120cm にも及ぶ場合があり、管路条数が最小でも掘削深さが 1.5m を超え、更に土留めが必要になることで施工効率が著しく低下していた。

この必要土被りを 60cm とすることにより、掘削深さが 1m を下回ることになり、施工効率が大幅に向上する。具体的な内容として、土留め掘削の削減、土留め内管路敷設作業の回避、施工基面との上下作業の効率化などで作業効率が向上する。また掘削断面が浅くなることで、作業終了後に簡易な転落措置で開放することも考えられ、これにより日々の復旧・掘り返し作業の削減など、様々なメリットが挙げられる。

(2) 角型 FEP 管の採用による施工断面の縮小

『道路の無電柱化低コスト手法導入の手引き（案）-Ver.2-15』では、角型 FEP 管が実用化技術として紹介されている。従来の管路材に比べ、材料が安価であるだけでなく、軽量であり運搬や敷設が容易、形状が四角であるため枕材が不要でそのまま積み重ねが可能、可とう性があり曲げ管が不要で支障物回避が容易になるなど、大幅なコスト縮減及び施工性が大きく向上する。

表-2.2 断面設計の比較分析に参考とした技術資料

資料名	発行
1 電線共同溝技術マニュアル（案）	R2年3月、北海道無電柱化推進協議会
2 北海道開発局道路設計要領 第5集 電気通信施設 第3章電線路	令和2年4月、北海道開発局
3 設計要領第七集 電気施設編 第6編 電線路	平成29年7月、NEXCO
4 北海道開発局河川工事設計施工要領	令和2年7月、北海道開発局
5 建築設備設計基準・同解説（官庁官舎官庁営繕部設備・環境課監修）	平成30年国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修
6 都市公園事業設計要領	平成25年度、北海道建設部まちづくり局都市環境課
7 電気設備の技術基準の解釈	平成30年10月、経済産業省大臣官房技術総括・保安審議官
8 内線規程	平成28年度、日本電気技術規格委員会
9 光ファイバーケーブル施工要領・同解説	平成25年度、一般社団法人日本電気技術協会
10 自然公園等工事設計図作成要領及び同解説（自然公園編）	平成14年10月環境省自然環境局自然環境整備課
11 電気通信施設設計要領・同解説	平成29年、一般社団法人日本電気技術協会
12 電力用ケーブルの地中埋設の施工方法	平成16年、日本工業規格
13 電線等の埋設物に関する設置基準（改正）	平成28年、国土交通省

また、管路断面積は従来の管路材に比べて約 50% になる。これにより、施工断面を全体的に縮小することや、管路の積み上げ高さを抑制し床付き面を底上げすることなども可能となる。

近年、前述の北海道無電柱化推進協議会低コスト WG において、『角型 FEP 管を用いた電線共同溝の手引き²⁰⁾』作成し、北海道内において採用が拡大している。

(3) 掘削余幅の低減

既往電共マニュアルでは掘削余裕幅を 20cm 確保することとしているが、光ファイバーケーブル施工要領・同解説²¹⁾などでは約 10cm としている。特に、掘削深さが浅く土留めが無い作業断面で、作業性の良い角型多条電線管の採用など、これらを踏まえると余裕幅の削減は可能と考えられる。実際に当研究所が別途実施した試験施工においても、ハンドタイプの転圧バイブレーターを用いることで約 5cm 以下の施工余裕幅でも埋め戻し土を突き固めることが可能であった。

(4) 土工部への埋設による保護土の削減

既往電共マニュアルでは、管路材の保護のため管路の下端及び上端から 10cm の範囲まで砂で埋め戻すこととなっている。一方、北海道開発局道路施工要領第 5 集電気通信編²²⁾などでは敷材厚を 5cm としており、敷厚を低減することは可能と考えられる。

また、車両の加重がかからない場合においては保護土を無くし掘削土による埋め戻しとしている。郊外部

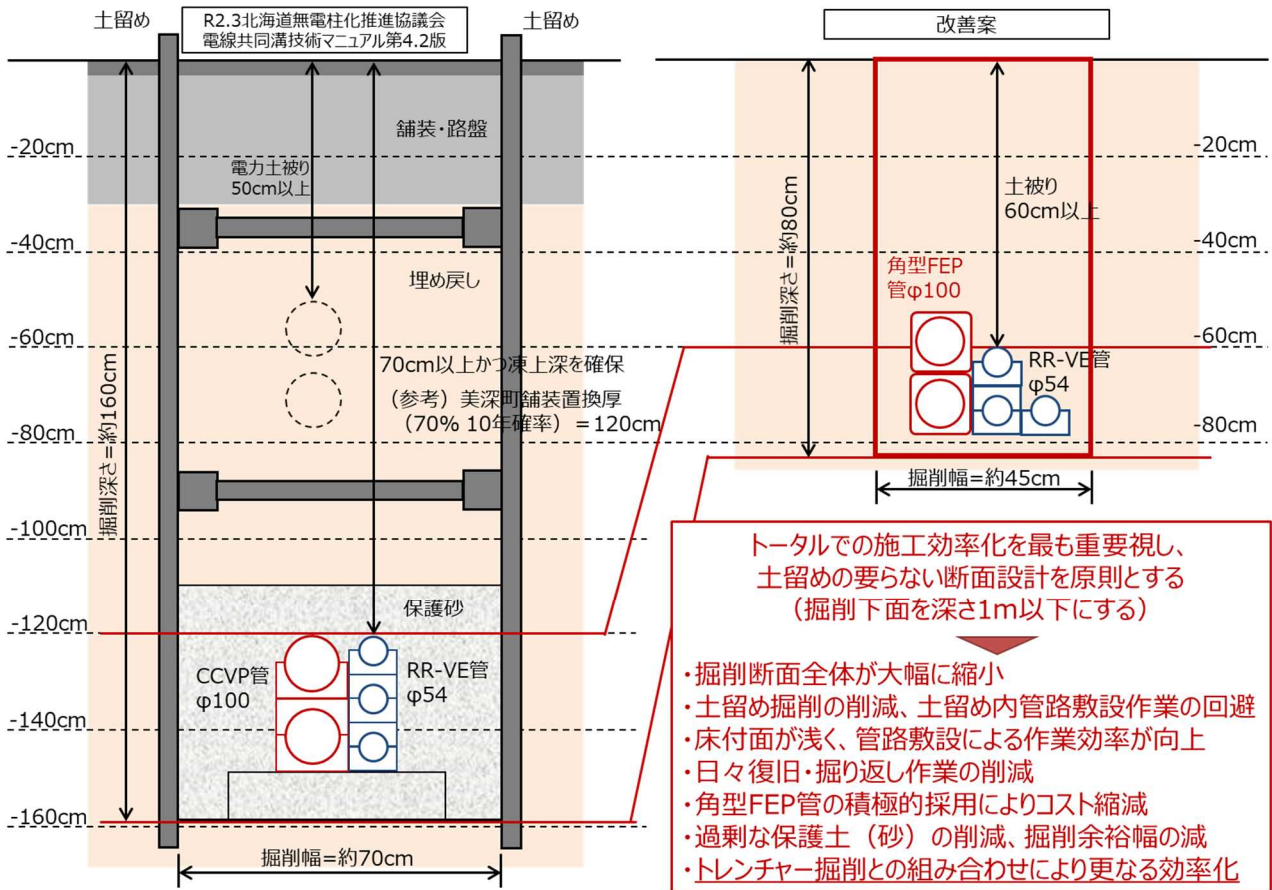


図-2.5 施工断面縮小による低コスト化・施工効率化（自然域の例）

の道路において車両荷重の無い位置であれば、この規定を採用することで、砂材料の購入費の減、残土運搬・捨土の減などに繋がる。

(5) 新たな掘削機械（トレンチャー）の活用

(1)~(4)の検討を踏まえ、施工断面の最小化をした結果、トレンチャー掘削機械の活用が可能となる。トレンチャーは、一定の断面で長い延長を連続して掘削でき、北海道郊外部の道路のような沿道利用が少ない施工環境に適した機械である。これまで当研究所では、国内での現場適用性について試験をしており、幅 60cm 深さ 1m 程度の掘削能力を確認している²³⁾。

なお、トレンチャーについては、寒地機械技術チームにより別途「郊外部における無電柱化施工の効率化に関する研究」において技術開発に取り組んでおり、詳しくはこの研究の成果報告書を参照されたい。

2.3.3 道路横断面における優先的な管路埋設位置の検討（土工部への管路埋設の検討）

電線共同溝事業は、市街地における歩道の下に管路を埋設することを踏まえ技術基準が作られてきたが、2.2 で把握した道路構造を踏まえると、路外の土工部の活用がコスト／施工効率で有利になる。

そこで本項では、郊外部における代表的な道路構造を基に管路埋設の試設計を行い、歩道部と土工部で埋設できる位置毎に比較評価し、埋設位置毎に課題や留意事項を抽出し優先的な管路埋設位置の検討を行った。

なお、埋設位置の検討にあたっては、比較評価の観点としてコストや施工性だけでなく、供用後の道路機能の確保や維持・除雪等のメンテナンス性が重要と考え、これらの総合評価により合理的な管路埋設位置の提案になるよう努めた。また、表-2.3 に示す実際の現場事例の調査・ヒアリングによる検証や、筆者らのこれまでの知見を踏まえ、評価を行った。

表-2.3 ケーススタディ箇所

ケーススタディ	地中化タイプ			事業段階（フェーズ）				調査、検証のポイント（案）	
	自然域	田園域	郊外部	構想	調査・検討	計画・設計	実施		事後
1.一般道道越二セコ根知安線電線共同溝			●					○	・通常設計・施工等との違い ・事業プロセスに係る合理化ポイントの洗い出し等
2.国道5号七飯町赤松街道電線共同溝			●					○	・合理化に係る施工性の検証 ・機械運転、労務人工等
3.国道238号稚内市市間地区自転車通行帯	●						○		・協議プロセス（関係事業者） ・実施に向けた施工内容等
4.二セコ町可道電線地中化		●			○				・現地調査等に基づいた合理化設計に係る内容検討等
5.町道岩尾別南三線電線地中化	●							○	・通常設計・施工等との違い ・事業プロセスに係る合理化ポイントの洗い出し等
6.美幌市アルテピアッツァ美幌周辺電線地中化	●				○				・検討プロセス（事業化協議） ・設計、検討事項の洗い出し等
7.基塚町町道新栄の丘展望公園電線地中化	●							○	・通常設計・施工等との違い ・事業プロセスに係る合理化ポイントの洗い出し等

表-2.4に優先的埋設位置の比較評価一覧、図-2.6に優先的管路埋設位置図について、田園域の検討結果を代表事例として示す。埋設位置は、できるだけ道路から離れた位置にすることを優先し、かつ歩道には設置しないようにすることが重要であることが確認された。以下、各埋設位置における詳細について記述する。

(1) 歩道部の管路埋設は回避を検討する

郊外部の道路では沿道利用が少ないため、歩道幅員は市街地に比べ狭い場合が多い。そのため、最も課題となるのが地上機器であり、歩道上に設置すると歩行

者の歩行幅を確保できなくなるため、これを必ず回避しなければならない(写真-2.5)。また、歩道除雪においても地上機器が支障となるため、この位置への設置は回避することが必要である。

コスト/施工性の面においては、歩道舗装の復旧費用がかかり、日々仮復旧・掘り返しの必要も生じる。ただし、延長の長い常設作業帯が確保できる場合、トレンチャー掘削により効率的に施工できるので比較検討するのが良い。

表-2.4 優先的埋設位置の比較評価一覧(田園域の例)

設置ケース	①歩道部	②歩道路肩部	③土工部(民地側)	④車道路肩部	⑤車道法面部	⑥法尻部	
道路機能	歩行性	× ・地上機器が歩行者の通行に障害となる	○ ・地上機器が歩行者の支障にならない	○ -	-	-	
	車両通行	△ ・地上機器の防護施設が必要になる	○ ・地上機器に衝突する懸念は少ない	○ ・地上機器に車両が衝突するリスクが大きい	× ・道路附属施設と同様に車道からの離隔が確保できる	○ ・車両通行の支障にならない	
	景観機能	△ ・地上機器が景観の障害になる	○ ・沿道利用がある場合、地上機器が景観の障害にはなりにくい	○ ・景観の障害に最もなりにくい	○ ・地上機器が景観の障害になる	× ・地上機器は道路附属施設と整合をとると景観の障害を抑えられる	○ ・地上機器が景観の障害に最もなりにくい
	沿道利用	△ ・地上機器が沿道施設の出入部と干渉する恐れがある	△ ・沿道建物に近づくため、地先との協議調整必要	△ ・沿道建物に近づくため、地先との協議調整必要	△ -	-	△ ・沿道敷地に近づくため、沿道利用に支障となる場合がある
コスト	△ ・歩道舗装、一部車道舗装の復旧費が必要 ・歩行空間確保のため日々復旧の費用がかかる ・地上機器の防護施設費が必要になる	△ ・土工断面が大きくなる場合がある ・一部舗装の復旧費が必要	△ ・歩道部脇ではあるが、歩道柵など地下工作物や基礎などの調整が必要	△ ・一部車道舗装の復旧費が必要 ・地上機器の車両用防護施設が必要となる	△ ・特殊部の大型化や保護盛土が必要となる	○ ・路外からのアプローチが出来ればコストは低くなる	
	施工性	○ ・歩道部のため施工性は良い ・トレンチャー掘削が活用可能な場合がある	△ ・歩道上からの施工で施工性は良い ・連続掘削は効率落ちる ・歩道柵がある場合、施工性が落ちる	△ ・管路敷設時に既設電柱が支障になる ・施工機械の乗り入れが出来れば施工性は良い	△ ・車道上からの施工で施工性は良くない ・連続掘削は効率落ちる ・ガードレール等がある場合、施工性が落ちる	× ・車道からの施工となり施工性は悪い	○ ・路外からのアプローチが出来れば施工性は良い ・トレンチャー掘削が可能な場合がある
メンテナンス(維持管理)	○ ・地上機器のメンテナンス性は良い	○ ・地上機器のメンテナンス性は良い	○ ・排水構造物との位置関係により、水処理が必要な場合がある ・地上機器が堆雪により埋まる支障がある	△ ・地上機器のメンテナンス性は悪い ・法面の草刈りの支障となる	× ・地上機器のメンテナンス性は良い ・法面の草刈りの支障にならない	○ ・路外からのアプローチが出来ればメンテナンス性は良い ・地上機器が耐雪により埋まる場合がある	
メンテナンス(除雪時)	△ ・地上機器が歩道除雪に支障となる	○ ・地上機器が歩道除雪に支障とならない	○ ・地上機器が歩道除雪に支障とならない	○ ・地上機器が車道除雪の支障になる	△ ・地上機器が車道除雪の支障にならない	○ ・車道除雪の支障にはならない	
評価	× ・歩行・車両の安全通行に支障となり、除雪作業の障害になり、埋設しないこととする	○ ・施工性はやや落ちるが、道路機能の確保とメンテナンス性が確保できる	○ ・道路機能を確保できる。施工幅が確保できれば、最も優位な埋設位置である。	○ ・車両の安全通行、維持・除雪作業の支障になり、埋設しないこととする	× ・施工性はやや落ちるが、道路機能の確保とメンテナンス性が確保できる	○ ・道路機能への影響が最も少ないが、施工空間の確保が課題	

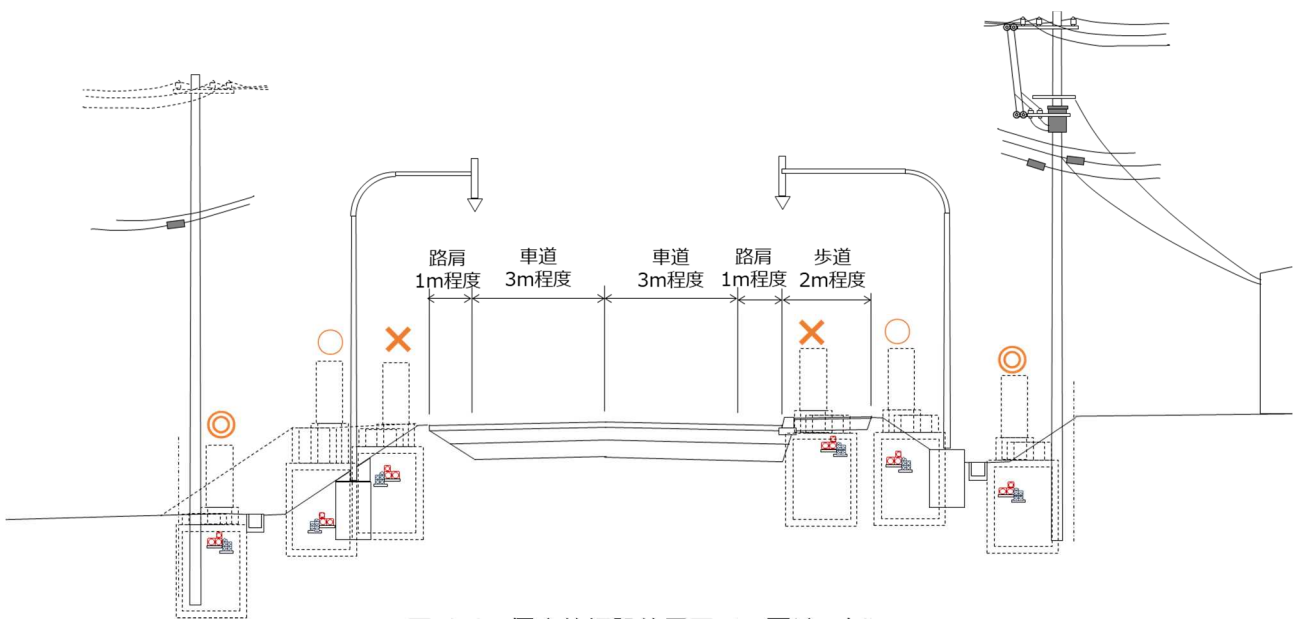


図-2.6 優先的埋設位置図(田園域の例)

(2) 歩道外の土工部を優先的に活用する

(1)で述べたとおり、地上機器を路外に設置することで歩行者の通行幅を確保することができ、車両の衝突リスクを低減できる(写真-2.6)。ただし、景観面においても地上機器は阻害になるので、できるだけ外側に設置するのが望ましい。特に開放的な沿道景観であればこれを検討すべきである。

施工面において、法面部の床堀は歩道上からの作業だと縦断方向に連続掘削できず施工性が落ちるが、段切り形状の床堀断面とすることで施工性を確保できる(写真-2.7)。また、法尻部に掘削機械が搬入できる場合、この位置を活用することが望ましい。

歩道がある場合、道路機能を確保するために歩道外



写真-2.5 歩行者の通行幅が確保できていない事例

の管路埋設をまず検討し、沿道利用に支障とならないように配慮することを踏まえ、できるだけ外側に埋設することが良い。

(3) 車道路肩部の管路埋設は回避を検討する

田園域の低盛土構造であれば大雨災害などで路肩崩壊に至るリスクは低いと思われるが、車道路肩部への管路埋設は、車両荷重への対応や車両用防護柵支柱の根入れに干渉するなど、必ずしも望ましい位置とは言えない(写真-2.8)。

また、地上機器が車道に近い位置に設置されると車両衝突リスクがあり、車両防護設備が付加されることにも繋がる。更に景観面や、草刈り・除雪等のメンテナンス性においても支障となる。郊外部の道路におい



写真-2.6 歩行者の通行幅や安全性を考慮した埋設位置



写真-2.7 法面部の床堀状況



写真-2.8 車道路肩部の地上機器と車両防護設備



写真-2.9 十分な離隔をとった地上機器



写真-2.10 車道法面部に設置した特殊部

では、道路標識柱などは安全性やメンテナンス性を考慮して路肩から1.5～2m程度外側に設置することとされている。これにならうと、地上機器も同様に外側へ離隔を取ることで安全性やメンテナンス性を確保できる(写真-2.9)。

なお、地上機器の基面高さについては、電線管理者との協議を踏まえ、路肩の耐雪によるメンテナンス性を考慮して路面高さとし地下構造が露出しないよう保護盛土を施工している。一方、通信接続枠であるが、マンホール高さを法面の高さに合わせて設置する事例がある(写真-2.10)。道路機能の確保としては後者が望ましいため、各管理者の冬期におけるメンテナンス頻度などを良く踏まえた上、できるだけ車道から離れた位置に管路埋設を行うことが望ましい。

(4) 車道外の法面部を優先的に活用する

盛土法尻部に機械がアプローチでき施工幅が確保できれば、法尻部が最も望ましい埋設位置である。これにより車両通行や景観面における道路機能が確保され、常設作業が可能でかつトレンチャー掘削による施工工程の短縮、電力通信側・道路管理側両面のメンテナン

ス性も確保が可能である。このような環境にある場合は、必ずこの位置への管路埋設を検討するのが良い。

ただし、沿道開発で道路高さへの嵩上げをする土地利用などが予想される場合、道路盛土を先行し盛土内への管路敷設を検討することも有効である。

2.4 実現場への導入による精度向上と効果の検証

令和3年度には、本研究において検討した低コストで効率的な地中化設計・施工技術を実現場に導入し、精度向上と効果の検証を行った。

導入箇所は、北海道七飯町の国道5号赤松街道電線共同溝工事である。電線類の地中化による「災害時における緊急輸送道路の確保」「安全で快適な歩行空間の交通確保」「良好な景観の形成に向けたまちづくり支援」を目的に事業が進められている。また現場の特徴として、これまでの都市部・市街地ではなく、沿道に「道の駅」がある郊外部の施工環境である。

検証区間は、本研究における省力化設計・施工技術が適用可能な、「道の駅」前の駐車帯部の延長130mである。角型多条電線管4条を敷設する区間で、掘削幅0.61m、深さ1.0mの掘削断面を採用した。

新たな掘削機械(トレンチャー)等を活用した無電柱化施工

○ 北海道の郊外部の道路のような、需要が少なく延長の長い区間において無電柱化を推進するため、トレンチャー掘削機械を活用することで、作業時間の掛かる掘削工程を大幅に短縮。加えて、施工断面を極力小さくすることで、施工全体の工程を短縮する取組を実施。

■ トレンチャーの活用により、掘削速度が大幅に向上



トレンチャー掘削状況(バルコンにより掘削同時積み込み)

▼トレンチャー掘削と従来工法の施工速度比較



従来施工に比べ約5倍～9倍に施工速度が向上、作業時間の掛かる掘削工程の大幅な短縮に寄与 4

図-2.7 トレンチャーの活用により、掘削速度が大幅に向上
(令和4年度第1回無電柱化推進のあり方検討委員会資料より引用)

2.4.1 地中化設計・施工技術の検証

(1) トレンチャー掘削速度の向上効果の検証

トレンチャーの活用により、掘削速度が大幅に向上した。これにより、作業時間の掛かる掘削工程を大幅に短縮することに寄与した（図-2.7）。

今回の施工ではベルトコンベヤーにより掘削同時積み込みを行ったため、4t ダンプトラックの入れ替え3分程度/回を考慮し、掘削速度は約 58.8m/h となった。これは従来のバックホウによる掘削と比較して、掘削速度が5倍程度向上した。

なお、同時積み込みを行わず、掘削土砂を横置きできる場合、トレンチャーの掘削速度は、約 101.6m/h となる。これは自然・田園域など土工部での掘削・埋め戻しに有効となる。

(2) 掘削断面の仕上がり精度の検証

トレンチャーによる掘削の結果、掘削幅はばらつきが少なく、精度良く仕上がる事が確認できた。また壁面が乱されず崩れるようなことがないため、管路敷設の余裕幅を十分に確保することができた（写真-2.11）。施工時に施工者及び有識者にアンケート調査を行っており、掘削断面の仕上がりが良く仕上げ作業の減に繋がる点が特に高評価であった（表-2.5）。

(3) 縮小断面内での管路敷設の作業性の検証

掘削幅 0.61m の掘削断面は人が入って作業するには十分な大きさであり、配管敷設はスムーズな作業が可能であった。また、掘削深さ 1.0m のため土留めも不要で、上下作業に支障が少なく作業性は良好であった（写真-2.12）。

角形多条電線管については、積み重ねが安定するた

め管枕の設置が不要であり、接続が容易であることなど、熟練を要しない良好な作業性が確認された。施工者及び有識者アンケートでも、作業性について特に高評価であった（表-2.5）。



写真-2.11 掘削断面の仕上がり精度と管路積み上げ状況



写真-2.12 角形多条電線管の敷設状況

表-2.5 施工時における検証項目及び現場施工時の評価（アンケート調査結果より）

検証項目・検証の視点		現地施工時の評価	
検証項目	検証の観点	評価	総体コメント【理由、改善アイデア】
作業ヤード・準備工	現場での適用性について	良い	【理由】旋回動作がないため、現場では安全に施工できる 【改善アイデア】タンクの進入箇所や歩道部等におけるASの養生が必要
	トレンチャーの取扱い、機械・人員の配置、増減についての現場の負担感	良い	【理由】現状においては人員は大きくは変わらない印象 【改善アイデア】運転手のリモート化（無人化）などできる範囲が増えれば人員の改善は可能
掘削・積み込み	掘削・積み込みに関する従来とのスピード比較	良い	【理由】コンベア等に関しては工程の縮減が可能 【改善アイデア】大きな石を砕くような機能や先端にカメラを付けてオペが見えるようにする
	トレンチャーを活かすための埋設位置や工区割、ダンプ運搬の効率化	良い	【理由】土場の近隣確保やダンプ回りが良ければ有効 【改善アイデア】効率的なチーム編成、連続掘削を行うための埋設管の事前調査等を実施
	掘削断面の仕上がりに関する従来との比較	とても良い	【理由】断面はキレイで、仕上げ作業の減につながる 【改善アイデア】掘削深さを自動調整できる機能があればなお良い
管路敷設	角形多条電線管による施工	とても良い	【理由】管台等もなく、作業性、接続も早い 【改善アイデア】管台は不要だが、管を束ねるような製品があると良い
	管路を横幅を広く積む方法	良い	【理由】土留めが不要となり、作業性が向上。埋戻し量が減少 【改善アイデア】-
保護砂	管種・積み方変更による保護砂の施工の効率化	良い	【理由】管路は自立安定している。隙間へは水締めが必要 【改善アイデア】電力管配管スピードは改善されるが、パイプレータ使用や通信管は従来のため、改善を検討しては
埋め戻し・復旧	日々の復旧・掘り返し作業の削減	同等	【理由】雨水侵入や断面崩壊の恐れがあるため日々の埋戻しが良い 【改善アイデア】バックホウの規格の低減
総合所見		-	・掘削土の再利用を検討しては（法の改正も含めて） ・玉石、点石、埋設物等による中断を回避できれば、作業スピードは速い ・横積みが可能となれば、作業性がさらに向上すると思われる 等

(4) 全体工程短縮及びコスト縮減の効果

全体工程は当初計画の約 3.5 日に対し、約 6 割短縮され、約 1.4 日となった（図-2.8）。内訳として、トレンチャー掘削の速度向上で約 0.9 日減、断面縮小による全体作業量の減で約 1.0 日減であり、作業時間の多くを占める土工の大幅な短縮効果が得られた。また、作業日が減るため日々の準備工が削減された。

管路敷設 1km 当たりの工事費のコスト縮減額を試算したところ、約 37,300 千円/km 減となり、約 4 割縮減となった（図-2.9）。これには、角型多条電線管のコスト縮減効果が最も大きく、断面縮小による作業量及び材料費の縮減効果も大きかった。

これらの検証の結果、郊外部の道路における地中化の低コスト・施工効率化の効果が確認できた。今後、既存マニュアルへの反映や郊外部に特化した技術資料の発行などを通じ技術の普及を図ることで、限られた予算のなか無電柱化実施延長を延伸し、魅力的な景観形成や安全・安心な暮らしへの貢献が期待できる。

2.5 郊外部に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術の提案

本研究では、郊外部の道路のような電力・通信需要が少なく延長の長い区間における地中化を推進することを目指し、これまでの電線共同溝方式の技術基準によらない抜本的な低コスト化・施工効率化を実現する地中化設計・施工技術を提案することを目的とした。

提案にあたっては、まず郊外部における地中化の基本的条件を把握し、次に、既往基準の見直しやケーススタディを通じ郊外部に適した省力化設計・施工の考え方を検討した。更に、令和 3 年度には開発した技術を実現場に導入し、開発技術の精度の向上と施工全体への効果を検証した。これらにより、郊外部における地中化の省力化設計・施工技術を提案した。以下にその主な点について記載する。

- ・自然・田園域などの郊外部の道路における電線類地中化は、地方公共団体などの気運の高まりや政策面の後押しから、事業化ニーズの高まりが予想される。
- ・郊外部の道路は電力・通信需要が少なく延長が長いため、これまでの電線共同溝方式による技術仕様ではなく、需要や沿道環境に適した抜本的な低コスト化・施工効率化技術が必要である。
- ・特に低コストに貢献する浅層埋設について積雪寒冷地での導入が可能であることを実証した。これは、電線共同溝技術マニュアルの基準改訂に繋がった。
- ・既往基準の見直しにより、従来の施工断面に比べ約 1/3 になる最小化断面設計を提案した。これにより大

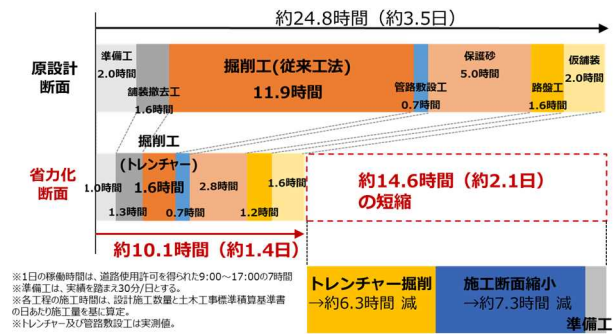


図-2.8 施工時間積み上げによる工程比較

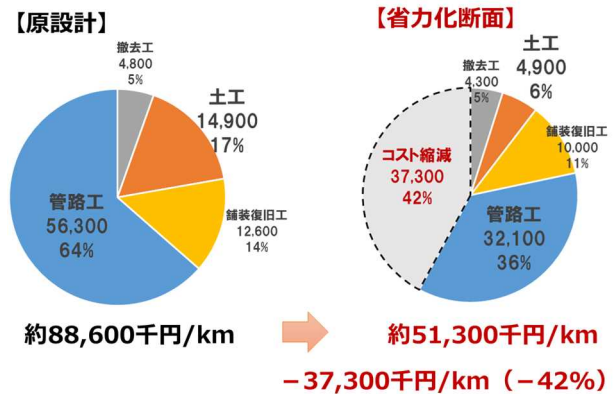


図-2.9 管路敷設 1km 当たり工事費のコスト比較

幅なコスト縮減及び施工効率化を実現する。

- ・施工断面を最小化したことでトレンチャー掘削機械が活用可能となり、作業時間のうち多くを占める土工の更なる低コスト化・施工効率化が可能となる。
- ・道路横断面における管路埋設位置は、路外・土工部の活用が、コストや施工性だけでなく道路機能や維持管理性の確保の観点から必要である。
- ・また、管路埋設位置は道路から最も離れた位置とすることを優先的に検討する必要がある。
- ・令和 3 年度には、実現場において最小化断面設計及びトレンチャー掘削技術を導入した。この施工を通じ検証を行い、技術の精度向上に繋がった。
- ・低コストで効率的な地中化設計・施工技術の導入により、全体工程の大幅な短縮と、工事費の大幅なコスト縮減の効果を検証した。

以上、郊外部に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術を提案した。この技術は、国土交通大臣が令和 3 年 5 月に定めた新たな無電柱化推進計画²⁴⁾の取組方針にも沿っており、また今後、既存マニュアルへの反映や郊外部に特化した技術資料の発行などを通じ技術の普及を図ることで、限られた予算のなか無電柱化実施延長を延伸し、魅力的な景観形成や安全・安心な暮らしへの貢献が期待できる。

3. 景観と歩行の阻害を改善する地上機器の対策手法の提案

3.1 はじめに

道路における無電柱化は、防災・強靱化、交通安全、景観形成・観光振興を目的に、主に市街部における電線類地中化（以下、地中化という）によって進められている²⁴⁾²⁵⁾。地中化が行われた道路空間では、電線・電柱が撤去されるため、その効果として道路空間の防災機能や交通安全性の向上と開放的な景観形成による沿道の魅力向上が期待される。

これまで、無電柱化が景観に与える影響については多くの研究がなされており、西名ら²⁶⁾、石田ら²⁷⁾、岩田ら³⁾、山田²⁸⁾は、市街地や歴史的街並み地区、及び今後地中化ニーズの高まりが予想される自然・田園域などの道路空間において、電線・電柱の有り／無し画像を用いた印象評価を行い、電線・電柱が無くなることによる景観向上効果を明らかにしている。また大石ら²⁹⁾は全国自治体を対象とした無電柱化のアンケート調査を行い、事業実施後の周辺住民の肯定的意見として「景観の向上」が多くを占めたことを報告している。

しかし、地中化により電線・電柱は撤去されるが、変圧器や開閉器などの電気設備を納めるためのボックス（以下、地上機器³⁰⁾という）が新たに路上に設置される。このとき、この地上機器の設置の仕方によっては、写真-3.1のように景観や通行の阻害が新たに発生してしまう事例が見られる。前述の大石ら⁹⁾の研究においても、「歩行空間の向上」は肯定的意見の中で少なく、一方、「地上機器が邪魔」という否定的意見が特に多くを占めたと報告している。また山下³¹⁾は、歩行行動において、視覚的な阻害感を受けやすい電線に対し、電柱や地上機器は身体感覚的な阻害感を受けやすく、これらの電気設備は「存在しないこと」が快適性の向上に繋がることを指摘している。

これらのことから、今後の地中化における地上機器の設置にあたっては、道路空間の景観だけでなく利用者の歩行阻害も改善することが重要と考えられる。

そこで、現地調査を通じて地上機器設置の実態と課題を把握し、改善に向けた基本的な考え方を提示した。更に、地上機器の配置や形状が道路空間の景観や歩行の阻害に与える影響について、今後想定される無電柱化事業箇所の道路構造や沿道環境を踏まえ、視覚的・身体感覚的評価により検証を行った。以上から、今後の無電柱化事業における道路空間の景観や歩行の阻害を改善するために、地上機器設置にあたり優先的に取り組むべき留意事項を示した。



写真-3.1 地上機器が歩行や見通しを阻害している例

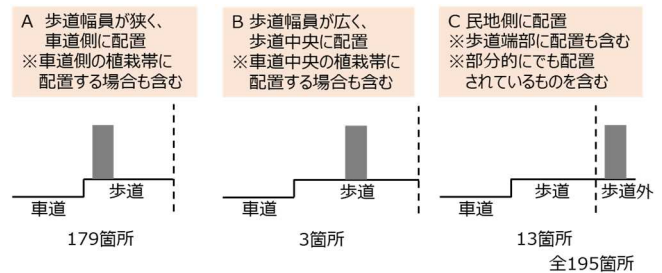


図-3.1 事例調査で把握した地上機器の設置位置

3.2 地上機器設置の課題と改善案の検討

全国の電線類地中化事業における地上機器の設置状況について事例調査を行い、道路機能や景観形成に影響を与える課題・要因の抽出と、それに対して考えられる改善案を検討した。

3.2.1 地上機器設置事例の調査

全国の電線類地中化事業における地上機器の設置状況について、道路管理者及び電線管理者の無電柱化事例の公表資料、文献調査及び現地調査から、参考となる約 200 以上の事業箇所における地上機器の設置事例を収集した。なお、設置事例については、次節においてその課題と改善案を解説する中で、合わせて説明する。

3.2.2 地上機器設置の改善案の検討

得られた事例から、地上機器が道路機能や景観形成に影響する要因を抽出し、それに対して有効と考えられる改善案について、配置や形状、色彩の観点から分類・整理した。以下に結果を示す。

なお、各事例の効果等を解説する文言は、事例調査から得られた情報と筆者らの既往の知見を基にしたものである。

(1) 横断位置からみた設置の考え方

筆者らの既往調査³²⁾では、電線類地中化事業における地上機器の基本的な設置位置を図-3.1 のように分

類し、多くは歩道上の車道側に設置されていることを示した。これは各地区の無電柱化推進協議会が発行する電線共同溝技術マニュアル¹⁷⁾¹⁹⁾などで一般的に示されている設置位置であり、良く見られる事例ではある。しかし、個々の道路環境によっては、歩行空間の見通しを阻害したり、車両衝突事故のリスクがあると考えられることから、一概に望ましい設置位置とは言えない(写真-3.2)。

これらの課題を解消するための最も有効な対策として、路外を含む民地側に地上機器を設置することが挙げられる(写真-3.3)。既往調査¹⁰⁾では全体の約7%で路外設置が実際に取り組まれていることが分かっている。この手法は、地上機器を道路敷地外に設置することが一般的である欧米と比べると取り組み事例は少ないが、日本においても、沿道のまちづくりと一体となって取り組むことでこれを実現している事例^{33)~38)}がある。道路敷地外への設置については、沿道住民との合意形成や用地処理などが容易では無いことが考えられるが、前述の参考事例や、『無電柱化事業における合意形成の進め方ガイド(案)³⁹⁾』に進め方が紹介されており、これらの手法を参考に進めることが有効になる。

また、多くの郊外部の道路では、道路敷地である歩道端から民地境界までの土工部が活用可能⁴⁰⁾であり(写真-3.4)、地上機器が車道から離れることで交通安全性の向上や、積雪寒冷地では除雪作業の効率化などが期待され、有効な対策であるといえる。

(2) 縦断位置からみた設置の考え方

一方、縦断方向に見てみると、道路附属施設や植栽との関係性が、「目立つ⇔目立たない」という視覚的な観点から重要であることが確認された。例えば植樹帯や樹木が地上機器の前後にある場合や、照明等の柱状物が近傍にある場合は群⁴¹⁾として視認され、地上機器の存在感を低減することが期待できる。また、連続する植樹帯の中に地上機器を配置⁴²⁾することなど、歩道部における歩行エリアを明確にすることが有効と考えられる(写真-3.5)。



写真-3.2 最も多かった歩車道境界の地上機器



写真-3.3 民地側に設置し歩道を広くした工夫
(出展：国土交通省東北地方整備局 HP)



写真-3.4 歩道外に設置し安全性やメンテナンス性が向上

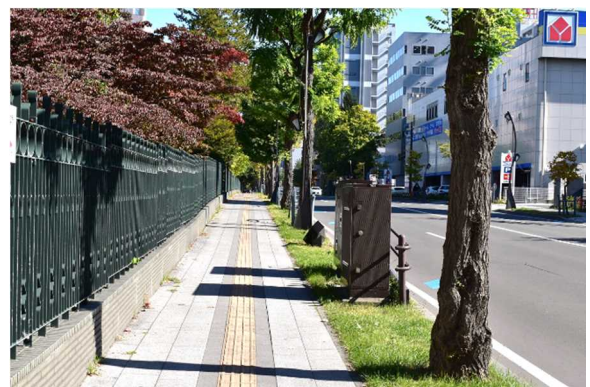


写真-3.5 連続する植樹帯の中に設置され違和感が軽減

(3) 形状の考え方

事例調査の結果、地域ブロックごとに形状（厚み、高さ）が異なることが確認された。これは、各地域の電力会社の基本的な仕様に則っていることが理由と考えられる。例えば北海道や関東圏では、高さ 1,200～1,400mm、厚み 450～600mm 程度の事例が多いが、北陸の石川県・富山県・福井県では、高さ 600mm、幅 200～300mm 程度の比較的小型のものを複数基に分割している事例が見られた（図-3.2）。また、イギリスにおける事例も参考に示す（写真-3.6）

これらの事例を比較すると、地上機器のサイズを小型化することで目立たなく、圧迫感が無い印象となり、これらのことが景観や歩きやすさに影響していることが考えられる。

なお、このような小型化や複数基へ分割する手法は、既に電線事業者によって、狹隘道路での設置を目的とした構造分割によるコンパクト化の研究開発も始まっており⁴³⁾、有効な対策であると考えられる。

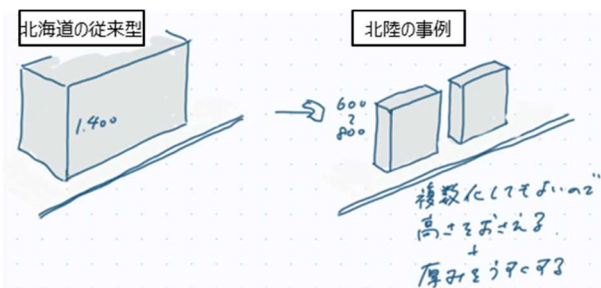


図-3.2 複数基に分割のイメージ



写真-3.6 小型で分割された地上機器（イギリス）

(4) 色彩の考え方

事例調査の結果、例えば北海道ではこげ茶色が多く、関東圏では緑色が多いなど、地域ブロックごとに色彩が異なることが確認された。これは、前述の形状と同様に、各地域の電力会社の基本的な仕様に則っていることが理由と考えられる。一方、写真-3.7のように事業や路線単位で色彩を統一している事例が多くあり、選定される色彩は様々であるが、道路空間における調和や他の道路附属施設との統一を図り、地上機器のみが目立たないようにされていた。

地上機器の色彩は、道路空間に調和する色彩を選定することが必要である。『北海道の色彩ポイントブック⁴⁴⁾』などを参考に多くの場面に適合する色彩を選ぶことが望ましいと考えられる。

また、地上機器に広告ラッピング⁴⁵⁾を施し、地域情報の発信や防災・マナー啓発、案内・サインなどに活用されている事例がある。これに関連して渡辺ら⁴⁶⁾は、歩行者の進行方向に対して水平に置かれた看板等は注視されづらいこと、一方、垂直に置かれた置看板などは注視されやすいが景観的な評価は低くなることを報告している。このことから、地上機器のラッピングについては、期待する効果を考慮の上、周辺環境と調和した色彩やデザインにすることが重要と考えられる。



写真-3.7 他の道路附属物等と色彩を合わせた事例

3.3 印象評価実験による検証

3.2 で整理した地上機器の設置位置や形状・色彩の改善案について、地上機器を設置する道路や沿道の環境に応じた対策の優先度を示すことを目的に、道路機能面及び景観面に係る印象評価実験を行った。

3.3.1 印象評価実験の手順と考え方

今回実施した印象評価実験の考え方を図-3.3 に示す。実験の順序としては、まず、評価1では、中心市街地における地上機器設置手法（配置：歩車道間/路外、通り：街路樹/植樹帯、形状：厚みが薄い/高さが低い、ラッピング有り）の違いについて評価を実施した。次に、道路や沿道の環境の違いによる影響を評価するために、評価2では中心市街地における歩道が広い/狭い、評価3では地方の小さな拠点における地上機器が隠れるものが多い/少ないによる違いについて評価を実施した。

また、評価4では視点を車両側に変え、評価3と同様の地方の小さな拠点（隠れるものが多い/少ない）に加え、郊外・自然域における道路環境（隠れるもの無し）での評価を実施した。

なお、地上機器の色彩については、『北海道の色彩ポイントブック⁴⁴⁾』を参考に、北海道における多くの沿道環境に適合するダークグレーとした。

3.3.2 印象評価実験の方法

本実験に適した評価尺度を選定するため SD 法⁴⁷⁾に

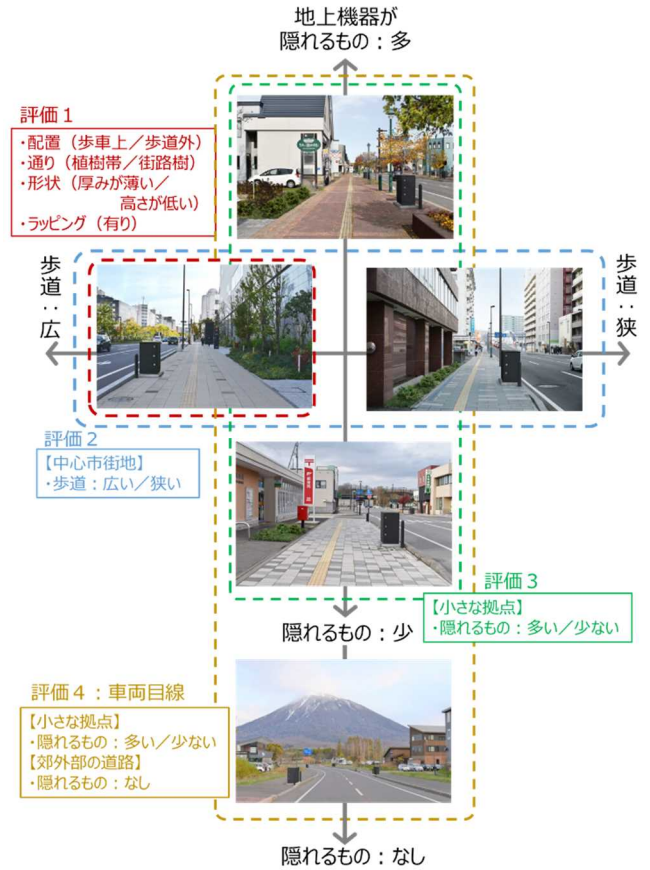


図-3.3 印象評価実験の考え方

関する既往研究⁴⁸⁾などから評価軸（形容詞対）を抽出した。具体には、景観を考えるうえで重要な3つの観点（視覚的評価・身体感覚的評価・意味的評価⁴⁹⁾を踏まえ、特に実験の目的から重要と考えられる「視覚的評価」「身体感覚的評価」の2つと、「総合評価」の観点を加え、使用する形容詞の絞り込みを行った。形容詞の絞り込みを表-3.1に示す。

実験は、WEB アンケートの形式により、全国の20代~60代の合計100名を対象とし、男女・年代が均等になるようにした。評価は図-4に示すとおり、沿道特性や視点ごとに場面を分類し、配置や形状が異なるフォトモンタージュ画像A~HをWEB画面に1枚ずつ表示し、それぞれについて各形容詞対を10段階で評価した（表-3.2）。

表-3.1 評価に用いる形容詞対とその絞り込み

類型化評価尺度	無電柱化の目的	先行研究	因子	形容詞対の代表例		今回採用
視覚的評価	都市景観の向上	景観性	視覚的	調和した	調和していない	○ 「空間」が調和しているかどうかを評価
				統一感のある	ばらばらな	
				すっきりとした	すっきりしていない	○ 「空間」がすっきりしているか評価
身体感覚的評価	安全で快適な通行空間の確保	認知性	変化	変化に富んだ	単調な	
				スケール感	開放感のある	圧迫感のある
			危険	安全な	危険な	
			親しみ	歩きやすい	歩にくい	○ 直接的に身体感覚を確認することを想定し選定、「空間」を評価
			快適感	快適な	不快な	○ 「空間」に対して通行するとき心地よい感じがするかを評価
			見晴らし感	見通しの良い	見通しの悪い	
総合魅力	快適な通行空間の確保	全体的な印象	総合	美しい	美しくない	
				好き	嫌い	○ 最も一般的な形容詞と想定し選定、「空間」を評価
				良い	悪い	
				魅力的である	魅力的でない	○ 総合的に空間に魅力を感じるか評価

表-3.2 評価尺度の設定

	どっちがどっちに近いかなどを左に近しい(は)右に近しい(は)										
	左に近い	←	←	←	←	←	→	→	→	→	右に近い
1.調和していない	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1.調和している
2.すっきりしていない	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	2.すっきりとした
3.圧迫感のある	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	3.開放感のある
4.歩にくい/危険な	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	4.歩きやすい/安全な
5.不快な	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	5.快適な
6.嫌い	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	6.好き
7.魅力的でない	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	7.魅力的である

場面		地上機器の配置・形状等				
		A. 地上機器無しの場合	B. 歩道に設置した場合	C. 歩道外に設置した場合	D. 地上機器の厚みがうすい場合	E. 地上機器の高さが低い場合
歩道上の視点	場面① 中心市街地（広歩道）					
		F. 植栽帯内にある場合	G. 街路樹と並んでいる場合	H. ラッピングを施した場合		
歩道上の視点	場面② 中心市街地（狭歩道）					
		F. 植栽帯内にある場合	G. 街路樹と並んでいる場合	H. ラッピングを施した場合		
歩道上の視点	場面③ 小さな拠点（隠れるもの多）					
歩道上の視点	場面④ 小さな拠点（隠れるもの少）					
		F. プランターと並んでいる場合				
車道上の視点	場面⑤ 小さな拠点（隠れるもの多）					
車道上の視点	場面⑥ 小さな拠点（隠れるもの少）					
車道上の視点	場面⑦ 郊外（ランドマーク無）					
車道上の視点	場面⑧ 郊外（ランドマーク有）					

図-3.4 評価画像の一覧

3.3.3 実験の結果

(1) 評価1：設置手法の違いによる評価結果

中心市街地の歩道が広い場面①の評価結果を図-3.5に示す。対策毎の比較では、「歩道外に設置」が全評価項目を通じて高評価であり、中でも身体感覚的評価がやや高い傾向が見られた。これに対して最も一般的な事例である「歩道上（歩車道境界）に設置」は全体的に評価値が低く、「高さを低くする」「ラッピング」は更に低評価であり、身体感覚的評価の下げ幅がやや大きい傾向が見られた。また、地上機器の「厚さを薄くする」「植栽帯内に設置」の評価値は歩道上に設置した場合と比べてやや高まっている。以上から、歩行空間

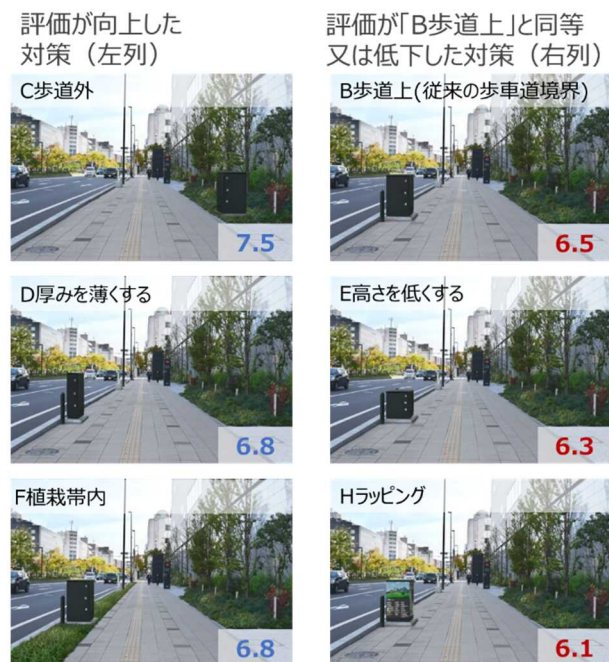
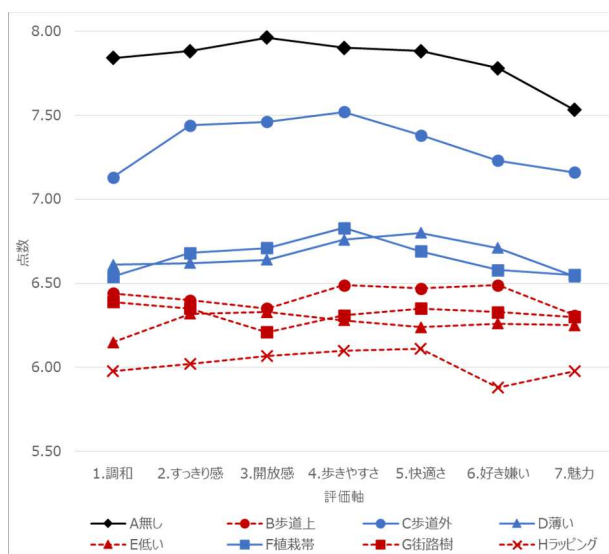


図-3.5 景観対策方法の違いによる評価結果の比較 (数値は「歩きやすさ」の点数)

の幅を一定かつ広い幅で確保される対策が評価を高めることを確認した。

なお、場面①～④（中心市街地の広い／狭い歩道、小さな拠点における隠れるもの多い／少ない）のいずれでも同様な傾向であった。

(2) 評価2：歩道幅の違いによる影響

中心市街地の歩道が広い場面①と狭い場面②の比較による歩きやすさの評価結果を図-3.6に示す。対策の違いに関わらず狭い歩道の方が評価を下げている。これについては、狭い歩道の場合は歩道幅に占める地上機器の幅の割合が大きいため、歩きにくくなると感じて評価を下げたと考えられる。

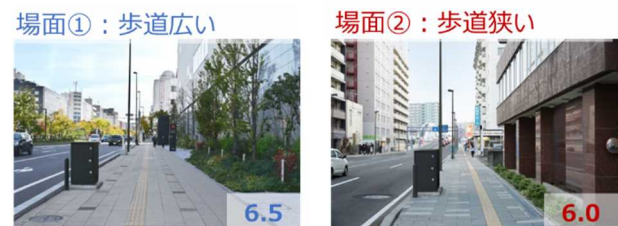
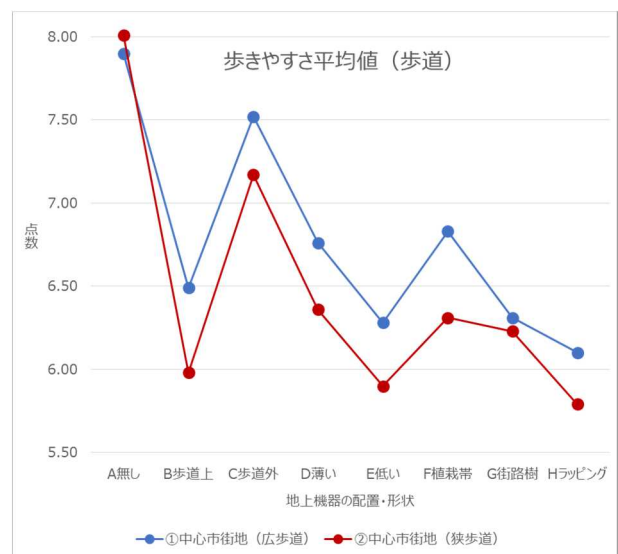


図-3.6 歩道幅の違いによる評価結果の比較

(3) 評価3：近傍施設の違いによる影響（歩道上からの視点）

小さな拠点の隠れる物が多い場面③と少ない場面④の比較による評価結果を図-3.7に示す。地上機器を歩道外に設置した対策では、いずれの場面でも歩きやすさを感じ全体的に評価が高いが、地上機器が歩道上に設置されると、隠れる物が少ない場面④がより評価を下げる結果となった。これについては、地上機器の近傍に隠れる物がなく単独で視線にさらされたことで、評価を下げたと考えられる。

(4) 評価④近傍施設の違いによる影響（車両からの視点）

車道上を走行する車両からの視点の評価結果について、市街地の街路及び郊外部道路の場面での評価結果を図-3.8に示す。

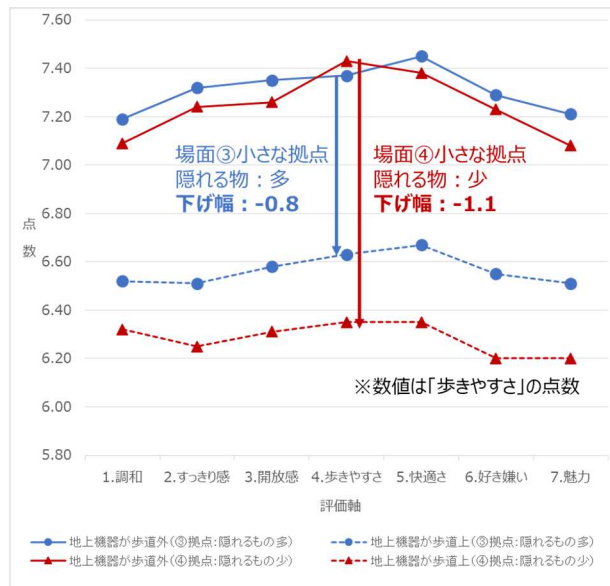


図-3.7 隠れる物の多さの違いによる評価結果の比較（数値は「歩きやすさ」の点数）

まず、(3)の歩行者の視点からの評価に比べ全体的に評価が下がる結果となり、車道からの視点の方が地上機器の阻害感が大きいことが分かった。今回の実験は画像によるものなのであくまで可能性でしかないが、車両視点においては被験者が通行スピードが上がることを想像した結果、身体感覚的な評価が下がったことも考えられる。

場面毎の比較では、郊外部道路でランドマーク有りの場面⑧が最も低評価となった。これは、既往の研究成果である電線電柱類が景観に与える影響に関する実験結果⁹⁾と同様に、道路上の人工物の少なさに加え、沿道の建物なども少ない開放的な場面⑧の方が、相対的に地上機器が景観を阻害する割合が大きくなるためと考えられる。

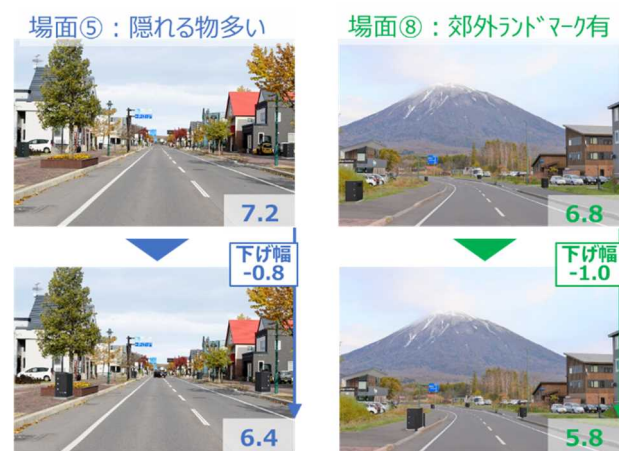
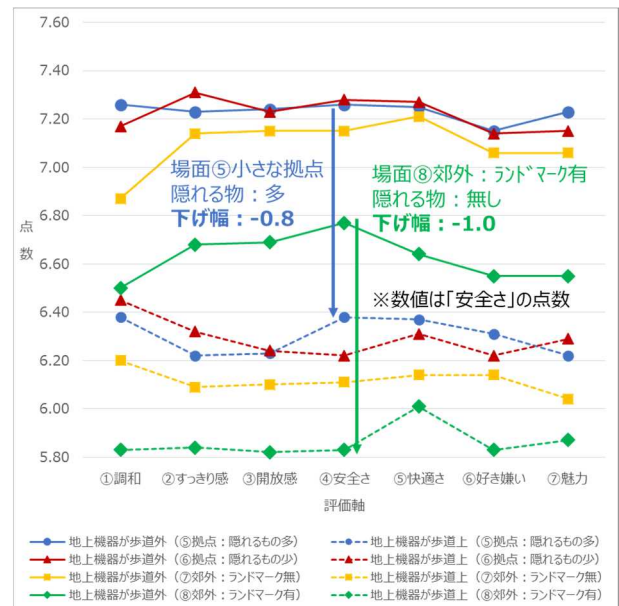


図-3.8 【車両からの目線】隠れる物の多さの違いによる評価結果の比較（数値は「安全さ」の点数）

3.4 地上機器設置における留意点のまとめ

本稿では、電線類地中化により新たに設置される地上機器が、道路空間において景観面だけでなく機能面でも阻害している現状を背景に、事例調査から地上機器の配置や形状、色彩などの課題の抽出とその改善に向けた基本的考え方を検討し、市街部や地方の街路及び今後事業推進が想定される郊外部の道路など、道路構造や沿道環境が異なる場面毎に印象評価実験を行い、取り組むべき対策の優先度を検証した。

これらを通じ本章では、今後の無電柱化事業における道路空間の景観や歩行の阻害を改善するために、地上機器設置にあたり優先的に取り組むべき留意事項を以下に示す。

3.4.1 配置・形状について

- ・地上機器の配置は「歩道外に設置」を目指すことが最も効果的である。中でも幅員の狭い歩道や道路附属施設等が少ない開放的な道路空間で取り組むことが重要である。なお、道路敷地外への設置にあたっては、『無電柱化事業における合意形成の進め方ガイド(案)³⁹⁾』が参考になる。
- ・特に郊外部の道路においては、交通安全や除雪作業などを考慮し道路附属施設を歩道上に設置しない場合が多く、歩道外の道路敷地が活用できるため、「歩道外に設置」することを必ず検討する必要がある。
- ・「歩道外に設置」が困難で「歩道上」に設置せざるを得ない場合には、「植栽帯の中に収める」など、歩行者の通行幅を一定かつ広く確保することが必要である。このほかに歩道幅員が広い場合などには、民地側の歩道端部への設置も有効となる
- ・上記に加えて、地上機器のサイズを小型化することが有効である。ただし、厚みを薄くすることが効果的であり、高さを低くすることだけではあまり効果が期待できないことに留意が必要である。

3.4.2 色彩・ラッピングについて

- ・広告等のラッピングは、道路空間の景観を損ねる場合があり、行わないのが良い。もし必要により行う場合、期待する効果を十分検討の上行うものとし、特に側面にラッピングする場合、色彩やデザインは景観を損ねないように留意すべきである。
- ・色彩については、道路空間に調和する色彩を選定することが必要であり、他の道路附属施設等と色彩を統一することが必要である。ただこれによりがたい場合、『北海道の色彩ポイントブック⁴⁰⁾』などを参考に多くの場面に適合するダークグレーなどを選定するのが有効となる。

本研究において得た知見については、実務における留意点として手引き等にとりまとめ、普及を図る予定である。これにより、道路利用者が安全・快適に利用できる魅力ある道路の景観形成に寄与できれば幸いである。

4. 高圧鉄塔／電線等に関する景観対策の提案

4.1 はじめに

4.1.1 送電線景観対策研究の背景

「無電柱化」は、諸外国に負けない我が国本来の美しさを取り戻し、安全で災害にもしなやかな対応が期待できる、効果的な対策である。平成30年には無電柱化推進法⁶⁾に基づき国土交通省が新たな無電柱化推進計画²⁴⁾を策定しており、これまでの防災性の向上、安全性・快適性の確保、良好な景観形成の観点から一層推進することと共に、特に近年頻発化・激甚化する台風や豪雨等による停電や通信障害の長期化の現状を踏まえ、電力レジリエンスの強化を目的とした電線類地中化の推進が盛り込まれた。

諸外国に比べ、日本の無電柱化はまだ大きく遅れをとっている(表-4.1)⁵⁰⁾⁵¹⁾のが現状であるが、これまで当研究所においても、環境に応じた多様な対策手法の提案^{1)~3)}や安くスピーディーな地中化設計・施工技術の開発(第2章)などを行っており、これらの技術の活用を含め、無電柱化の推進が期待される。

しかしながら、国土全体における魅力的な景観形成や新たに電力レジリエンスの強化などに今後対応していくためには、道路で対象とする配電設備や通信設備だけでなく、より広い視点からの景観阻害や頻発化・激甚化する広域災害への対応を考慮し、重要な電力インフラである高圧鉄塔や送電線などの送電設備においても、同様な対策が不可欠である。

表-4.1 欧州諸国と日本の送配電線地中化率(2010)
※統計データ⁵⁰⁾⁵¹⁾に基づき寒地土木研究所が作成

ヨーロッパ地中化率(2010)					>100kV回路延長				1-100kV回路延長				LV(<1kV)回路延長				国名
国名	全回路延長			地中化率 %	架空 km	地中 km	計 km	地中化率 %	架空 km	地中 km	計 km	地中化率 %	架空 km	地中 km	計 km	地中化率 %	
	ドイツ	372,611	1,400,085														1,772,696
フランス	775,323	518,143	1,293,466	40.1%	0	0	0	0.0%	356,263	251,790	608,053	41.4%	419,060	266,353	685,413	38.9%	フランス
イタリア	717,548	387,668	1,105,216	35.1%	0	0	0	0.0%	207,247	135,353	342,600	39.5%	510,301	252,315	762,616	33.1%	イタリア
イギリス	313,840	523,316	837,156	62.5%	50,462	24,978	75,440	33.1%	193,102	159,739	352,841	45.3%	70,276	338,599	408,875	82.8%	イギリス
ポーランド	558,889	215,252	774,141	27.8%	32,486	185	32,671	0.6%	234,732	70,760	305,492	23.2%	291,671	144,307	435,978	33.1%	ポーランド
スペイン	475,323	220,104	695,427	31.7%	30,363	1,017	31,380	3.2%	203,225	77,620	280,845	27.6%	241,735	141,467	383,202	36.9%	スペイン
フィンランド	276,349	106,392	382,741	27.8%	6,438	184	6,622	2.8%	121,153	17,000	138,153	12.3%	148,758	89,208	237,966	37.5%	フィンランド
スウェーデン	69,868	236,151	306,019	77.2%	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	69,868	236,151	306,019	77.2%	スウェーデン
オランダ	n.a.	n.a.	252,634	n.a.	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	105,968	n.a.	n.a.	n.a.	146,666	n.a.	オランダ
オーストリア	76,050	159,560	235,610	67.7%	9,200	560	9,760	5.7%	29,250	36,300	65,550	55.4%	37,600	122,700	160,300	76.5%	オーストリア
ギリシャ	205,199	23,693	228,892	10.4%	569	208	777	26.8%	96,793	9,915	106,708	9.3%	107,837	13,570	121,407	11.2%	ギリシャ
ポルトガル	173,469	49,158	222,627	22.1%	0	0	0	0.0%	66,725	16,531	83,256	19.9%	106,744	32,627	139,371	23.4%	ポルトガル
チェコ	136,743	84,698	221,441	38.2%	12,245	13	12,258	0.1%	58,734	12,979	71,713	18.1%	65,764	71,706	137,470	52.2%	チェコ
ベルギー	59,185	133,981	193,166	69.4%	0	0	0	0.0%	7,021	65,501	72,522	90.3%	52,164	68,480	120,644	56.8%	ベルギー
ハンガリー	125,681	46,274	171,955	26.9%	7,755	118	7,873	1.5%	53,887	12,929	66,816	19.4%	64,039	33,227	97,266	34.2%	ハンガリー
デンマーク	13,954	157,865	171,819	91.9%	1,364	379	1,743	21.7%	8,629	65,354	73,983	88.3%	3,961	92,132	96,093	95.9%	デンマーク
アイルランド	145,368	22,160	167,528	13.2%	402	136	538	25.3%	87,866	9,924	97,790	10.1%	57,100	12,100	69,200	17.5%	アイルランド
ブルガリア	113,257	40,659	153,916	26.4%	73	41	114	36.0%	49,651	14,801	64,452	23.0%	63,533	25,817	89,350	28.9%	ブルガリア
ルウエー	n.a.	n.a.	128,591	n.a.	n.a.	n.a.	11,062	n.a.	n.a.	n.a.	18,687	n.a.	n.a.	n.a.	98,842	n.a.	ルウエー
リトアニア	100,210	23,539	123,749	19.0%	0	0	0	0.0%	43,362	10,655	54,017	19.7%	56,848	12,884	69,732	18.5%	リトアニア
ラトビア	70,074	23,690	93,764	25.3%	0	0	0	0.0%	29,434	5,530	34,964	15.8%	40,640	18,160	58,800	30.9%	ラトビア
スロバキア	n.a.	n.a.	91,354	n.a.	n.a.	n.a.	6,743	n.a.	n.a.	n.a.	32,361	n.a.	n.a.	n.a.	52,250	n.a.	スロバキア
ルーマニア	57,566	32,379	89,945	36.0%	6,332	252	6,584	3.8%	22,645	12,021	34,666	34.7%	28,589	20,106	48,695	41.3%	ルーマニア
スロベニア	37,645	25,476	63,121	40.4%	801	10	811	1.2%	12,189	4,665	16,854	27.7%	24,655	20,801	45,456	45.8%	スロベニア
エストニア	46,000	14,000	60,000	23.3%	0	0	0	0.0%	20,000	6,000	26,000	23.1%	26,000	8,000	34,000	23.5%	エストニア
キプロス	14,688	7,739	22,427	34.5%	0	0	0	0.0%	5,482	3,305	8,787	37.6%	9,206	4,434	13,640	32.5%	キプロス
ルクセンブルク	1,434	7,043	8,477	83.1%	0	0	0	0.0%	1,115	2,044	3,159	64.7%	319	4,999	5,318	94.0%	ルクセンブルク
合計	4,936,274	4,459,025	9,395,299	47.5%	265,359	35,099	300,458	11.7%	2,030,731	1,385,161	3,415,892	40.6%	2,640,184	3,038,765	5,678,949	53.5%	合計

日本 地中化率(2010年度)					送電設備(170kV以上) 電線路巨長				送電設備(170kV未満) 電線路巨長				配電設備(高圧、低圧)電線路巨長				会社名
会社名	電線路巨長			地中化率 %	架空 km	地中 km	計 km	地中化率 %	架空 km	地中 km	計 km	地中化率 %	架空 km	地中 km	計 km	地中化率 %	
	東京電力	347,794	24,775														372,569
東北電力	191,016	3,686	194,702	1.9%	2,424	3	2,427	0.1%	12,010	444	12,454	3.6%	176,582	3,239	179,821	1.8%	東北電力
中部電力	179,025	5,653	184,678	3.1%	2,216	105	2,321	4.5%	8,664	1,235	9,899	12.5%	168,145	4,313	172,458	2.5%	中部電力
九州電力	175,158	2,755	177,913	1.5%	2,508	45	2,553	1.8%	7,161	704	7,865	9.0%	165,489	2,006	167,495	1.2%	九州電力
関西電力	137,530	10,581	148,111	7.1%	3,391	145	3,536	4.1%	10,694	4,240	14,934	28.4%	123,445	6,196	129,641	4.8%	関西電力
中国電力	103,853	3,491	107,344	3.3%	1,838	12	1,850	0.6%	5,972	533	6,505	8.2%	96,043	2,946	98,989	3.0%	中国電力
北海道電力	92,301	1,777	94,078	1.9%	2,433	9	2,442	0.4%	5,537	335	5,872	5.7%	84,331	1,433	85,764	1.7%	北海道電力
四国電力	56,191	969	57,160	1.7%	1,261	1	1,262	0.1%	2,013	112	2,125	5.3%	52,917	856	53,773	1.6%	四国電力
北陸電力	44,622	1,401	46,023	3.0%	475	0	475	0.0%	2,700	126	2,826	4.5%	41,447	1,275	42,722	3.0%	北陸電力
沖縄電力	11,254	645	11,899	5.4%	-	-	-	-	768	268	1,036	25.9%	10,486	377	10,863	3.5%	沖縄電力
10社合計	1,338,744	55,733	1,394,477	4.0%	20,175	731	20,906	3.5%	66,757	13,815	80,572	17.1%	1,251,812	41,187	1,292,999	3.2%	10社合計

4.1.2 国内外の送電線の現状

前述のとおり、諸外国と比較して日本の送配電線や通信線の無電柱化は大きく遅れている。例えば表-4.1に示す欧州諸国と日本の送配電網に占める地中化の割合をみると、欧州諸国全体の47.5%に比べ日本は4.0%と最も少ないことが分かる。特にドイツにおいては、自然保護や景観保全を重視する国民意識の高さを反映し国土全体の送配電網の地中化率が79.0%にのぼっている。また、デンマークは国土全体の地中化計画を策定・実行しており、延長は短いながら91.9%にのぼっている。イギリスは、ロンドン市内が100%であるなど歴史的に配電線の地中化がされているが、国土全体では62.5%になっている。比較して日本における送電線（170kV未満）の地中化率は、東京、関西などの大都市圏や台風災害の多い沖縄で3割程度となっているが、先進諸国と比べるとその割合は低い。

このような現状にある日本の送電線は、設備の立地による外部不経済を生んでいる。例えば写真-4.1のように、支笏洞爺国立公園にある樽前山の景観を送電線が阻害しており、このような送電線の景観阻害を理由に観光開発の計画変更を余儀なくされた事例がある⁵²⁾。また、北海道七飯町の新規「道の駅」の整備に合わせ前面道路の無電柱化を実施しているが、最終的に敷地内に高圧鉄塔が残ってしまう事例（写真-4.2）や、市街地や宅地の拡大に合わせて地中化が進まず、送電鉄塔が宅地建物に隣接してしまう事例（写真-4.3）など、景観性や快適性に支障となる事例がある。

更に、災害により送電網が被災すると、広域に大きな影響を及ぼす課題がある。例えば令和元年9月9日の台風15号では、千葉県房総半島を中心に首都圏やその周辺で大きな被害があり、電柱1996本が折損・倒壊・傾斜等の被害を受けたほか、送電鉄塔2基の倒壊（写真-4.4）により系統がルートダウンし、約11万軒の停電が発生、復旧には18日を要している⁵³⁾。他方、北海道登別市においては、平成24年初冬期に発生した激しい暴風雪の影響で、送電線への着雪により張力の不均衡が生じて鉄塔が倒壊し、市内全域56,000世帯で3日間の停電が発生した⁵⁴⁾。寒冷地の冬期停電は、暖房の使用が出来なくなるなど人命に直結するため、この事象の発生により住民の防災意識の変容に繋がった。

これらのように、送電線の立地による景観・観光へ与える影響や、災害に対する電力の安定供給・暮らしに与える影響は決して小さいものではなく、地中化を含めた送電鉄塔／送電線の対策が必要と思われる。



写真-4.1 樽前山の景観を阻害する高圧鉄塔／送電線



写真-4.2 「道の駅」なないろ・ななえ前の無電柱化区間と高圧鉄塔／送電線



写真-4.3 宅地建物に隣接する高圧送電鉄塔（札幌市）



写真-4.4 令和元年台風15号による送電鉄塔の倒壊（千葉県）

出典：台風15号事故調査検討WG中間報告書⁵³⁾

4.1.3 送電線景観対策研究の目的

そこで本研究では、国土全体で地中化が進んでいない現状と、送電線による景観阻害や設備立地による防災や暮らしへの支障などの課題を踏まえ、これらの解決に資する対策手法を提案することを目的に、以下の調査分析を行った。

- ①国内の送電線地中化等の事例調査による技術的課題の明確化
- ②海外の送電線地中化等の先進事例の調査分析
- ③送電線地中化等の実現に向け解決すべき事項の考察

4.2 国内における送電線地中化等の事例調査による技術的課題の明確化

国内の事例調査として、まず送電線に関する論文を収集し、収集した文献を基に、送電線の景観対策や地中化に関するカテゴリー毎に分類・整理を行った。また、国内の送電線地中化の事例について報道記事の収集や現地調査を行い、地中化に至った要因や課題について検証を行った。

これらの調査を通じ、国内における送電線の景観阻害や防災・暮らしの支障などの課題や潜在的なニーズについて明確化し、これらの対策手法として地中化等の技術的課題を抽出した。以下に調査の内容及び主なニーズ・課題を述べる。

4.2.1 国内の送電線事例調査の内容

事例調査は表-4.2に示すように、インターネットの論文データベース等を用いて、キーワード検索により送電線に関する国内の論文を収集した。キーワードは、「送電線 景観」「送電線 地中化」「地中送電線」などとし、収集した論文93編となった。次に、送電線の景観や地中化に関連する潜在的なニーズや課題についてカテゴリーを設定し、収集した文献からカテゴリーに該当する記述を抽出し、整理・体系化した。

また、新聞記事の収集や現地調査により、送電鉄塔／送電線の設備事例や地中化の実施事例について補足調査を行った。

表-4.2 国内の送電線事例調査の概要

項目	内容	
国内文献収集	検索対象データベース	論文データベース：J-stage、Cinii、google scholar
	検索キーワード	「送電線 景観」、「送電線 地中化」、「地中送電線」
	収集結果	国内論文93編
カテゴリー分類	景観、用地取得、住民要望、防災（風、雪）、環境影響、地価への影響、景観対策技術、地中化コスト、地中化の電気技術	
実施事例調査	商用データベース	北海道新聞データベース、日経テレコン21、MAGAZINEPLUS
	現地調査	・北海道内の送電線敷設事例 ・北海道内の送電線地中化事例について現地踏査を実施（札幌市、稚内市、倶知安町、留寿都村ほか）

4.2.2 景観面のニーズ・課題

(1) 景観評価の手法の確立

我が国の送電鉄塔は、1907年に初めて建設され、高度経済成長による電力需要の増加、環境面・土地の制約などによる電源立地の遠隔化、及び電源規模の大容量化に伴い、送電線も長距離・大容量化が必要となり、送電鉄塔は大型化してきている。このような状況から、都市環境や自然環境との調和を考慮した送電鉄塔が求められている⁵⁵⁾。また篠原⁵⁶⁾は、景観を阻害しやすい構造物として送電線を対象に取り上げ、垂直性、連続性、トラス構造による形態の複雑さなどの性質から自然景観になじみにくい指摘している。

自然風景地においては、送電鉄塔のスカイラインの切断が眺望に対して重大な支障を与える。これについて熊谷ら⁵⁷⁾、電力中央研究所⁵⁸⁾は図-4.1のような景観評価手法を提案している。送電鉄塔が背景の山のスカイラインから突出する部分を「シルエット率」と定義し、シルエットがスカイラインから突出するだけで景観に混乱が生じ始め、更に1/2以上の場合には更に大きな混乱が生じることを明らかにしている。また、背景の山の高さで送電線の高さを比を「スケール比」という評価尺度で定義し、これが約1/2を超えると景観に混乱が生じはじめることを明らかにしている。（参考：写真-4.5）

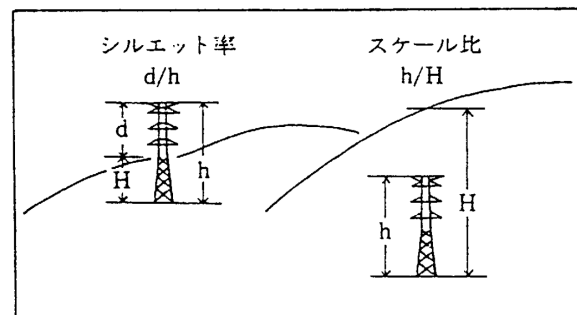


図-4.1 シルエット率とスケール比の定義
出展：環境アセスメントにおける予測評価手法に関する研究（Ⅱ）⁵⁹⁾



写真-4.5 自然景観における送電鉄塔

以上の「シルエット率」「スケール比」については、環境アセスメントにおける予測評価手法としてまとめられている。またこの考え方は、近年設置が進む風力発電所について、環境省が作成した『国立・国定公園内における風力発電施設の審査に関する技術的ガイドライン⁶⁰⁾』にも反映され、風力発電設備の景観評価尺度として採用されている。

(2) 環境影響評価法の対象工作物になっていない

前述のように、送電線の景観評価についての有効な手法が提案されているが、環境影響評価法では送電設備は対象事業とされておらず、都道府県の環境影響評価条例においても東京都その他8県（寒地土木研究所調べ）が対象としているのみとなっており、法的な規制が少ない現状にある。

例えば都道府県条例に基づいた環境影響評価の実施事例では、送電線の工事の実施・工作物の存在による環境保全・景観保全の評価として、動物や生態系とともに景観の評価を行っている。生態系については、「希少猛禽類の繁殖地外にあり伐採による改変面積が小さいものとして環境影響が極めて小さい」と予測しており、景観については、「2基の新設鉄塔がスカイラインから突出するものの既設の鉄塔が手前や周辺に存在することから、新設鉄塔による環境影響は大きくない」と評価されている。また、他の事例においては、「送電鉄塔が山稜に設置され全体がスカイラインから突出（シルエット率100%）するものの、視野全体に対してスケールが小さいため影響が小さい」とされていたり、「既設鉄塔の増強・更新のため、全体が大きく視認できても改変による影響が少ない」などの評価がされていた。これらのように、都道府県条例で景観評価が行われていても、(1)の景観評価の観点からみると適切な評価がなされていない事例があることが確認された。

(3) 景観対策の考え方

送電鉄塔が景観に与える影響は大きく、送電線の施設にあたっては景観面の評価を適切に行い、景観保全の対策を実施することが重要である。

景観評価の観点から、景観影響をできるだけ小さくするために送電鉄塔のスカイライン切断の回避（シルエット比を0とする）を前提とすることが重要である。これを実現するためには地中化が確実な手法であるが、これによりがたい場合、地形の起伏などを活かし見えないようにする送電線ルート工夫⁶¹⁾が考えられる。なお、スカイラインを切断しなくても、背景となる山稜の高さに対する送電鉄塔の高さの比（スケール比）を1/2以下とするように、鉄塔の配置を眺望点から十分に離すことが望ましいといえる。

4.2.3 防災面の課題：台風への対応、送電線の難着雪化対策

(1) 台風災害対応の現状

日本における昨今の台風災害や短時間での集中豪雨は、以前では想定できないほど大きな被害をもたらしてきており、送配電設備の被害により大規模な停電が発生している（表-4.3）⁶²⁾。

特に令和元年台風15号による電柱の倒壊・破損により発生した停電は長期間におよび、日常生活や経済活動に大きな影響を与える結果となった。千葉市では最大風速35.9m/s、最大瞬間風速57.5m/sを観測するなど、多くの地点で観測史上1位の最大風速や最大瞬間風速を観測する記録的な暴風が発生した。停電被害は最大約93万戸にのぼり、千葉県を中心に停電が長期化し、おおむね停電の復旧（※停電軒数がピーク時と比較して99%解消）に約280時間を要し、近年の停電被害の中では突出している⁵²⁾。

こうした中、国は鉄塔・電柱の技術基準見直しに向

表-4.3 近年の自然災害に伴う送配電設備への被害状況について⁶²⁾
出典：経済産業省

年	自然災害名 (主に被災した電力会社)	最大停電戸数	被害状況※ ※電柱100本以上被害
2015年	台風15号 (九州電力)	約48万戸	電柱444本
2016年	台風10号 (東北電力)	約5.5万戸	電柱671本
	台風16号 (九州電力)	約25万戸	電柱284本
2017年	台風21号 (関西電力・四国電力)	約29万戸	電柱187本(関西電力) 電柱206本(四国電力)
2018年	西日本豪雨 (中国電力・四国電力)	約7.5万戸	電柱848本(中国) 電柱443本(四国)
	台風21号 (関西電力・中部電力)	約240万戸	電柱1,343本(関西) 電柱287本(中部)
	台風24号 (中部電力・九州電力)	約180万戸	電柱206本(中部) 電柱368本(九州)
2019年	台風15号 (東京電力PG)	約93万戸	鉄塔2基 電柱1,996本
	台風19号 (東京電力PG・中部電力・東北電力)	約52万戸	電柱135本(東京) 電柱344本(中部) 電柱763本(東北)

け専門家らによる「令和元年台風 15 号における鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ」(以下「WG」という。)を設置し調査検討を進め、2020 年 1 月に中間報告書⁵²⁾が示された。今後の最終とりまとめの方向性としては、現行の風速基準 40m/s (10 分間平均) は維持するものの、地域毎の個別風速や特殊な地形による突風を考慮した新たな基準を設けることとされた。

これにより、今後送電線の建て替えや改修等が予想されることから、これらの更新時期を把握するとともに、更新時に地中化や景観対策を実施するため事前に計画を策定しておくことが重要になる。

なお、同 WG において電柱の対応方針も示されているが、①電力会社と自治体・自衛隊との連携を通じた倒木処理・伐採の迅速化、自治体と連携した事前伐採の推進、②飛来物の飛散防止に関する注意喚起の徹底のほか、③無電柱化の推進が示されており、電柱においても電力レジリエンスの観点から地中化ニーズの高まりが予想される。

(2) 暴風雪による着雪対応の現状

架空送電線の雪害は、送電線の建設が始められて以来の問題であり、着雪による異常荷重、電線へ付着した雪が一斉に脱落することにより電線が大きく跳ね上がるスリートジャンプ、着雪した電線が雪に作用して電線が上下に大きく動揺するギャロップ、またこれらによる短絡(電線間のショート)など多様である。

これらについて電気設備に関する技術基準を定める省令⁶³⁾(省令第6条、第32条第1項)に基づき、電気設備の技術基準の解釈⁶⁴⁾「第93条特別高压架空電線路の難着雪化対策について」により、降雪の多い地域において以下のいずれかに該当する場合は、電線の難着雪化対策を

施すこととしている。

- ・市街地その他人家の密集する地域及びその周辺地域において、建造物と接近状態に施設される場合
- ・主要地方道以上の規模の道路、横断歩道橋、鉄道又は軌道と接近状態、または上に交差して施設される場合

また、各電気事業者においては、省令⁶⁵⁾に従い電気工作物の維持、運用にあたりとともに、架空送電線に関する民間規格である架空送電規程⁶⁶⁾を参考に雪害対策を講じている(表-4.4)⁶⁶⁾。特に積雪寒冷地においては、市街地等だけでなく一般箇所も含めて難着雪化対策を行うとしている。

しかしながら、前述のとおり平成 24 年北海道登別市においては、初冬期の暴風雪等により送電鉄塔の倒壊による停電災害が発生した。着雪の原因として、着雪しやすい気象条件が続く中、局所的に 20m/s 以上の強風が発生したことが重なったことと共に、倒壊鉄塔を挟み両側の径間において、着雪対策(捻れ防止ダンパ)有りの径間と無しの径間で着雪量のアンバランス

表-4.4 各電気事業者の雪害対策の考え方：耐雪強化対策
出展：今後の雪害対策のあり方について⁶⁶⁾

項目	一般地域着雪量		大型河川横断面とその周辺等の着雪割増量		市街地およびその周辺、主要地方道以上の道路等	その他割増し箇所
	着雪厚さ(mm)	密度(g/cm ³)	横断面径間長	河川幅		
北海道	3.5(kg/m) (重量で規定)	0.7	600m 超過 厚さ 50mm 密度 0.6	規定しない	難着雪化対策(市街地等に係らず一般箇所も含め全径間難着雪化対策)	—
東北	25, 30, 35, 40	0.6	規定しない	400m 以上 5mm 増	難着雪化対策(市街地等に係らず一般箇所も含め全径間難着雪化対策)	径間長 600m 超過 5mm 増
東京	25, 35	0.6	規定しない	50~200m 5mm 増 200~400m 10mm 増 400m 以上 15mm 増	154kV 以下 難着雪化対策 275kV 以上 5mm 増	上記以外の 275kV 以上も 5mm 増 地形や経験を考慮
中部	20, 25	0.6	600m 超過 10mm 増	規定しない	5mm 増	275kV 以上 5mm 増 開けた谷横断面は大型河川に準ずる
北陸	35, 40	0.6	径間長 600m 超過かつ 河川幅 400m 以上 5mm 増		左記着雪量を管内全域で適用(一般箇所着雪量は難着雪化対策分を考慮)	275kV 以上は観測データによる個別設計
関西	0, 20, 25, 30, 35	0.6	600m 超過 5, 10mm 増	規定しない	5mm 増	地形や経験を考慮
中国	0, 20, 25, 30	0.6	600m 超過 10mm 増	規定しない	5mm 増	—
四国	0, 10, 20	0.6	600m 超過 5mm 増	規定しない	5mm 増	—
九州	0, 10, 20	0.6	600m 以下 5mm 増 600m 超過 10mm 増	規定しない	5mm 増	—
電源開発	他社実績など考慮	同左	同左	同左	同左	同左



図-4.2 送電線地中化事例（札幌市豊平川ミュンヘン大橋）

が生じ、過大な張力差が発生したことが要因であることが報告されている⁶⁶⁾。つまり、気象条件によっては、当初想定していない着雪が起きる可能性は否定できない。

一方、積雪寒冷地の市街地や宅地においては、鉄塔倒壊に至る対応に加えて、日常的な落雪への対応が求められる。図-4.2 及び写真 4.6 は、北海道札幌市の市街地において近年地中化を実施した事例である。地中化の理由としては、住民要望により景勝地である河川・橋梁の景観向上を図ったことのほか、次項にて詳述する市街地化・宅地化の拡大、また、それに伴う落雪対策を目的に実施されている。

送電線の着雪対策については、想定外の災害発生が否定できない架空線の難着雪対策だけでなく、抜本的な対策として地中化の推進が有効と思われる。

4.2.4 土地利用面の課題：送電線下の建築及び土地利用制限

電気設備の技術基準の解釈⁶⁴⁾では、送電設備は「市街地その他人家の密集する地域」に施設しないこととしている。しかしながら、一定の条件に該当すれば施設して良い例外規定がある。またそれは、17万ボルトの電圧を境に例外規定の違いがある。以下にそれぞれの条件における送電線下の土地利用について説明する。

なお、送電線の電圧について、例えば北海道では、18万7000V または 27万5000V の送電線が主要な発電所や超高压変電所を連系する基幹系統であり、11万V以下で多くは6万6000Vの送電線が配電網へ連系するローカル系統になっている⁶⁸⁾。



写真-4.6 渡河部の送電線が地中化された事例（札幌市豊平川ミュンヘン大橋）

(1) 17万ボルト未満の送電線下の土地利用の制限

17万ボルト未満の送電線について、市街地その他人家の密集する地域の施設においては、①電線にケーブルを使用し、②地表からの高さの基準を確保すれば可能となる。例えば図-4.3のように6万6000Vの送電線であれば10.48mである。また、送電線と建物の離隔距離があり、この場合約3.6mであるため、既に送電線が建設されている場合、建物を建てることは可能であるが、建物高さは $10.48-3.6=6.88\text{m}$ に制限されることに

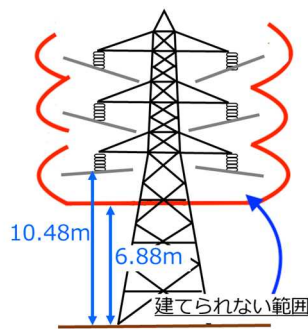


図-4.3 6万6000V送電線の立地状況（札幌市）

なる。また、送電線下の土地は、上述のような物理的な制限による地役権の設定や、心理的な圧迫感や不快感、電波障害の影響、電磁波に関する風評被害などあり、不動産取引において土地評価が下がる影響がある。

ここで、「市街地その他人の密集する地域」についての算定基準は、**図-4.4**の通り送電線沿線区域における建ぺい率が25~30%以上である地域とされている。都市部においては、**写真-4.7**のように、縁辺部の宅地拡大などによりこの規定を超える地域が少なからずあると想定され、このような地域については、速やかに地中化等の対策を行うことが必要である。

(2) 17万ボルト以上の送電線下の土地利用の制限

17万ボルト以上の送電線については、回線数が2以上のもの、又は当該送電線の損壊による著しい供給支障を生じないものであれば、市街地に施設できるとされている⁶⁴⁾。このような基幹系統は重要度が高く電圧が高いため、ほとんどの場合は上記の例外規定を確保し施設されていると考えられる。このような超高圧の送電線は、送電鉄塔高さが60mを超える大規模なものとなり都市景観に大きな障害となる(**写真-4.8**)。

また、日本電気技術規格委員会規格 JESC E2012 (2013)「170kVを超える特別高圧架空電線に関する離隔距離⁶⁹⁾」の規定の通り、送電線と建築物の水平離隔距離が必要となり、送電線+水平離隔距離の範囲内において建物は建てられない(参考:**図-4.5**⁷⁰⁾)。このような送電線下の土地利用制限により地域が分断されてしまうなどの課題もある。

一方、これらを改善するための対策として地中化を進めるには現状において技術的な困難がある。地中送

$$\text{建ぺい率} = \frac{\text{造営物で覆われている面積 (m}^2\text{)}}{50,000 - \text{道路面積 (m}^2\text{)}}$$

図-4.4 市街地その他人の密集する地域の建ぺい率
出典：電気設備の技術基準の解釈⁶⁴⁾



写真-4.7 市街地の拡大により送電線が地中化された事例 (札幌市澄川変電所周辺)



写真-4.8 市街地における27万5000V送電線 (札幌市)

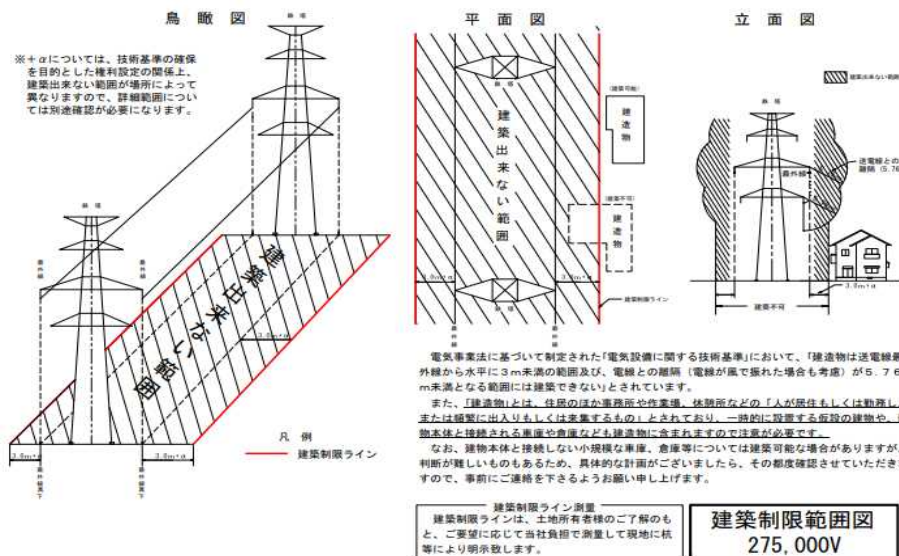


図-4.5 27万5000V送電線の建築制限例
出典：東京都住宅政策本部資料⁷⁰⁾

電線は架空線に比べ送電容量が小さく多大なコストがかかるが、送電容量を大きくすると地中ケーブルは絶縁体に覆われているため温度の上昇がケーブル破損に繋がる課題がある。また、雷事故の発生により、架空線は空気の絶縁機能は回復するが、地中線の絶縁機能は失われてしまう課題がある。更に、電磁波や電離放射線などの健康影響についても、技術的な検証や住民の懸念などの課題がある⁷¹⁾。

超高压送電線については、景観や暮らしなどの課題があるが、対策としての地中化は設備上の困難な技術的課題や住民の健康影響の懸念もあり、これらを踏まえた必要な区間の精査と計画的な整備が必要である。

4.2.5 設備増強等に伴う送電線の新設・更新について

(1) 風力発電所の建設に伴う送電線の現状

昨今再生可能エネルギーの導入は、環境負荷低減の観点から欧州を中心に世界的に拡大しており、日本においても固定価格買取制度 (FIT) により急速に導入が拡大している。特に北海道では、風力発電の導入ポテンシャルが高く、近年風力発電所が急増している。

風力発電の設置場所については、大きく「陸上」と「洋上」に分けられる(図-4.6⁷²⁾)。これまで北海道においては陸上において立地が進められているが(写真-4.9)、洋上風力発電は陸上に比べより大きな風力を安定的に得ることができ、さらに騒音や万が一の人的被害などのリスク、また景観などの環境問題が少ないことなどがメリットであり、今後、着床式に加え、今後の技術開発により浮体式の導入の拡大が予想される。

風力発電所の新設に伴い、既存の送電網までの連系線が新設されることになるが、今回の調査では多くの新設線は地中化により施設されており、また地中化による施設を選択する理由としては様々であり、以下の事項を把握した。

- ・風力発電所そのものが景観を考慮して建設されるため、これに伴う送電線についても発電事業者自ら地中化を選択する。
- ・自治体・住民や観光事業者から、地域の景観の保全

や観光への支障の懸念から地中化を求められ、これらに応じ発電事業者が地中化を行う。

- ・送電鉄塔の建設には用地の取得が必要となるが、土地所有者の理解が得られず取得できないため、用地取得の必要が無い道路占用による地中化を選択する。
- ・連系線は、事業者が自ら維持管理を行うため、架空線に比べ管理の容易な地中化を選択する。

以上、風力発電事業者が自ら行う送電線の整備にあたっては、当初より地中化を選択する傾向にあることを把握した。

また、今後導入が予想される洋上風力発電については、連系線が海底ケーブルとなり陸上への引き上げもそのまま地中による敷設が想定される。



写真-4.9 風力発電所 (宗谷丘陵)

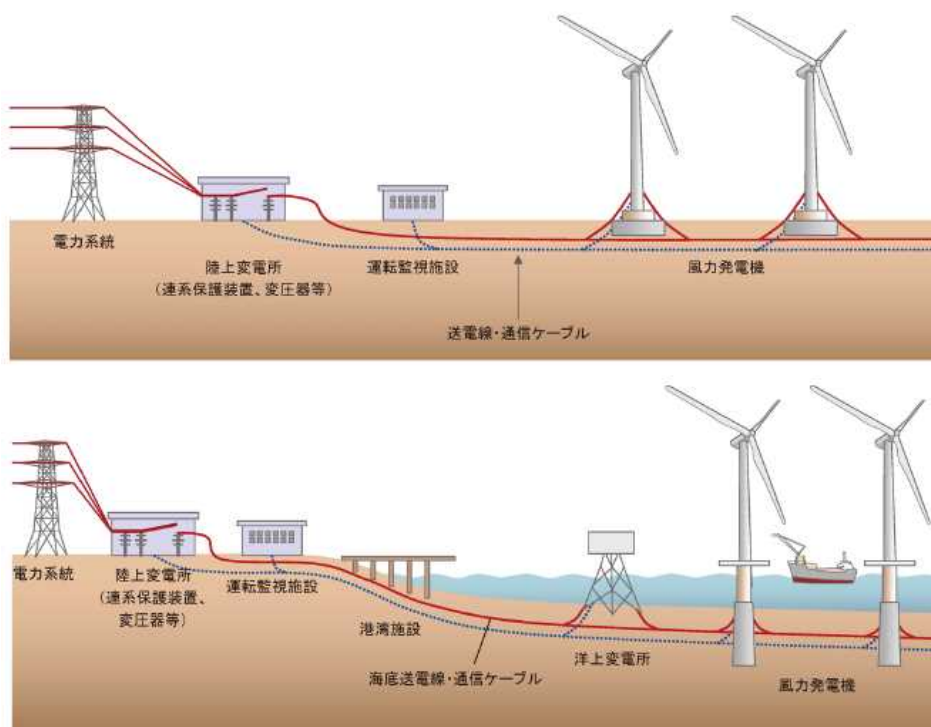


図-4.6 風力発電所の主要構成要素 (上: 陸上 下: 洋上)
出典: NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第2版

(2) 送電設備増強時における地中化事例

前述のとおり、風力発電事業における送電網への連系線の整備については、多くが地中化されているが、既存の送電網の増強や改修が伴った場合においては、架空線のまま更新が行われると思われる。

既存送電線の地中化においては、このような設備更新の際に合わせて実施していくことが有効となる。例えば北海道倶知安町の6万6000V送電網においては、世界的観光地であるニセコにほど近い箇所に新しく変電所が新設された。この際、連系する既設送電線が現状の1回線から2回線に増設され、これに必要な大型の送電鉄塔に更新する必要が生じた。送電鉄塔の更新には用地取得も必要となったが、地権者との協議の結果新たな鉄塔用地は取得せず、当該敷地を迂回するようにルートが変更された。変更ルートとしては、平行する道路までは架空線を新設し、道路敷地内は占用により地中化している。合わせて、この区間の既設送電線・鉄塔は撤去されている。

今後、4.2.3 で指摘したように電力レジリエンスや、本事例のような電力系統の見直し、また経年劣化による設備更新などが多く発生することが予想される。このような設備の更新時期に合わせた対策が促進されるために、電力事業者の工事情報について自治体や道路管理者に情報共有することが有効となる。

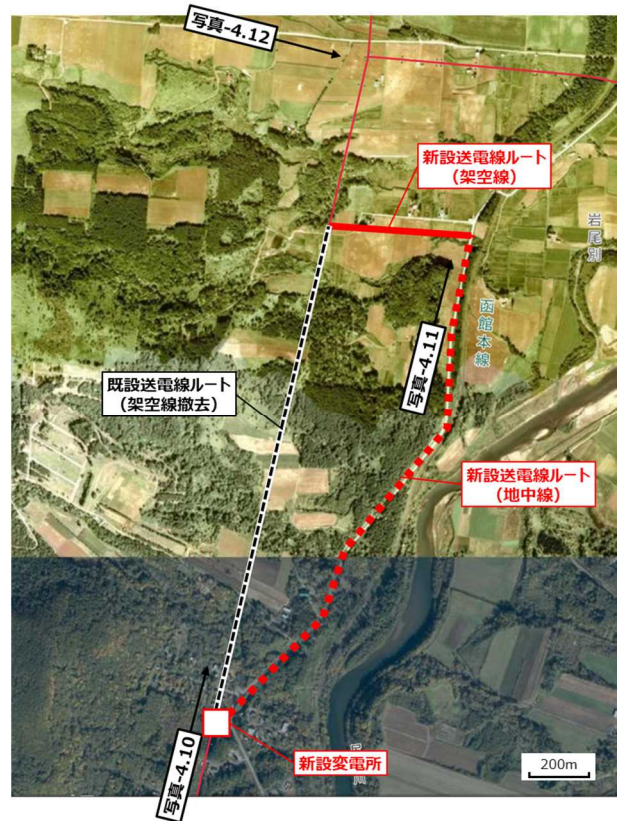


図-4.7 送電線地中化事例（北海道倶知安町）



写真-4.10 既設の架空線が撤去された区間



写真-4.11 移設ルートの新設送電鉄塔
(架空線～地中線の切り替え点)



写真-4.12 既設分岐から変電所までは1→2回線に増強され、大型の送電鉄塔へ建て替えられた

4.3 海外における高圧鉄塔/電線等の景観対策に関する事例調査

高圧送電網の景観や防災に関する近年の調査や施策として、経済産業省が検討を進めている「鉄塔・電柱に係る技術基準をめぐる現状」⁷³⁾や、託送料金制度（レベニューキャップ制度）⁷⁴⁾があげられる。前者では、鉄塔の技術基準見直しに向けた検討が進められているほか、「災害に強い分散型グリッドの推進」「送配電網の強靱化・計画的な更新投資とコスト効率化」の必要性が示され、これがレベニューキャップ制度の検討に繋がっているものの、高圧送電網に関する具体的な計画は今後の検討課題であり、計画と取り組みの関係は示されていない。

また、電力事業者等からは、架空線工事に係る人員確保や許認可、用地確保などに時間を要するため、高圧送電線地中化へのニーズが高い。これに対応するためには、地中化に必要となるコストを抑える技術開発に加え、地域性や長期的ビジョンに基づいて高圧送電線の地中化や対策計画を策定し、事業者が主体的に取り組むことができる方策を示す必要があると考える。

そこで本研究では、欧米諸国の先進的な高圧送電線の地中化計画や事業手法を調査し、日本の高圧送電線地中化や防災・景観面の対策における計画・制度・事業評価・技術開発の方策について考察することを目的として、欧米の高圧送電線地中化事業の報告書等を調査した。本研究では、インターネットのキーワード検索により、表-4.5 に示す文献を収集した。調査対象は、欧米諸国の中でも先進的な取り組みをしているデンマーク、英国、米国とした。

4.3.1 調査の結果

(1) デンマーク：Energinet.dk

a) Cable Action Plan (2009)

Energinet.dk は、環境エネルギー省管轄下の公営企業である。2008年、デンマーク政府とエネルギー協定を合意し、2009年、デンマークの将来的な主要電力送電網の拡大のためのガイドライン「Cable Action Plan」⁷⁵⁾を作成している。この計画は地域の送電会社と協働で作成され、架空式送電延長の長期的な削減シナリオや送電鉄塔の景観対策手法を提示している。

架空式送電延長の長期的な削減シナリオについては、新規の132kv-150kv線は地中ケーブルで設置し、既存の132kv-150kv線はケーブルアクションプランに従い地下に埋設する計画を策定している。具体的には、基本的なシナリオの場合、都市部では2026年、自然地域では2041年、他の地域では2050年までに全て地中化

表-4.5 本研究で調査した文献

デンマーク（高圧送電線の地中化推進計画）	
1	Technical report on the future expansion and undergrounding of the electricity transmission grid (Energinet.dk. 2008)
2	Cable Action Plan (Energinet.dk. 2009)
3	Strategy Plan 2010. (Energinet.dk. 2010)
4	Denmarks Cable Policy (Energinet.dk. 2014)
イギリス（送配電事業者の収入上限）	
1	Handbook for implementing the RIIO model (Ofgem. 2010)
2	RIIO-T1: Final Proposals for National Grid Electricity Transmission and National Grid Gas (Ofgem. 2012)
3	A primer on utility regulation in the United Kingdom: Origins, aims, and mechanics of the RIIO model (New York University. 2014)
4	Decision on revenue, outputs and incentives for National Grid Electricity Transmission plc's roles in Electricity Market Reform (Ofgem. 2015)
5	Guide to the RIIO-ED1 electricity distribution price control (Ofgem. 2017)
アメリカ・バージニア州（無電柱化事業効果）	
1	Placement of utility distribution lines underground (Virginia State Corporation Commission. 2005)
2	Evaluation of Underground Electric Transmission Lines in Virginia (Virginia State Corporation Commission. 2006)
3	VDOT Utility Manual (Virginia State Department of Transportation. 2011)
4	Cost-Effectiveness of Undergrounding Power Lines. Hi-Line Engineering (Kevin J. Mara)
5	3D Engineered Models: Schedule, Cost and Post-Construction. (Federal Highway Administration)

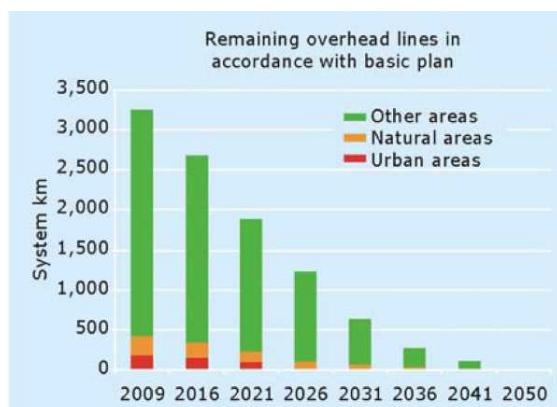


図-4.8 既存132kv-150kv線地中化計画（基本的なシナリオ）※Cable Action Planより転載

する計画としている（図-4.8）。

また、シナリオの各段階における達成目標には、「架空線の削減延長」のように、数値の信頼性が高く、達成度合いを具体的に把握できる指標を策定している。加えて、将来の社会的変化に対応するために「基本的な計画」と「整備投資が加速化した場合の計画」それぞれの地中化への切替計画延長を設定し、都市化地域、

自然地域、国立公園といった地域区分や、400kV、150kVといった送電区分ごとに、全区間地中化～現状維持まで複数レベルのシナリオを検討している（図-4.9）。

b) Cable Action Plan の見直し

Cable Action Plan 策定後、2018年にRUS計画⁷⁶⁾、および Technical issues related to new transmission lines in Denmark⁷⁷⁾が策定され、Cable Action Plan の見直しが行われた。400kVについては、新規は架空とし部分的に地中化することと、架空400kVの周辺では既設132-150kVを地中化することが示された。一方、新規132-150kVは基本的に地中化とし、既存の132-150kVは、特定の都市部や環境上特徴的な箇所で地中化することとなった。

Cable Action Plan が変更された背景は、地中化における電力・土路面の技術的な検証や、デンマーク国内の再生可能エネルギーへのシフト情勢を受けたものである。

なお、既存400kVの架空送電鉄塔は、図-4.10のような景観向上案が検討されている。

(2) 英国 : Ofgem

Ofgem (Office of Gas and Electricity Markets) は、ガス・電力エネルギーの独立規制機関である。英国では1989年の電力事業民営化に伴い、1990年に収入キャップ方式 (RPI-X : Retail Price Index)⁷⁸⁾を導入した。これは、送電事業者が整備コストと効果の目標を上回る効率で事業を実施した場合、その分の収益を報酬として受け取ることが可能な投資・費用回収の枠組みである。

具体的には、目標を達成または上回る効率で事業を実施した場合にボーナス、未達成の場合にペナルティが課される仕組みであり、規制期間内のコストのみに焦点が当てられていた。

そこで2013年には、新たな収入キャップ方式が採用された (RIIO : Revenue using Incentives to deliver Innovation and Outputs Transmission)⁷⁹⁾⁸⁰⁾。RIIOのアウトプット指標とインセンティブを表-4.6、表-4.7に示す。安全性や信頼度、可用性、環境影響、顧客満足度など、アウトプット重視の幅広い評価手法を採用し、それらの達成状況から許容収入レベルを変更するインセンティブ規制である。

具体的なインセンティブについて、環境影響の項目を例に挙げると、新規インフラ等に対する計画要件がある指定地域において景観の視覚的な影響の軽減要求・基準を満たした場合、インセンティブとして、開発合意に必要な緩和技術のための追加費用へ基金を活用できるようになることや、影響軽減のための初期支

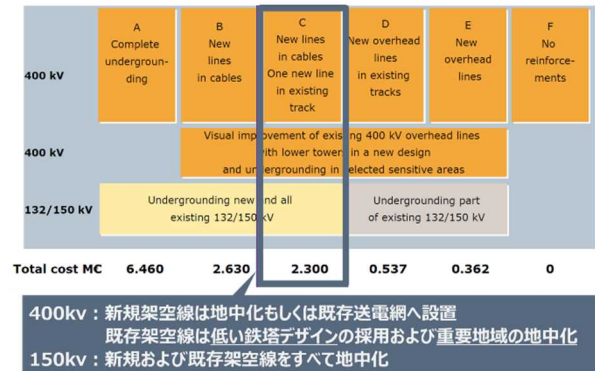


図-4.9 送電区分ごとの地中化シナリオ案比較および採用されたシナリオ ※Cable Action Plan より転載・加筆

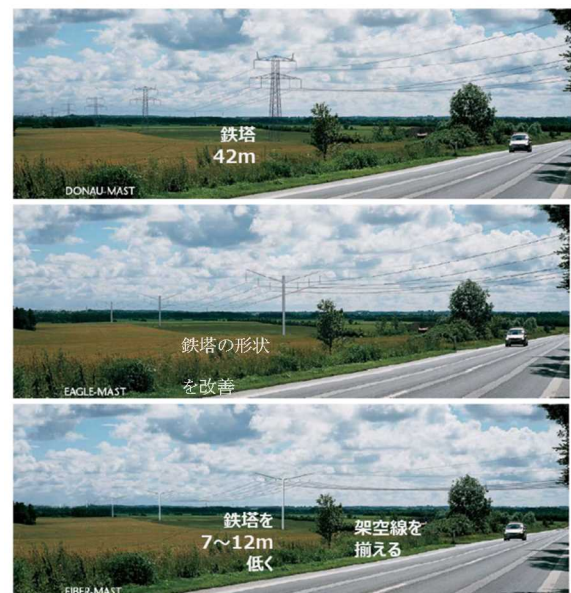


図-4.10 400kV 既存送電鉄塔の景観向上案 ※Cable Action Plan より転載・加筆

表-4.6 RIIOにおける配電・送電事業のアウトプット指標

カテゴリ	配電	送電
顧客満足度	顧客・利用者の経験を反映した幅広い評価 定性的調査に基づく評価	
安全性	英国安全衛生庁による最低法的要件の遵守 公益になると想定される追加の安全対策	
信頼度・可用性 (ネットワーク・リスク)	停電回数 (Customer interruptions : CI) 停電時間または供給支障電力量 (Energy Not Supplied: ENS)	供給支障電力量 (Energy Not Supplied: ENS) 送電制約
接続性	配電設備への接続に要した時間 利用者への接続に要した時間	
環境影響	配電ロスを含むネットワークの二酸化炭素排出量 新規の低炭素電源割合 その他の排出ガス 景観への影響 顧客・利用者のエネルギー効率化における役割	送電ロスを含むネットワークの二酸化炭素排出量 新規の低炭素電源割合 その他の排出ガス 景観への影響
社会的義務	社会的弱者への対応	

出に係る費用の一部を収入として確保できるようになる。

送配電線のルート選定では、利害関係者や地域コミュニティとの協議など、公開協議を通じてオプションやルートの選択を行う。かつては架空式か地中化のいずれかを個別で選択する方法を採用していたが、現在は部分的な地中化など双方を併用したルート選定に取り組んでいる。

(3) 米国：バージニア州企業委員会（VSCC）

VSCC が策定した「Placement of utility distribution lines underground」⁸¹⁾は、主に配電線を対象とした地中化推進のガイドラインである。配電線を架空にするべきか地中にすべきかを判断する際の、事業効果の定量的評価の考え方が示されている。具体的には、地中化の費用対効果と、環境評価などの評価指標が示されており、地中化により影響が及ぶ幅広い評価指標を設定し、経済的影響と、環境、景観、技術、法的影響の考え方を明確に示し、それらを構造化している。

既設の架空線を地中化した場合、電力供給と経済の直接効果（街路樹の維持費削減、交通事故軽減、自然災害時の復旧短縮など）のみを評価すると、十分な費用対効果が現れない。そのため、より広範な経済効果（州、地域、市町村全体や、消費者個人への効果）を評価している。その結果、地中化による景観向上の価値は、地中化の計画や資金調達に十分なメリットがあるとして、新規の電線等整備の地中化を義務づけている地域も存在する。

4.3.2 考察

以上の事例をまとめ、計画・制度・事業評価・技術開発の視点ごとに考察を行う。

(1) 計画

デンマークの Cable Action Plan や Technical issues related to new transmission lines in Denmark では、地中化延長という明確な数値目標と、地区ごと・電圧レベルごとのシナリオが策定されていた。計画策定後は、地中化や景観対策の技術的検証や、再生可能エネルギーへのシフトにあわせた送電網の再編が検討され、達成目標やシナリオの見直しが行われた。このように、明確で長期的な計画を策定しつつ、エネルギー政策の進展や地中化技術の実証を経て計画を見直していくプロセスが重要と考えられる。

(2) 制度

Ofgem では、地区ごと・電圧区分ごとのインセンティブのほか、開発合意に必要な鉄塔等の見直しに対してもインセンティブを与えている。前述した計画と照ら

表-4.7 アウトプット指標とインセンティブ

カテゴリー	アウトプット指標	インセンティブ
安全性	<ul style="list-style-type: none"> 英国安全衛生庁の安全基準の遵守 合意された目標に対する資産の健全性や状態、重要度ならびにR110-T2の資金調達への影響 	<ul style="list-style-type: none"> 法定要件のため、財政的インセンティブはなし ネットワーク代替出力の超過/不足値の2.5%のペナルティ/報酬
供給信頼性	<ul style="list-style-type: none"> 供給に支障が出た電力量（最重要アウトプット） 	<ul style="list-style-type: none"> 損失負荷の応じ16,000/MWh のインセンティブ 最大ペナルティは収入キャップの3%
可用性	<ul style="list-style-type: none"> 送電網アクセスポリシー（Network Access Policy: NAP）の作成と維持 	<ul style="list-style-type: none"> 評判的インセンティブ（世評の向上） NAPの作成とアップデートの適切性により、財政的インセンティブの可能性あり
顧客満足度	<ul style="list-style-type: none"> 顧客・利害関係者に対する満足度調査の実施 利害関係者の効果的な関与 	<ul style="list-style-type: none"> 収入キャップの±1% 任意報酬制度による収入キャップの0.5%まで
関係性	<ul style="list-style-type: none"> 法的な要求事項の選 	<ul style="list-style-type: none"> 一般的な法遵守の義務
環境	<ul style="list-style-type: none"> 年間のベースライン目標（漏洩率0.5%のベストプラクティス）の達成 	<ul style="list-style-type: none"> ベースラインとの差異による非取引の炭素価格をベースにして価値換算した報酬とペナルティ
	<ul style="list-style-type: none"> 送電の損失量や損失による影響に対する総合的な戦略の公表（年間ベースでの対策の進捗状況の公表） 	<ul style="list-style-type: none"> 評判的インセンティブ（世評の向上）
	<ul style="list-style-type: none"> ビジネスレベルでの温室効果ガス排出量に関するデータ（ビジネス・カーボン・フットプリント：BCF）の公表 	<ul style="list-style-type: none"> 評判的インセンティブ（世評の向上）
	<ul style="list-style-type: none"> R110-T1 で明確に捕らえられなかった不可能なTO とSO の役割に焦点を当てた基準（EDR 基準） 	<ul style="list-style-type: none"> スコアカードにおいて、業界のリーダー的な役割を果たしていると評価された場合に報酬を付与
	<ul style="list-style-type: none"> 新規のインフラストラクチャーに関する計画要件にある指定地域において、景観影響の軽減要求・基準を満たす（視覚的影響軽減） 	<ul style="list-style-type: none"> 開発合意に必要な緩和技術のための追加費用への基金の利用 指定地域における既存インフラの影響を軽減するための500百万ポンドの初期支出キャップ
強化事業（新規投資）	<ul style="list-style-type: none"> ベースラインとして、7,250MWの追加送電 	<ul style="list-style-type: none"> 送電網強化対策新規事業の実施のための基本資金の提供
	<ul style="list-style-type: none"> 約22,150MWの更なる追加送電 	<ul style="list-style-type: none"> NDP 基準の達成や最速なアウトプットの早期実行または段階的実行により、SWW 構成で資金を提供

し合わせると、地区ごと・電圧レベル毎のシナリオや、技術的検証の項目と概ね一致している。つまり、計画で策定されたシナリオや技術的検証項目と、インセンティブにつながるアウトプット指標の項目が合致することで、事業者が計画に取り組みやすくなると考えることができる。

(3) 事業評価

計画とインセンティブ制度の推進を図るため、地中化や防災・景観対策の広域的な評価が重要となる。本調査では配電線地中化の評価指標を対象としたが、高圧送電線についても、同様の評価により事業者のインセンティブや地域との協働を進める必要があると考える。

(4) 技術開発

送電線の地中化計画の推進と、高圧送電線の地中化や災害に対する安定性、景観対策に関する技術的検証が同時並行で行われている。デンマークの Energinet.dk では、それらを検証した Technical issues related to new transmission lines in Denmark をとりまとめ、地域性や電圧区分ごとに電力・土木面から検証し、計画を見直していた。

4.3.3 まとめ

本研究では、欧米諸国の先進的な高圧送電線の地中化計画や事業手法を調査し、日本の高圧送電線地中化

における計画・制度・事業評価・技術開発の方策について考察した。その結果、①地中化延長といったわかりやすい数値目標による長期計画、②事業者が計画目標に主体的に取り組めるようなアウトプット指標とインセンティブ、③地中化の計画や資金調達の特長を評価する幅広い指標が重要であるという結論を得た。また、その際に必要な項目として、④再生可能エネルギーなどの社会情勢の変化に併せた計画シナリオの検討、⑤地区別・kV別の地中化に必要な電力面・土木面の技術的検証、⑥送電鉄塔の景観対策を示した。

4.4 送電線地中化等の実現に向け解決すべき事項の考察

本研究においては、国土全体で地中化が進んでいない現状と、送電線による景観阻害や設備立地による防災や暮らしへの支障などの課題を踏まえ、これらの解決に資する対策手法を提案することを目的に、国内の送電線地中化等の事例調査による技術的課題の明確化、及び海外の送電線地中化等の先進事例の調査分析を行った。

これらの国内外の事例分析から得られた、送電線地中化の潜在ニーズや課題を踏まえ、送電線の景観評価や対策の現状や、今後送電線の地中化等の実現に向け解決すべき事項について考察した。

4.4.1 送電線の現状

- ・配電線だけでなく送電線においても、国土全体で地中化が進んでおらず、国土全体の地中化率は4.0%と低く、特に欧州諸国と比べ大幅に遅れている。そのため、都市や自然域における景観が阻害され、また災害時に停電が長期化し、電力レジリエンスの観点から防災や暮らしに支障となっている。

4.4.2 景観面からの適切な評価の必要性

- ・自然風景地における送電線の景観評価手法は、スカイラインを侵す「シルエット率」と山の高さに比べた「スケール比」という評価指標が提案されており、これらの指標を最小化することが景観対策として有効である。
- ・しかし、送電線は環境影響評価法の対象工作物になっておらず、都道府県条例の制定も少ない。また都道府県条例の対象事例においても、景観評価が適切になされていない事例がある。

4.4.3 景観以外のニーズを取り込んだ計画的な地中化の推進

- ・台風や集中豪雨等の災害が頻発化・激甚化により、大規模停電の発生が顕在化している。今後電力レジリエンスの観点から設備更新が予想されるため、更

新時期の把握とそれを踏まえた地中化等の計画策定が重要になる。

- ・特に積雪寒冷地における送電線の着雪対策は、予測しえない着雪による鉄塔倒壊や落雪被害の発生が否定できないため、必要な箇所においては地中化することが望ましい。
- ・市街地や宅地の拡大により、景観の阻害や快適な暮らしに支障となる事例がある。また、基準に照らし送電線の架設ができない区間となることも想定されるため、速やかな地中化が望ましい。ただし、特に超高圧の送電線の地中化はコスト及び技術面で困難な場合もあるため、必要区間の設定と計画的な整備が有効となる。
- ・再生可能エネルギーである風力発電所が急増しており、景観の配慮が必要となる。新設の連系線は発電事業者において地中化されることが多いが、既設の送電網の増強や更新が必要な場合、これに合わせた地中化等の対策が望ましい。

4.4.4 海外の先進事例からみた計画的な地中化推進に必要な制度

- ・欧米諸国の先進事例から、地中化延長といったわかりやすい数値目標による長期計画の策定、再生可能エネルギーなどの社会情勢の変化に併せた計画シナリオの検討など、計画面における有効な知見を得た。
- ・また、計画の実効性を高めるため、事業者が計画目標に主体的に取り組めるようなアウトプット指標とインセンティブの導入、地中化の計画や資金調達のメリットを評価する幅広い指標の設定などの知見を得た。
- ・更に、計画推進にあたっての柔軟な対応として、地区別・kV別の地中化に必要な電力面・土木面の技術的検証、及び送電鉄塔の景観対策などの知見を得た。

5. まとめ

北海道の自然・田園域のように魅力的な景観を有する郊外部の道路では、電線類地中化により飛躍的に景観が向上し、観光振興への期待などにより今後事業化ニーズの高まりが予想される。

そこで本研究では、郊外部の道路における地中化を推進するため、以下の研究開発を行い、成果を得た。

5.1 郊外部に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術の提案

地中化の主な手法である電線共同溝方式は、電力・通信需要密度が高く交通量の多い都市部を対象とした技術仕様であるため、需要密度が低く整備延長の長い郊外部の道路での無電柱化推進には抜本的な低コスト化・施工効率化技術が不可欠である。そこで本研究では、寒冷地における浅層埋設の実証、基準の見直しによる最小化断面設計の提案、ケーススタディを通じた道路構造や沿道環境に適した管路埋設設計の提案、及び実現場への導入による技術の精度向上と効果の検証を行い、郊外部道路の環境に適した低コストで効率的な地中化設計・施工技術を提案した（詳細については第2章を参照）。

5.2 景観と歩行の阻害を改善する地上機器の対策手法の提案

地中化が行われた道路空間では、電線・電柱が撤去され、防災機能や交通安全性の向上と開放的な景観形成が期待される一方、電気設備である地上機器が新たに路上に設置されることで、景観と歩行の阻害が発生する課題がある。そこで本研究では、現地調査を通じた地上機器設置の実態・課題把握と改善案の提示。更に、地上機器の配置や形状が道路空間の景観や歩行の阻害に与える影響について印象評価実験により検証を行った。以上から、今後の無電柱化事業に伴う地上機器の設置により道路空間の景観や歩行を阻害しないために、地上機器設置にあたり優先的に取り組むべき配置や形状などの対策手法を示した（詳細については第3章を参照）。

5.3 高圧鉄塔／電線等に関する景観対策の提案

高圧鉄塔／送電線の景観対策について、国土全体で地中化が進んでいない現状と、送電線による景観阻害や設備立地による防災や暮らしへの支障などの課題を踏まえ、これらの解決に資する対策手法を提案することを目的とした。そこで本研究では、国内の送電線地中化等の事例調査による潜在的ニーズや技術的課題の明確化、海外の送電線地中化等の先進事例の調査分析、送電線地中化等の景観対策の実現に向け解決すべき事

項を考察し、これらを基に実現性を踏まえた対策事例をとりまとめた（詳細については第4章を参照）。

5.4 技術資料のとりまとめ

本研究において得られた研究成果をもとに、景観向上効果が高いが需要の少ない道路空間における無電柱化の推進を支援するためのものとして、「農村・自然域に適した地中化設計の手引き」をとりまとめた。

本技術の活用により、今後、自然・田園域や郊外の観光地などにおいて、無電柱化による景観形成や観光振興に取り組む地方公共団体などの実施主体を直接的に支援し、更に技術の普及により、国土全体の無電柱化推進による魅力的な景観形成に貢献する。

参考文献

- 1) 岩田圭佑、松田泰明、兵庫利勇：郊外部の電線電柱類の景観対策における課題と効果的な対策手法に関する一考察、寒地土木研究所月報、No.727、pp.44-49、2013
- 2) 松田泰明、岩田圭佑、井上利一：ルーラルエリアにおける通信線の景観への影響と単独埋設の有効性について、土木学会論文集 D3 (土木計画学)、Vol.72、No.5、2016
- 3) 岩田圭佑、松田泰明、高橋哲生：観光振興に向けた農村自然域の無電柱化による景観向上効果の考察、第57回土木計画学研究発表会春大会、2018
- 4) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所地域景観チーム：地中化工法と整備手法選定のポイント、pp.1-2、2019
- 5) 大石洋之、西名大作、田中貴宏：全国の自治体における無電柱化事業の実態に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第77巻、第674号、pp.839-846、2012
- 6) 無電柱化の推進に関する法律、法律第112号、2016.12
- 7) 国土交通省：無電柱化推進計画、2018
- 8) 無電柱化推進のあり方検討委員会：中間取りまとめ、2017.8
- 9) 岩田圭佑、蒲澤英範、松田泰明、吉田智：寒冷地の浅層埋設を想定した光ケーブル管路滞留水の凍結実験と考察、寒地土木研究所月報、No.767、2017.4
- 10) 大竹まどか、岩田圭佑、松田泰明、高橋哲生、蒲澤英範、吉田智：寒冷地域の電線類の浅層埋設実現に向けた管路内滞留水の凍結実験、寒地土木研究所月報、No.782、2018.7
- 11) 葛西聡、松田泰明、高橋哲生、緒方聡、岩田圭佑、片野浩司、牧野正敏、澤口重夫、小林勇一、大竹まどか：電線電柱類の景観対策手法の選定と無電柱化施工技術に関する研究、土木研究所平成30年度成果報告書、pp.21-22、2019

- 12) 小林勇一、田所登：海外の無電柱化で使用されている建設機械＝ケーブル埋設用掘削機械の実態調査と掘削試験＝、建設機械、第53巻、第8号、pp.53-60、2017
- 13) 大竹まどか、中島淳一、小林勇一、澤口重夫：電線類地中化に向けたトレンチャーによる掘削・埋戻し試験について、寒地土木研究所月報、No.796、2019
- 14) 国土交通省道路局：「電線等の埋設物に関する設置基準」の緩和について、2016
- 15) 国土交通省道路局環境安全・防災課：道路の無電柱化低コスト手法導入の手引き(案)-Ver.2-、2019.3
- 16) シーニックバイウェイ北海道支援センターHP：シーニックバイウェイ北海道「秀逸な道」
khttps://roads.scenicbyway.jp/index.html (2022.6.23 取得)
- 17) 北海道無電柱化推進協議会：電線共同溝技術マニュアル、第4.2版、2020.3
- 18) 国土交通省北海道開発局：北海道開発局道路設計要領第2集道路付帯施設、2019
- 19) 北海道無電柱化推進協議会：電線共同溝技術マニュアル、第4.3版、2021.3
- 20) 北海道無電柱化推進協議会低コストWG：角型FEP管を用いた電線共同溝の手引き(案)、第1.0版、2019.3
- 21) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室監修：光ファイバケーブル施工要領・同解説(平成25年版)
- 22) 国土交通省北海道開発局：北海道開発局道路設計要領第5集電気通信編、2019
- 23) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所寒地機械技術チーム：ケーブル埋設用掘削機械(トレンチャー)を活用した施工の天引き(案)、2021.2
- 24) 国土交通省：無電柱化推進計画(令和3年5月策定)
- 25) 国土交通省：令和2年度第1回無電柱化推進のあり方検討委員会、資料2-1 無電柱化の推進に関する取組状況、pp.3-6、2020
- 26) 西名大作、田中貴宏、大石洋之、安藤志保、前野佑佳：街路の無電柱化が景観の心理的評価に及ぼす影響：心理的評価と景観構成要素面積比との関連、人間・環境学会誌、第27号、p.24、2011
- 27) 石田眞二、亀山修一、奈良昭一、宮坂純平：無電柱化整備による道路のシーケンス景観の効果計測に関する研究、土木学会論文集D1(景観・デザイン)、Vol.67、No.1、pp.1-10、2011
- 28) 山田歩：電柱・電線は景観を損ねるかー評価者の評価モードに着目した検討ー、日本感性工学会論文誌、Vol.21、No.2、pp.161-165、2022
- 29) 大石洋之、西名大作、田中貴宏：全国の自治体における無電柱化事業の実態に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第77巻、第674号、pp.839-846、2012
- 30) 国土交通省HP：無電柱化の手法
https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/chi_14.html (2022.6.10 取得)
- 31) 山下葉：現場歩行による街路空間の快適性評価実験についてー配電設備を含めた街路の景観設計のためにー、第22回日本都市計画学会学術論文集、1987
- 32) 大部裕次、岩田圭佑、松田泰明：無電柱化における地上機器設置の課題と景観対策に関する提案、第64回土木計画学研究発表会、2021
- 33) 国土交通省HP：無電柱化の取組
https://www.mlit.go.jp/common/001152384.pdf (2022.6.10 取得)
- 34) 西村亮彦、舟久保敏：わが国における道路空間再配分の計画手法に関する考察、第55回土木計画学研究発表会・講演集、2017
- 35) 国土交通省HP：無電柱化の推進>整備事例(埼玉県川越市の事例)
https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/jirei_01.htm#23 (2022.6.10 取得)
- 36) 京都市：先斗町通無電柱化事業、2017
- 37) 先斗町まちづくり協議会HP：https://www.pontocho-kyoto.com/posts/5091024/ (2022.6.10 取得)
- 38) 一般社団法人日本電気協会：無電柱化ベストプラクティス集ー報告書ー(p.21 愛知県東海市尾張横須賀西地区、p.22 石川県金沢市主計町、p.23 石川県金沢市東山木町通り)
- 39) 国土技術政策総合研究所道路交通研究部道路環境研究室：無電柱化事業における合意形成の進め方ガイド(案)、ver.1.0、pp.III-24-26、2022
- 40) 同上38)(p.25 福井県福井市朝倉氏遺跡前)
- 41) 篠原修：景観用語事典増補改訂第2版、pp.56-57、2021
- 42) 同上38)(p.27 兵庫県芦屋市南芦屋浜)
- 43) 東京電力パワーグリッド株式会社配電部：東京電力パワーグリッドにおける無電柱化の推進に向けた取組み、東京都道路埋設物イノベーション会議、2018
- 44) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所地域景観チーム：北海道の色彩ポイントブック、2018
- 45) 北電興業株式会社HP：地上機器広告
https://www.denchu-good.com/tijoukiki.html/ (2022.6.10 取得)
- 46) 渡辺聡、後藤春彦、三宅論、中村隆：商業地街路における歩行注視特性に関する研究ー品川区戸越銀座商店街のビデオ映像を用いた分析ー、第36回日本都市計画学会学術研究論文集、2001

- 47) 同上 41)、p.72、2021
- 48) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所地域景観チーム：景観検討にどう取り組むかー景観予測・評価の手順と手法ー【I.基本編】、p.22、2022
- 49) 同上 41)、pp.78-79、2021
- 50) Union of the Electricity Industry : Power distribution in Europe, https://cdn.eurelectric.org/media/1835/dso_report_web_final-2013-030-0764-01-e-h-D66B0486.pdf (2022.6.23 取得)
- 51) 電気事業連合会ホームページ：電力統計情報 <https://www.fepc.or.jp/library/data/tokei/> (2022.6.23 取得)
- 52) 北海道建設新聞：ホテル来夏にも着工 苫小牧の森林保全公園計画、2014.8.1
- 53) 令和元年台風15号における鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ：中間報告書、2020.1
- 54) 経済産業省商務流通保安グループ電力安全課：(報告) 昨年11月に発生した北海道電力管内の暴風雪による鉄塔倒壊に係る再発防止対策の完了について(平成25年12月17日)、
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/pdf/004_10_00.pdf、2022.6.23 取得
- 55) 本郷栄次郎：送電鉄塔の歴史、電学誌、118巻、5号、1998
- 56) 篠原修：新体系土木工学59、土木景観計画、技報堂、p.306、1982
- 57) 熊谷洋一、若谷佳史：自然風景地における垂直構造物の視角的影響、造園雑誌、45(4)、pp.247-254、1982
- 58) 電力中央研究所：自然風景地における送電線の景観的影響の評価、電力中央研究所報告、1985
- 59) 熊谷洋一：環境アセスメントにおける予測評価手法に関する研究(II)、東大農学部演習林報告、78、pp.167-245、1988
- 60) 環境省：国立・国定公園内における風力発電施設の審査に関する技術的ガイドライン、2013.5
- 61) 篠原修：新体系土木工学59、土木景観計画、技報堂、pp.309-310、1982
- 62) 経済産業省産業保安グループ：近年の自然災害に伴う送配電設備の被害状況について、2021.11.5
- 63) 通商産業省：電気設備に関する技術基準を定める省令、1997
- 64) 経済産業省大臣官房技術総括・保安審議官：電気設備の技術基準の解釈、2022.4.1 改正
- 65) 一般社団法人日本電気協会：架空送電規程 [JEAC 6001]、2018
- 66) 原子力安全・保安部会電力安全小委員会：今後の雪害対策のあり方について、2007
- 67) 北海道電力株式会社：66kV 幌別線No.29 鉄塔倒壊について、2013.2.28 プレスリリース
- 68) 北海道電力ネットワーク株式会社 HP：
https://www.hepco.co.jp/network/renewable_energy/fixprice_purchase/restrictions_map.html (2022.6.23 取得)
- 69) 日本電気技術規格委員会：JESC E2012 (2013) 「170kV を超える特別高圧架空電線に関する離隔距離
- 70) 東京都住宅政策本部ホームページ：
https://www.juutakuseisaku.metro.tokyo.lg.jp/bunyabetsu/jutaku_fudosan/pdf/toei_puro_tokyokaido/r030323_tenpu_08_02.pdf (2022.6.23 取得)
- 71) 後藤隆雄：変電所間の都市部埋設大電力ケーブルの安全性を問う、安全工学、56巻2号、pp.127-133、2017
- 72) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO 再生可能エネルギー技術白書第2版-再生可能エネルギー普及拡大にむけて克服すべき課題と処方箋-、2014.2
- 73) 経済産業省：鉄塔・電柱に係る技術基準をめぐる現状、2019.11.5、
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/tettou/pdf/001_04_00.pdf (2021.9.30 取得)
- 74) 経済産業省：託送料金制度(レベニューキャップ制度)の検討状況について、2021.5.19、
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/system_kouchiku/011/011_04.pdf (2021.9.30 取得)
- 75) Energinet.dk : Cable Action Plan、2009
- 76) Energinet.dk : RUS Plan、2018 (Reinvestment,Expansion,Restoration)
- 77) Energinet.dk : Technical issues related to new transmission lines in Denmark、2009
- 78) Ofgem : Handbook for implementing the RIIO model、2010
- 79) 電力中央研究所：新しい規制方式“RIIO”のねらい https://www.cao.go.jp/consumer/history/04/kabusoshiki/kokyoryokin/doc/004_160629_shiryoku1_2.pdf (2021.9.30 取得)
- 80) Ofgem : Final Proposals for National Grid Electricity Transmission and National Grid Gas、2012
- 81) Virginia State Corporation Commission : Placement of utility distribution lines underground、2005

STUDY OF EFFICIENT AND DIVERSE UTILITY POLE REMOVAL TECHNOLOGIES PROPOSED FOR SUBURBAN AREAS AND COLD, SNOWY REGIONS

Research Period: FY2019-2021

Research Team: Scenic Landscape Research Team

Author: OOBU Yuji

IWATA Keisuke

MATSUDA Yasuaki

OGATA Satoshi

Abstract: Underground installation of power cables is expected to further improve the landscape of attractive suburban roads, such as those in natural surroundings and rural areas of Hokkaido, and the demand for underground installation projects is expected to increase in the future in view of tourism promotion and other reasons. However, drastic cost reduction and improvement of work efficiency are essential to promote underground installation of power cables in suburban areas with low power and telecommunication needs and those installed to improve long roads.

Therefore, this study presents low-cost and efficient design and construction technologies for underground installation suited to suburban environments. It also proposes an installation method related to new ground equipment without obstructing the landscape or pedestrians, and landscaping measures related to high-voltage towers and power lines by making use of knowledge about utility pole removal that we have accumulated so far.

By applying these technologies, we aim to contribute to the formation of attractive landscapes through the promotion of utility pole removal throughout the nation.

Keywords: Utility pole removal, Underground installation of power cables, Ground equipment, Power lines, Landscaping measures