

高圧送電線の地中化計画と事業手法に関する 欧米事例調査

岩田 圭佑¹・大部 裕次²・松田 泰明³

¹正会員 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所（〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34）
E-mail: iwata-k@ceri.go.jp

²正会員 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所
E-mail: oobu-y22aa@ceri.go.jp

³正会員 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所
E-mail: y-matsuda@ceri.go.jp

日本では、欧米諸国と比較して送配電線や通信線の地中化が大きく遅れており、中でも本研究で対象とする高圧送電線については、地中化をはじめとする防災や景観面に着目した鉄塔・架空線の対策に関する調査研究が極めて少ない状況にある。一方で欧米諸国では、近年高圧送電線の地中化や対策についても計画策定や事業の仕組みが普及しつつあり、これらの事例が日本における今後の検討に役立つ知見が得られると考えた。そこで本研究では、デンマーク、英国、米国の送電線地中化事業の報告書等を基に、高圧送電線の地中化推進計画、事業者の主体的な地中化を促進するためのレベニューキャップ制度、地中化事業の整備効果評価手法について調査し、日本の高圧送電線地中化など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。

Key Words: high voltage powerlines, cable undergrounding, Denmark, United Kingdom, United states

1. はじめに

(1) 背景

日本では、欧米諸国と比較して送配電線や通信線の地中化が大きく遅れている。日本と欧州諸国の国土全体にの配電線延長に占める地中化の割合（図-1）^{1) 2)}をみると、日本が最も少ないことがわかる。このように、近年無電柱化推進計画³⁾などで多様な方策が示されている無電柱化も、国土レベルでいかに遅れているかがわかる。

さらに高圧送電線については、地中化や防災・景観対策などの調査研究や技術的検証が、配電線の無電柱化と比べると極めて少ない状況にある。高圧送電線の課題として、まず景観・観光開発への影響があげられる。送電鉄塔が景観を阻害し観光開発の建設地が変更された事例や、市街化した場所に立地する鉄塔や送電線のもたらす景観・環境上の課題もある。次に、防災への影響である。2019（令和元）年9月9日に上陸した房総半島台風では、千葉県を中心に首都圏やその周辺で被害があった。千葉県内で送電塔2本と電柱84本が倒壊⁴⁾するなどし、停電の復旧に18日を要している。

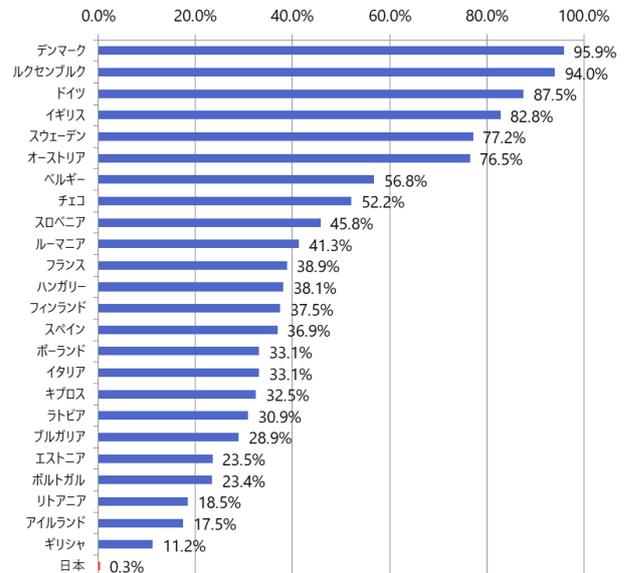


図-1 国土全体に占める配電線地中化率
(統計データ^{1) 2)}に基づき寒地土木研究所作成)

(2) 課題

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」⁵⁾や、託送料金制度（レベニ

ューキャップ制度)⁶⁾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、地中化に必要な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。

(3) 目的と手法

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-1 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。

2. 調査結果の概要

(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」⁷⁾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する計画としている(図-2)。

また、シナリオの各段階における達成目標には、「架

表-1 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)

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-3)。

b) Cable Action Plan の見直し

Cable Action Plan 策定後、2018年に RUS 計画⁸⁾、および Technical issues related to new transmission lines in Denmark⁹⁾ 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も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・土木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。

(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）¹⁰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あてられていた。

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）^{11）12）}。RIIOのアウトプット指標とインセンティブを表-2、表-3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」^{13）}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る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。

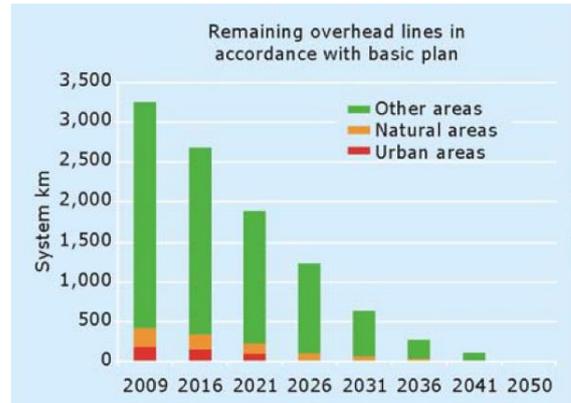
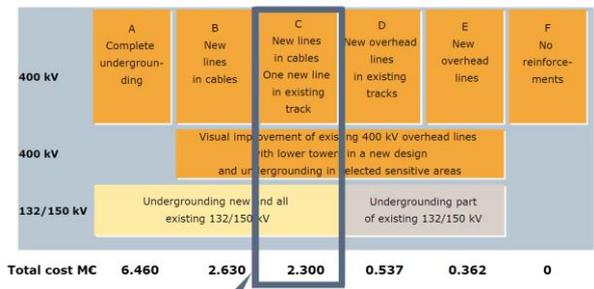


図-2 既存 132kv-150kv 線地中化計画（基本的なシナリオ） ※Cable Action Plan より転載



400kv：新規架空線は地中化もしくは既存送電網へ設置
 既存架空線は低い鉄塔デザインの採用および重要地域の地中化
 150kv：新規および既存架空線をすべて地中化

図-3 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 400kV 既存送電鉄塔の景観向上案 ※Cable Action Plan より転載・加筆

3. 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、地中化や景観対策にの技術的検証や、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、高压送電線についても、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、高压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. まとめ

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

表-2 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 英国安全衛生庁による最低法要件の遵守 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)	<ul style="list-style-type: none"> 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) 	<ul style="list-style-type: none"> 供給支障電力量 (Energy Not Supplied: ENS) 送電制約
接続性	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 社会的弱者への対応 	

表-3 アウトプット指標とインセンティブ

カテゴリ	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、重要度などに RIIO-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"> 法的な要求事項の遵守 	<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 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) 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・フットプリント: BCF) の公表 RIIO-T1 で明確に述べられなかったが不可能な TO と SO の役割に焦点を当てた基準 (EDR 基準) 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 (視覚的な影響軽減) 	<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として価値換算した報酬とペナルティ 評判的インセンティブ (世評の向上) 評判的インセンティブ (世評の向上) 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 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 約 22,150MW の更なる追加送電 	<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 NDP 基準の達成や最適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

参考文献

- 1) 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 (2021.9.30 確認)
- 2) 電気事業連合会ホームページ : 電力統計情報 <https://www.fepec.or.jp/library/data/tokei/> (2021.9.30 確認)
- 3) 国土交通省HP : 無電柱化推進計画 (令和3年5月策定) ,

- <https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/pdf/21-05.pdf2>
(2021.9.30 確認)
- 4) 東京電力ホールディングス HP : 台風 15 号による東京電力パワーグリッド株式会社サービスエリア内の停電状況 (復旧に向けた高圧配電線工事の状況) について, https://www.tepco.co.jp/press/release/2019/1517727_8709.html (2021.9.30 確認)
 - 5) 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 確認)
 - 6) 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 確認)
 - 7) Energinet.dk : Cable Action Plan, 2009
 - 8) Energinet.dk : RUS Plan 2018 (Reinvestment, Expansion, Restoration)
 - 9) Energinet.dk : Technical issues related to new transmission lines in Denmark, 2009
 - 10) Ofgem : Handbook for implementing the RIIO model, 2010
 - 11) 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_shiryuu1_2.pdf (2021.9.30 確認)
 - 12) Ofgem : Final Proposals for National Grid Electricity Transmission and National Grid Gas, 2012.
 - 13) Virginia State Corporation Commission : Placement of utility distribution lines underground, 2005

(Received October 1, 2021)