

送電用ケーブルシステムの 現状と技術動向

送電用ケーブルシステムの現状と技術動向調査専門委員会編

目 次

1. はじめに	3	4. 送電用ケーブルシステムの保全技術動向	42
2. 送電用ケーブルシステムの技術変遷	3	4.1 設備量	42
2.1 送電用ケーブルの技術変遷	3	4.2 劣化現象	46
2.2 送電用ケーブル接続部の技術変遷	6	4.3 劣化診断	51
2.3 ケーブル布設工法などの技術変遷	13	4.4 保全支援システム	55
2.4 冷却などの大容量化の技術変遷	16	5. 課題の整理と今後の展望	59
3. 送電用ケーブルシステムの工事・技術動向	17	5.1 技術変遷・技術開発動向と課題整理	59
3.1 近年の送電ケーブル工事と高経年設備 取替え工事の課題と推移	17	5.2 今後の展望	60
3.2 海底ケーブルに関する技術開発動向	19	5.3 おわりに	62
3.3 洋上風力発電用ケーブルに関する 技術開発動向	25	付録1 送電用ケーブルおよび付属品の技術変遷	63
3.4 直流ケーブルに関する技術開発動向	30	付録2 海底ケーブルの外装の種類	74
3.5 超電導ケーブルに関する技術開発動向	37	付録3 海底（水底）ケーブル絶縁破壊発生状況	75
		付録4 海底（水底）ケーブル布設工法の適用事例	76
		付録5 海底ケーブルの機械試験	78
		付録6 直流ケーブルの電気試験	81
		付録7 日本国内の主な送電用ケーブルおよび 付属品の製造社の変遷	83

送電用ケーブルシステムの現状と技術動向

調査専門委員会委員

委員長	海老沼康光	(電線総合技術センター)	WG幹事	岡本貴裕	(昭和電線ケーブルシステム)
幹事	岡本貴裕	(昭和電線ケーブルシステム)		阿部和俊	(住友電気工業)
	阿部和俊	(住友電気工業)		名古屋芳久	(古河電気工業)
幹事補佐	名古屋芳久	(古河電気工業)	WG委員	牧野裕太	(電力中央研究所)
委員	穂積直裕	(豊橋技術科学大学)		五戸大	(電源開発送変電ネットワーク)
	関井康雄	(関井技術士研究所)		三浦信也	(東北電力ネットワーク)
	高橋俊裕	(電力中央研究所)		三村智男	(東京電力ホールディングス)
	高野理	(電源開発送変電ネットワーク)		辻浩	(東京電力パワーグリッド)
	数藤直彦	(東北電力ネットワーク)		吉村貴広	(中部電力パワーグリッド)
	永田健一	(東京電力パワーグリッド)		立花浩史	(関西電力送配電)
	大野英明	(中部電力パワーグリッド)		垣生道彦	(九州電力送配電)
	城唯彦	(関西電力送配電)		白橋賢	(九州電力送配電)
	壇英雄	(九州電力送配電)		渡邊正信	(東日本旅客鉄道)
	渡邊正信	(東日本旅客鉄道)		鈴木孝幸	(住友電気工業)
	小池洋二	(日本電線工業会)		幸山和晃	(古河電気工業)
	倉田勝	(電線総合技術センター)		大西浩樹	(昭和電線ケーブルシステム)
途中退任	川上真一	(電源開発)	途中退任	相原靖彦	(東京電力パワーグリッド)
委員	菊池勝元	(東北電力)	WG委員	真下展宏	(東京電力パワーグリッド)
	相原靖彦	(東京電力パワーグリッド)		陶山洋	(中部電力)
	真下展宏	(東京電力パワーグリッド)		井上雅弘	(関西電力)
	岡本年秀	(関西電力)		西村英孝	(関西電力送配電)
	松野克巳	(九州電力)		久保川晶夫	(九州電力)
	山田正治	(電線総合技術センター)		茂木正也	(古河電気工業)
	鈴木常芳	(東日本旅客鉄道)		永瀬友大	(古河電気工業)
				鈴木常芳	(東日本旅客鉄道)

1. はじめに

送電用ケーブルに関する技術は、電力需要の増加に伴う電力設備の新設・増設を背景として、安全性と信頼性をベースに高電圧化や大電流化へ対応するとともに、構造の簡素化や低損失化およびコンパクト化などへの改善によって発展してきた。

これまでの送電用ケーブルシステムに関する調査は、電気学会技術報告（第 1105 号）「送電用 C V ケーブル接続部の技術動向や経年劣化現象」や電気協同研究（第 70 巻 第 1 号）「地中送電ケーブルの保全技術」などで見ることができる。

近年、電力設備では、省電力機器の導入拡大や人口減少などによる電力需要の飽和傾向、設備の高経年化の進展といった背景から新設・増設より高経年設備の更新へと軸足が変化している。さらに送電系統の広域連系の重要性や電源の多様化（太陽光、風力など）・分散化に伴う新規電源と既設送電系統との接続ニーズは高まっており、送電用ケーブルシステムのさらなる技術革新が期待されている。

最近の送電用ケーブルシステムについては、上述のとおり新規の大型プロジェクトよりも高経年ケーブル線路の張替が主流となってきている。一方で、送電系統の広域連系の重要性や電源の多様化・分散化に伴う各種送電用ケーブルのニーズがあることからそれらを体系的に整理する必要がある。そこで、これまでの調査内容を整理し、今後想定される課題などを見出すことに主眼をおいて本調査専門委員会を設置した。

本調査専門委員会は、国内電力会社、鉄道会社、ケーブル・付属品メーカおよび関連団体、大学や研究機関関係者で構成され、2017 年 7 月に発足した。さらに委員会を開催するとともに WG（作業会）を設置し、調査・研究活動を推進した。

調査検討事項は次のとおりである。

- (1) 送電用ケーブルシステムの技術変遷に関する調査
- (2) 送電用ケーブルシステムの工事・技術動向に関する調査
- (3) 送電用ケーブルシステムの保全技術動向に関する調査
 - (1) では、現在に至るまでの主な送電用ケーブルシステムの技術的変遷をまとめた。(2) では、国内電力会社で実施された近年の送電ケーブル工事を整理することで今後の課題を整理した。また、広域連系や電源の多様化などに対して今後の活用がさらに期待されている直流ケーブル、洋上風力発電用ケーブル、海底ケーブルや、国内外で実証試験が行われている超電導ケーブルの技術動向を調査した。
 - (3) では、設備量調査を行って技術動向を分析するとともに、近年新たに報告されている劣化現象や劣化診断、保全支援システムを調査した。そして、これらの調査結果から今後想定される課題などを整理した。

本報告書の調査結果が電力ケーブルシステムの技術伝承

や、送電用ケーブル分野における今後の課題抽出に活用されることを期待する。

注) なお、本報告書では一般送配電事業者を国内電力会社と記載することにした。

2. 送電用ケーブルシステムの技術変遷

2.1 送電用ケーブルの技術変遷

送電用ケーブルは、使用する絶縁材料によって紙絶縁送電用ケーブルとゴム・プラスチック絶縁送電用ケーブルに大別できる。本節では、各送電用ケーブルの変遷について概説する^{(1)～(8)}。なお、本節では、陸上交流送電用ケーブルのみを扱い、海底ケーブルや直流送電用ケーブルは、3 章にて記述する。また、以降の電圧階級の表記は、表 2.1.1 のとおりとする。

表 2.1.1 電圧階級の分類

Table 2.1.1. Classification of voltage class

電圧階級	系統電圧
22kV 級	22kV, 33kV
66kV 級	66kV, 77kV
154kV 級	110kV, 132kV, 154kV, 187kV
275kV 級	220kV, 275kV
500kV 級	500kV

2.1.1 紙絶縁送電用ケーブル

(1) ソリッドケーブル（1910 年代～）

ソリッドケーブルは最初の送電用ケーブルであり、OF ケーブル以前の油浸紙絶縁ケーブルであり、ベルトケーブル、H ケーブル、SL ケーブルの 3 種類がある（構造については付録 1 参照）。ベルトケーブルには遮へい層がないため、コア各相の電界がお互いの絶縁層にまで及ぶことで絶縁体の電氣的ストレスが複雑になる構造となっている。H ケーブルと SL ケーブルでは電界分布の改善を目的としてそれぞれ遮へい層が設けられ、H ケーブルには金属テープを巻いた遮へい層が、SL ケーブルには鉛被の遮へい層がある。

ソリッドケーブルの絶縁体は、主に 22kV 級の電圧階級で採用されていたが、粘度の高い油を浸み込ませた油浸絶縁紙であることから、絶縁紙の隙間に絶縁油が存在しない箇所（ギャップ）ができてしまうことがあり、より高い絶縁特性が求められる 66kV 級以上の送電用ケーブルには適用が困難であった。

ソリッドケーブルの絶縁体内のギャップ発生による絶縁耐力の低下を改善するために開発されたのが低ガス圧ケーブルであり、絶縁部にガスを封入することでギャップを抑制し絶縁耐力を向上させたケーブルである。このケーブルは、ガス圧を保持する必要があるため、ガス圧を補償する装置が別途必要となる。そのため、建設費用が高価となる上、補償装置の保全にも費用を要するため、採用は一部の線路に限られていた。