き電線への超電導ケーブルの適用可能性に関する検討

○［電］上條 弘貴　［電］森田 岳　［電］小西 武史（鉄道総合技術研究所）

［電］伊藤 利勝（ジェイアール総研電気システム）

Basic Examination of Possibility to Apply a Superconducting Cable to a Feeder

○Hiroki Kamijo,　Gaku Morita,　Takeshi Konishi, (Railway Technical Research Institute)

Toshikatu Ito, (JR Soken Electric Consulting)

A superconducting cable to be used for power system has been recently developed. For decreasing a voltage drop and loss in a feeder of electrical railway, we have studied to apply the superconducting cable to the feeder. In this paper, we report the development status of the superconducting cable for power system, and the result of examination of a constitution of the system and an effect of its introduction in the superconducting DC-feeder.

キーワード：超電導ケーブル，き電，直流，電位降下，損失，電気鉄道

Key Words：superconducting cable, feeder, direct current, voltage drop, loss, electric railway

1．はじめに

き電線における送電損失や電圧降下の低減による効率向上、変電所削減などを目指して、電力用として近年開発が進んでいる超電導ケーブルのき電線への適用可能性について検討している[1),2)]。

本報告では、超電導ケーブル開発状況を紹介するとともに、主に直流電化区間のき電線に超電導ケーブルを適用した場合を想定し、システム構成、導入効果などを検討したので紹介する。

2．高温超電導ケーブル

2.1 開発現状

近年、電力用の超電導ケーブルの研究、開発が進み、日本や米国を中心として送電線の一部や変電所内の配線などの実系統における試験を含め、複数のプロジェクトが計画、実施されている[3)]。電流容量としては、直流電気鉄道の要求する数千Aの大電流容量に近づきつつあり、全長についても、数百m長に達してきており、き電線への適用可能性が検討できる段階に着ている。

米国では、米国エネルギー省（DOE）が資金を提供する超電導ケーブルプロジェクトが進められており、ニューヨーク州の州都オルバニー市におけるプロジェクトでは、市内の2つの変電所間、約3kmの途中に350mに三心一括型の超電導ケーブル線路が布設され、2006年7月から世界で初めて実用送電路に超電導ケーブルを接続した実証試験が行われている[3),4)]。

日本でも、AC66kV、1kA、三相一括型100m超電導ケーブル、77kV、1kA級500m単相型超電導ケーブルなどが試作、試験が行われてきた。さらに、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」の一環として、超電導ケーブルを電力系統に接続した場合の運転方法、長期連系試験による信頼性・安定性などの検討・実証を目的とした66kV、200MVA級の計画が進められている[5)]。

2.2 構造

現在開発が進められている電力用超電導ケーブルの構造の例を、図1に示す[4)]。電力の送電では通常三相交流が使用されているため、3本の超電導ケーブル導体を1つの冷却管内に収めた構造が多く採用されている。冷却管内部に液体窒素を循環させて超電導ケーブル導体を冷却し、超電導状態を維持する。

各超電導ケーブル導体は、芯となるフォーマの周囲に、超電導線を複数本並列にらせん状に巻きつけ、その上に絶縁層とシールド層となる超電導線、保護層から構成されている。超電導線には、液体窒素温度以上で超電導状態となる高温超電導体が使用されており、現在はビスマス系超電導線材が主に使われている。

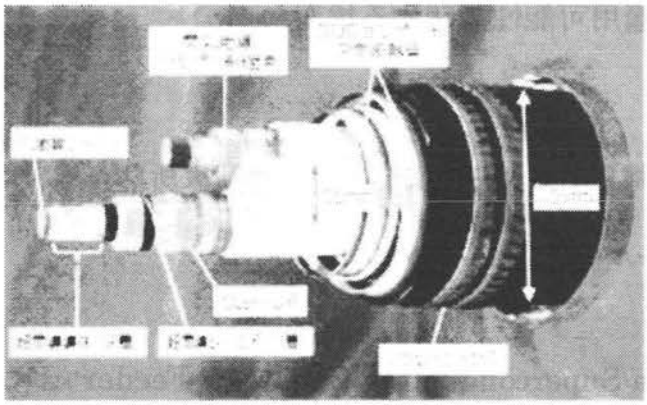

図 1　超電導ケーブルの構造 [4]

3．超電導き電線

直流電気鉄道では、き電線での電位降下により変電所間隔が制約される、電車線電流による電位差によりエアーセクションなどでトロリ線に損傷を与える、帰線路として走行レールを使用するためこれに生じる電位が周辺の金属構造物に電食を引き起こすなどの問題がある。これらの問題は、有限抵抗の導体に電流を通電することによる発生電圧が原因であり、き電線に超電導線のような電気抵抗の無い材料を適用することにより解決が期待できる。

そこで、2 章で紹介した超電導線ケーブルを、直流電気鉄道のき電線に適用することを提案し [1]、その可能性を検討した [2]。

3.1 構成

き電線に超電導ケーブルを適用する場合は、超電導ケーブルを電車線のみ、帰線のみ、電車線と帰線の両方に適用するかなど、その導入方法、構成には、何種類かのシステムが考えられる。

本報告では、図 2(a)のように、電車線と帰線の両方に超電導ケーブルを適用し、分岐間隔を現行設備と同程度に設置した直流き電システム構成について検討した [2]。き電回路は、超電導ケーブルの正き電線(PF)と負き電線(NF)、従来方式のトロリ線(T)とレール(R)によって構成される。変電所の送り出し回線は PF と NF に接続され、複数個所に置かれるき電分岐において、PF と T、NF と R(正確にはインピーダンスボンド中性点)がそれぞれ接続される。

3.2 導入効果

超電導直流き電システムにおける電圧・電流分布を図 2(b)に示す [2]。電気車電流はこれを挟む二つのき電分岐間では、電車線とレールに流れるが、それ以外の箇所では超電導き電線に流れる。このため、電車線電位降下ならびにレール電位は電気車が存在するき電分岐間のみに限定され、超電導き電線部では電位差が殆ど生じない。

例えば、き電距離 5km、き電分岐間隔 250m、電気車電流 4,000A の場合について、数値計算した結果を表 1 に示す。その結果、電車線電位降下で 1/4 程度、レール電位は 1/20 に低減される。

4．まとめ

き電線に超電導ケーブルを適用することにより、電車線電位降下、レール電位を非常に小さく抑えることができ、き電距離の延長、変電所数の削減、回生電力の有効利用、電食防止などが効果が期待できる可能性のあることが確かめられた。

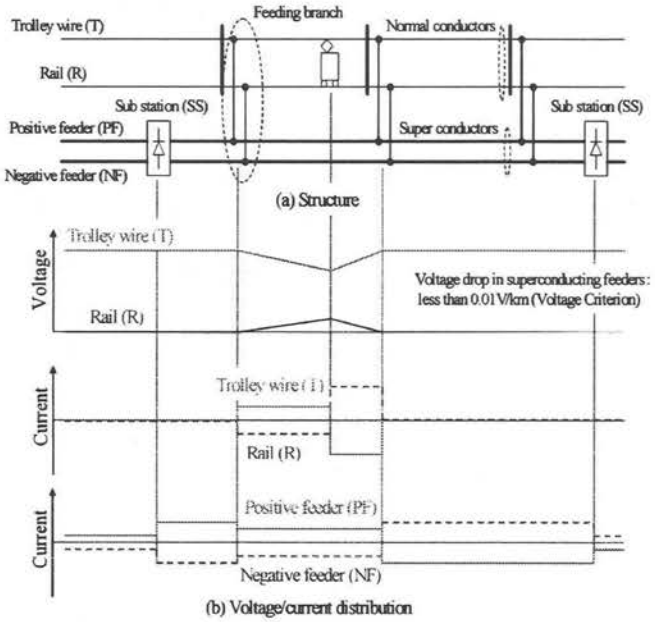

図 2　超電導直流き電システム [2]

表 1　最大電位降下発生時の電力諸量 [2]

システム	電車線電位降下(V)	レール電位(V)	パンタ点電圧(V)	き電損失(%)
従来	155	100	1250	17.0
超電導	40	5	1460	2.7

[計算条件] 送り出し電圧：1500V、き電距離：5km(単線)、断面積：110mm²、銅トロリ線、50kg レール、き電分岐間隔：250m、電気車電流：4,000A、断面積：510mm²×2 条アルミき電線(@従来)、き電線臨界電流：4,000A 以上(@超電導)

参　考　文　献

1) 上條弘貴、秦広：鉄道用超電導き電システム、特許公報、特許第 4080073 号、2008.

2) 森田岳、小西武史、上條弘貴、伊東利勝：直流電気鉄道のき電回路超電導化による設備影響低減の可能性検討、平成 20 年電気学会全国大会講演論文集(第 5 分冊)、pp.118、2008.

3) 佐藤謙一：高温超電導の開発の現状と今後の展望、SEI テクニカルレビュー、Vol.172、 pp.53-65、2008.

4) 湯村洋康、増田考人、渡部充彦、滝川裕史、芦辺祐一、伊藤秀樹、廣瀬正幸、八束健、佐藤謙一、畑良輔：長尺二心一括型高温超電導ケーブルによる世界初の実線路建設と商用運転、SEI テクニカルレビュー、Vol.170、pp.40-48、2007.

5) http://www.nedo.go.jp/