

# 高温超電導ケーブル

(2000年～現在)

Key-words：高温超電導、酸化物超電導線、電力ケーブル

**注1** 金属系超電導体は、極低温の液体ヘリウム（沸点4.2K）で超電導状態が維持されるものであるのに対して、酸化物系超電導は、液体窒素（沸点77.3K）で超電導になるものである。

**注2** 元となる基板の結晶上に、基板に用いられる結晶と特定の方位関係にある結晶膜を堆積成長させる方法のこと。

高温超電導<sup>注1)</sup>電力ケーブルは、導体に液体窒素温度で超電導状態になる高温超電導線を用いることで、現用のケーブルに比べて大電流を低損失で送電することが可能であり、二酸化炭素削減に寄与する送電線として期待されている。高温超電導ケーブルで使用される高温超電導線は、現在2種類の線材が実用化されており、一つは銀合金テープの中に、Bi, Sr, Ca, Cu, O からなる酸化物がフィラメントとして埋め込まれたBi系超電導線であり、もう一つが金属基板テープ上に、RE（希土類元素）、Ba, Cu, O からなる薄膜が形成されたRE系超電導線である。これら高温超電導ケーブルは、日本を始めとして実用化に向けた実証試験が実施されており、ほぼ実用に提供できる技術的成立性を確立している。

## 1. 適用分野の背景

地球規模の温暖化に対して、従来のエネルギーの大量消費型社会から、エネルギーを効率的に使う社会への転換が求められている。一方で、家電製品の大型化、冷暖房機器の普及、高度情報化社会におけるコンピュータや通信機器など電気機器の増加のため、エネルギー消費における電力の占める割合も高くなり、発電、送電でのロスの低減がCO<sub>2</sub>削減のために必要と考えられている。1989年に発見された高温超電導体は、液体窒素温度（77K）で超電導状態にすることができ、従来の液体ヘリウム温度（4.2K）で超電導になる金属超電導体に対して冷却コストを低くすることができる。そこで、この高温超電導体を発電、送電の電力機器に適用することで、経済的な電力システムを構成することができると考えられている。

超電導電力機器のうち高温超電導ケーブルは、高温超電導線を電流が流れる導体に使用するもので、小さな断面積で大電流を、低損失で流すことができる。これは現用の銅を導体とする送電ケーブルと比較して送電損失を半分にすることができる。さらに、軽量かつコンパクトな大容量送電線を実現することが可能であり、従来の電力ケーブルでは都市部での布設に洞道と

呼ばれる直径約2mのトンネルに布設されていたもので、管路と呼ばれる地中埋設された直径150mmのダクトに布設することができ、工事コストの大幅な低減が可能となる。

## 2. 高温超電導線の製法

超電導ケーブルに適用される高温超電導線としては、現在2種類の線材が実用化されている（**図1**）。一つは、Bi系超電導線と呼ばれる線材で、Bi, Sr, Ca, Cu, Oから構成される酸化物粉末を、銀合金パイプに詰め込み、それを多数本集合して、伸線して断面積を小さくして、さらにテープ状に圧延する。このテープを800℃以上の温度で長時間熱処理して、酸化物粉末を焼結して銀合金母材の中に長手に連続した多数本の超電導フィラメントを形成して製品化したものである。

もう一つは、希土類（RE）系超電導線と呼ばれる線材で現在実用化に向けた開発が進められている。構造としては、ハステロイ®基板などの金属基板上に、中間層、超電導層、保護層の多層構造で構成されている。中間層は超電導層をエピタキシャル成長<sup>注2)</sup>させるためのベースとなるもので結晶方位を制御した酸化

膜が形成される。この中間層上に、RE, Ba, Cu, Oを成分とする酸化物結晶（REBCO）を、結晶軸を一方に揃える面内配向させながら超電導層を形成している。この超電導層の成膜法としては、PLD（パルスレーザー堆積法）、CVD（化学気相堆積法）、MOD（有機金属成膜法）が試みられている。保護層は、遮水および酸化物層からの酸素が抜けることを防止するために、銀をスパッターや真空蒸着で成膜されている。

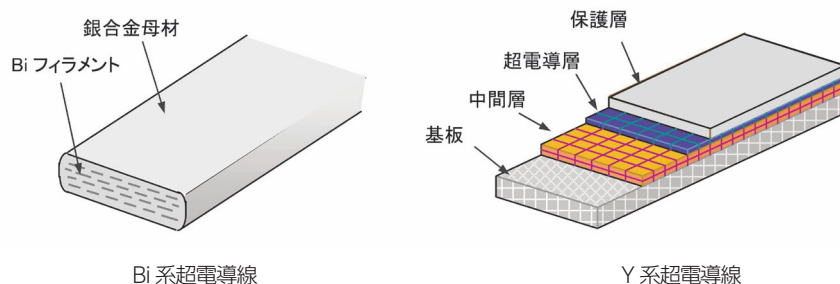


図1 高温超電導線

液体窒素温度で超電導状態になる高温超電導線としては、現在、Bi系超電導線とY系超電導線の2種類が実用化されている。

### 3. 製品の構造と適用

高温超電導線を用いた高温超電導ケーブルの構造を **図2** に示す。超電導ケーブルの構造は、フォーマと呼ばれる円筒形状の銅より線にテープ状の高温超電導線を多数本螺旋上に巻きつけ、さらにその上に、電気絶縁層、超電導シールド層、保護層を設けることでケーブルコアを形成しており、そのケーブルコアを断熱管の中に収納したものである。断熱管は、ケーブルコアを液体窒素温度に冷却するためにその内部を液体窒素が流れる。約 $-200^{\circ}\text{C}$ の液体窒素を蒸発させること無く流すために、断熱管には高い断熱性能が要求され、ステンレスの波付け管による2重管構造となり、その管の間には断熱材を施工して、さらにその間を真空排気している。

高温超電導ケーブルのプロトタイプに関しては、初期の取組の1つとして2005年に日本国内で当時世界最長となる500m長の超電導ケーブルを電力中央研究所に敷設してフィールド試験が実施された。その後、日本国内では変電所構内の実際の電力系統に布設した横浜プロジェクトが行われた。交流の超電導ケーブルに関する開発とは別に、直流超電導ケーブルの開発も行われ、超電導ケーブルの適用が幅広く検討されている。表1に、国内外の主要な超電導ケーブルのフィールド試験を記載する。

### 4. 将来展望

超電導ケーブルについては、超電導により送電で失う電力を低減できることや、送電線の低電圧化およびコンパクト、軽量化で、これまで大電力電力ケーブルの布設が困難な状況において布設が可能となる。2050年目標のカーボンニュートラルの実現に向けては、

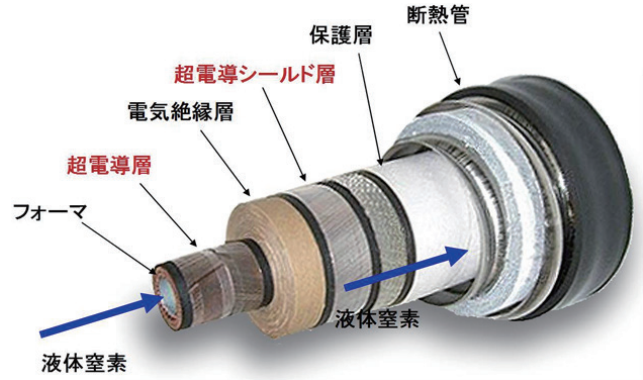


図2 高温超電導ケーブル

高温超電導線を電気が流れる導体に用いることで、低損失で大電流を流すことが可能である。超電導を維持するために、ケーブルは液体窒素が流れる可とう性を有する断熱管の内部に収納されている。

電力部門においては徹底した省エネを進めるとともに、脱炭素エネルギーの導入など、超電導ケーブルをはじめとした超電導機器への期待が高まっている。そのために、超電導ケーブルのインフラへの適用を進める上で、超電導ケーブルの実フィールドでの実績をつみ、信頼性、安全性の向上が求められている。

### 文献

- (1) 八木正史“世界最長500m超電導ケーブルのフィールド試験”, 古河電工時報 第116号(平成17年7月)
- (2) 大屋正義“三心一括型超電導ケーブルによる国内初の実系統送電(高温超電導ケーブル実証プロジェクト)”2013年1月・SEIテクニカルレビュー・第182号

[連絡先] 向山 晋一  
古河電気工業(株) 研究開発本部

国	プロジェクト	実証系統	線材	長[m]	電圧・電流
日本	横浜プロジェクト	東電旭変電所	Bi	240	AC66kV-3kA
日本	戸塚プロジェクト	工場内	REBCO	200	AC66kV-3kA
日本	石狩プロジェクト	太陽光データセンタ	Bi	500	DC10kV-5kA
米国	LIPAプロジェクト	送電線	Bi/RE	600	AC138kV-2.4kA
米国	REGプロジェクト	変電所間	REBCO	600	AC12kV-3kA
ドイツ	Ampacity	配電線	Bi	1000	AC10kV-2.3kA
ロシア	DCケーブル	変電所間	Bi	2500	DC20kV 2.5kA
中国	上海プロジェクト	配電線	REBCO	1150	AC35kV 2.2kA
韓国	GENIプロジェクト	変電所間	REBCO	500	AC23kV-1.25kA

表1 超電導ケーブルの主要なプロジェクト