

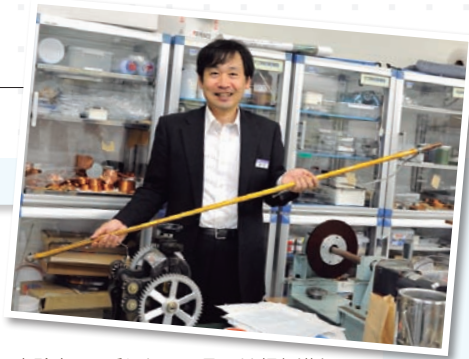
# 明日への トビラ

Vol. 8

## 超伝導ケーブルシステムで 電車を走らせる

送電ロスなくし省エネに貢献

通常の電線には電気抵抗があるため、長い距離を送電しようとするとう電圧が下がってしまう。そこで電圧降下がなく、大容量の送電が可能な「高温超伝導<sup>\*</sup>ケーブル」の実用化研究が進められている。鉄道総合技術研究所・超伝導応用研究室長で、超電導き電担当部長の富田優さんらは、“夢の技術”と言われてきた超伝導ケーブルを使って実際に電車を走らせることに成功した。



実験室で。手にしているのは超伝導ケーブルの初期の試作品(5年ほど前)。



### 世界初の走行実験に成功

電気抵抗は温度が低いほど小さくなるが、通常はゼロにはならない。ところがある種の金属などでは、極低温にしたときに急激に電気抵抗がゼロになる。これが「超伝導」と呼ばれる現象だ。普通の電線を使用すると、電気抵抗のために電圧降下が起きたり熱が発生したりするが、超伝導ケーブルは電気抵抗がないため、長距離でもロスなく電気を運ぶことが可能になる。

この現象が1911年にオランダで発見された当初、超伝導状態になる温度は $-269^{\circ}\text{C}$ だった。1986年ベドノルツとミュラーによって、 $-240^{\circ}\text{C}$ 以上で超伝導になる物質が発見され、ノーベル賞につながった。大幅に温度が高くなったことから「高温超伝導」と呼ばれている。MRI(磁気共鳴画像装置)などの医療用機器では、高価な液体ヘリウム( $-269^{\circ}\text{C}$ )が必要な低温超伝導を利用しているが、安価な液体窒素( $-196^{\circ}\text{C}$ )が使える高温超伝導の実用化が

進み、産業利用への道が広がっている。

富田さんは2003年に、イットリウム系の新しい高温超伝導材料の研究成果を、英国科学誌『Nature』に発表した。これをきっかけに、リニアモーターカーのみならず在来鉄道への超伝導導入を目指し、2007年から鉄道用超伝導ケーブルの開発に入った。1本の管の中に超伝導体とともに冷却用の液体窒素も充填する。このケーブルで変電所から架線に送電させるため、試作と試験を繰り返した。そして今年7月、長さ31メートルのビスマス系を素材とした超伝導ケーブルを製作し、鉄道総合技術研究所(東京都分寺市)の実験線で実際に電車を走らせることに成功した。

「走行試験の最大のポイントは、個別の要素をまとめあげ、世界で初めて実際の電車を使って走行実験をし、成功させたことです」と富田さんは話す。個別の要素技術に問題はなくても、それらを組み合わせて全体のシステムとして完成させるには、さまざまな課題をクリアする必要があったという。

「例えば、液体窒素で冷やしたときに接合部が引っ張られることは想定していましたが、その力が予想以上に強かったのです。そういった問題点を1つ1つ修正しながら全体のシステムを作り上げていきました」。



### ダイヤの増便や5%の省エネ効果も

都市圏のJR路線や私鉄各線の多くは、直流で列車を動かしている。この場合、発電所から送られてくる交流の電気を直流に変える変電所を数キロメートルおきに設置する必要がある。変電所間が長距離になると電線の電気抵抗による電圧降下が大きくなるためだ。

車両の走行状況などによって変



**富田 優** とみた・まさる

鉄道総合技術研究所 研究開発推進室  
担当部長 兼 材料技術研究部超伝導応  
用研究室長

東京大学大学院工学研究科博士(工学)取得。1993年より鉄道総合技術研究所勤務。この間、超伝導工学研究所、マサチューセッツ工科大学にて勤務。現職に至る。03年1月世界最高値17.24Tの高温超伝導バルク磁石を開発。横浜国立大学客員教授。

鉄道総合技術研究所構内の実験線で。

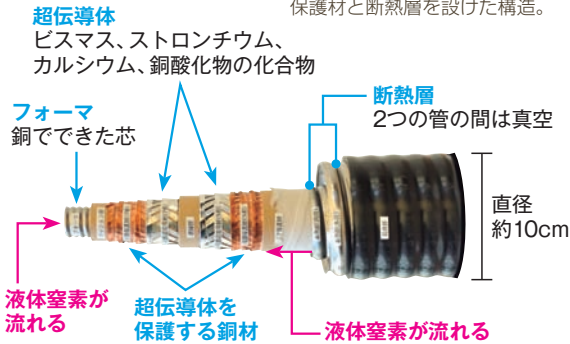


### 超伝導ケーブルシステムの概要

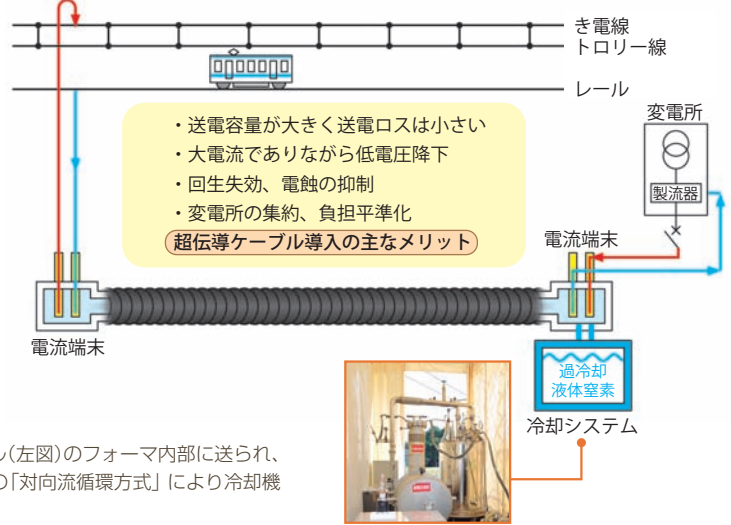
実路線でも適用可能な定格1500ボルトで5000アンペアを超える電流量をもつ。

#### 超伝導ケーブルの構造

フォームと呼ばれる芯に、テープ状の超伝導線材を巻きつけ、保護材と断熱層を設けた構造。



冷却システムで冷やされた液体窒素は、電流端末より超伝導ケーブル(左図)のフォーム内部に送られ、反対側の電流端末で断熱層の内側を通過して冷却システムに戻る。この「対向流循環方式」により冷却機構の一体化が可能となり、コンパクトなシステムが実現した。



電所の負担は異なるが、超伝導ケーブル導入により遠距離の変電所区間へも電気を安定して送ることができるようになるため、変電所間での負担が平準化できる。変電所そのものの数を減らすことも可能だ。「走行する列車を増便でき、より柔軟なダイヤ編成もできるようになるなど、利用客の利便性向上にもつながります」と言う。

直流では、電流がレールから大地に漏れることでレールが腐食して損傷する場合がある。「電蝕」と呼ばれる現象だが、超伝導ケーブルは電気抵抗がゼロで地面よりも電流が流れやすいため、電蝕も発生しなくなるという。

現在の鉄道では「回生ブレーキ」が利用されている。ブレーキをかけると、モーターが発電機に変化し、回生電力を発生させるとともにモーターの回転数を落とす仕組みだ。回生電力がタイミングよく消費されず変電所の能力を超えると回生分のブレーキ力が弱くなる(回生失効)ことがあるが、超伝導ケーブルを使えばこれも避けることができる。

自動車や航空機などに比べて鉄道はかなりエネルギー効率の良い交通機関で、超伝導ケーブルの導入によってさらに5%の省エネ効果も期待できるという。

#### 総合力で超伝導ケーブルシステムの完成を目指す

実用化のためには、故障等の緊急時への対応も重要になる。「鉄道は安全に走って当たり前。新しい技術を持ち込むときには、より安全性を高めるようにバックアップ体制を整えます」と富田さん。システムでは窒素を液体に保つための冷凍機が故障しても交換する時間を稼げるよう設計されている。さらに、万が一超伝導システムが使えなくなっても電力を供給して電車を動かせるよう、既存の導線は残しておくそうだ。

富田さんは2009年よりJST S-Iノベで研究開発を進めてい

る。「現場にどのように導入していくかを考えながらステップを設定して開発をしていますが、それはまさに社会実装を目的とするS-Iノベの進め方とぴったり合っています」。

次のステップとして、10倍の長さ約310メートルのケーブルを使った走行実験の準備をしている。その後は宮崎県にある実験センターで2～3キロメートルほどのケーブルを用いて試験を行い、さまざまな問題点を抽出して解決し、5年ほどで実際の路線での走行試験に挑みたいという。

電車の走らない夜中に線路を歩いて、工事や保守管理の方法を考えたりもする。「線路を歩いていると実用化の方向が見えてくるのです。現場は楽しいです」と笑顔を見せる。

将来的には鉄道以外での送電網への応用も期待できる。さらに富田さんは「鉄道というのはシステムであり、総合力が必要。超伝導技術を鉄道に組み込んで海外に輸出していくことは、総合力に優れた日本にとって面白い戦略になるのではないのでしょうか」と言う。

今回の走行試験の成功は、そんな将来の夢へ向けた第一歩だ。



7月の走行試験の様子。手前が超伝導ケーブル。