

超伝導送電で走る次世代鉄道



とみた まさる
富田 優
鉄道総合技術研究所 研究開発推進部 担当部長
2009～19年 S-イノベ プロジェクト マネージャー／開発リーダー

電気を損失なく送る鉄道用超伝導ケーブルを開発し、営業路線で車両の走行試験に世界で初めて成功したのが、鉄道総合技術研究所(以下、「鉄道総研」)研究開発推進部の富田優担当部長だ。ケーブルの材料開発からシステム設計まで、試作と検証を繰り返し、実用化を目指す。

送電損失をなくして安定供給

鉄道網が複雑に張り巡らされ、膨大な数の列車がダイヤを守って走る日本。安全で正確な運行を支える技術の1つが車両への送電である。

都市部の列車の多くは直流で動くため、2～5キロメートルおきに設けられた変電所で、電気を交流から直流に変えている。変電所間の距離が長いと、変電所から架線に電気を送る電線の電気抵抗によって、送電損失や変電所間の電圧降下が生じる。運行に必要な電力を確保するためには、変電所を細かく設置しなければならないが、費用や用地の制約があり増設は難しい。

富田さんは、S-イノベの研究開発テーマ「超伝導システム」で掲げられた高温超伝導材料を応用したシステム開発において、特殊な物質を低温に冷却すると電気抵抗がゼロになる超伝導現象を利用したケーブルを作製し、銅やアルミニ

ウムを素材とする電線と置き換えることによる「次世代鉄道システム」に挑戦した。「電気抵抗がない超伝導ケーブルを使えば大容量を無駄なく送電し、電圧降下も防げます。遠くの車両にも電圧を保ったまま届けられるので、変電所の削減にも寄与することができます」と語る。

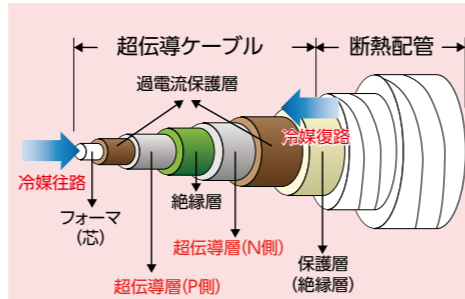
都市部では今なお多数の新線や既存路線の延伸が構想されている。電気を車両に安定供給する超伝導ケーブルシステムは、運行本数の増加や柔軟なダイヤ編成に貢献すると期待されている。

鉄道に最適な要素技術を追求

2003年にイットリウム系の高温超伝導材料を開発して、17.24テスラと世界最高磁場を達成した富田さん。「自分の研究を社会に役立てたい。優れた材料を実用化しなければ意味がない」と信念を抱いていた。

「研究を進める上で大切なのは目的を

意識すること。鉄道ならではの問題を解決するものを最初から目指して作っています」。鉄道に最適な要素技術を徹底的に追求した。通常の超伝導材料の研究開発では、動作温度や電流、磁場の向上を目指すことが多いが、鉄道用超伝導ケーブルの作製に当たって富田さんは、液体窒素でマイナス196度に冷やして電気抵抗をなくす時に最大の機能を発揮するように、ビスマスやイットリウムを



■図1 真空の断熱層の内側に、冷媒である液体窒素の流路が2つ設けられている。ケーブル本体の中心を液体窒素が流れ(往路)、断熱配管とケーブルの間を液体窒素が戻ってくる(復路)ことで、冷却冷媒を効率的に循環させて超伝導線材をマイナス196度に保つ。

含む銅酸化物を配合した。

富田さんが開発した超伝導ケーブルは、1本の管の中に超伝導体と共に冷却用の液体窒素も充填する構造をしている。液体窒素の流路を往復2つ設け、ケーブル1本で冷媒を循環できる対向流循環方式を採用した。冷媒システムを一体化させることで、電線管の中に敷設できるコンパクトな形状を実現している(図1)。

電線管は線路に沿って多様な経路を通るため、ケーブルを大きく湾曲させて設置しなければいけない場所もある。超伝導線材をらせん状に巻き付けたところ、屈曲に対するケーブルの強度が高まったという(図2)。実用に耐え得る基盤技術として確立するため、ケーブルの試作と検証を繰り返した。

世界初、営業路線で走行試験

研究開始から4年目の13年、鉄道総研内で試験列車による走行試験を実施した(図3)。個別の要素技術を組み合わせることで全体のシステムとして完成させた時に、実際の設備への接続や動作確認などに問題がないか、一般の鉄道工務会社が作業できるかなど、実用化に向けて基盤技術やシステムの使い勝手を検証することが狙いだ。

この時のS-イノベの研究開発による超伝導ケーブルは31メートルだったが、この走行試験の成功を皮切りに他の公的資金のサポートも得て、ケーブルの延長に次々と挑んだ。14年には10倍の310メートルのケーブルを使って走行試験を行った。さらに15年には、伊豆箱根鉄道駿豆線の線路脇に6メートルのケーブルを設置し、実際の営業路線での車両の走行試験に世界で初めて成功した。終電後から始発までの深夜に行われ、試験用に特別に組まれたダイヤに間に合うようにケーブルを設置し、実験装置や通信装置を運び入れたという。18年には408メートルまで延長したケーブルをJR中央本線の電線と接続したところ、電圧降下の抑制効果が確認され、鉄道運行にかかる消費電力の削減につながることを実証できた。

実際の路線では、激しい高低差やカーブがある場所にもケーブルを敷設する必要がある。冷却による超伝導線材への引っ張り応力や曲げ箇所の影響がないかなど、走行試験のデータから確認した。その分析結果から明らかになった問題点を1つ1つ解決し、鉄道現場で求められる仕様を満たすシステムの完成を目指している。

現場の課題を研究開発に反映

安全が第一の鉄道に新しい技術を導入するためには、ケーブルの維持管理や事故リスクなど、走行試験を重ねて安全性や信頼性を検証する作業が必要で時間がかかる。だからこそ「研究の途中段階でも成果を発信して鉄道会社や一般の人に理解してもらうこと、鉄道の現場に持って行って使えるシステムである証拠を見せることが重要です」と富田さん。多忙な研究開発の合間を縫って、現場に幾度となく足を運んだ。

鉄道の現場を見たり、技術者の要望を聞いたりすることで、隠れていた問題

が見つかり、実用化への道筋が定まってくるといふ。「ケーブルをこういう場所にも使えないか、こういう課題は解決できないかと、現場の技術者が提案や質問をしてくれることで、現場の課題を次の開発目標に反映できて効率的に開発を進められました」。10年の研究期間があったからこそ、変化を柔軟に取り入れることができた振り返る。

実用化についても段階的に進める考えだ。「システム全体が完成してから実際の鉄道路線に導入するのではなく、例えば電圧降下が大きい区間だけ超伝導ケーブルを導入するなど、できることから活用していくことが実用化を促進します。実際に使用することで、新たな課題やニーズが見えてくるからです」。

今後は1キロメートル以上のケーブルで走行試験をする計画だという。「今までの2～3倍の長さになりますが、長距離でも冷却性能を安定にする技術やケーブルの接合技術を向上させて、システムとして仕上げていきます」と自信を見せる。S-イノベで掲げた2050年を待たずに実用化を成し遂げる心積もりだ。



■図2 テープ状の超伝導線材をらせん状に取り付ける装置(右)。後ろに写る巨大なドラムにケーブルを巻いて運搬する。出来上がったケーブルの耐久性の評価実験も行っている。



■図3 走行試験を実施した鉄道総研内の実験線。起点には冷凍機と液体窒素の循環用ポンプなどがある(囲み写真内)。