

浮上式鉄道技術研究部



浮上式鉄道技術研究部は、超電導磁気浮上式鉄道の基盤研究を進め、さらに一連の研究開発で得られた知見を活用し、在来方式鉄道への応用研究に力を注いでいます。特に高温超電導研究の取り組みへの歴史は長く、基礎から応用までの研究開発を一体的かつ効率的に進め、技術の高度化と在来方式鉄道への各技術分野への適用に向けた各種開発に取り組んでいます。ここでは、浮上式鉄道技術研究部における最近の研究事例について一部を紹介します。

浮上式鉄道技術研究部長 富田優

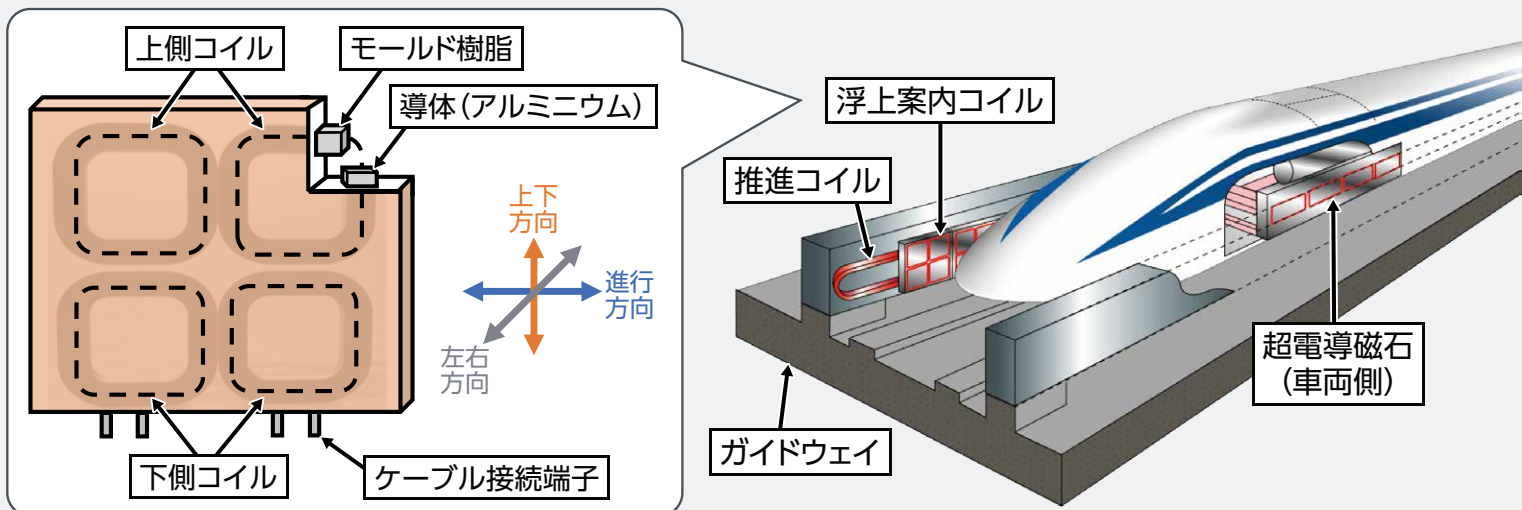
浮上式鉄道技術研究部ウェブサイト <https://www.rtri.or.jp/rd/division/rd79/>

はじめに

浮上式鉄道技術研究部では、超電導磁気浮上式鉄道の地上コイルの評価、鉄道環境における磁界評価などの研究を進めています。また、超電導技術に関しては、幅広い研究開発に力を注いでいます。基礎研究では、高温超電導材料の作製、材料の高度化のための評価を行っていま

す。そして、応用研究の中で、超電導材料における巻線化技術、コイル化技術に取り組み、さらに、送電やエネルギー貯蔵の開発、電力変換器などの鉄道に不可欠な融合技術の開発を進めています。鉄道への現場導入に向け、一貫した研究開発に全力を尽くしています。

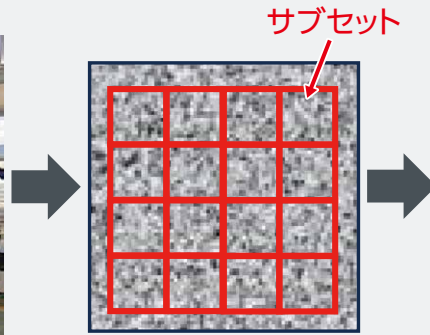
図1 超電導磁気浮上式鉄道と地上コイルの基本構成



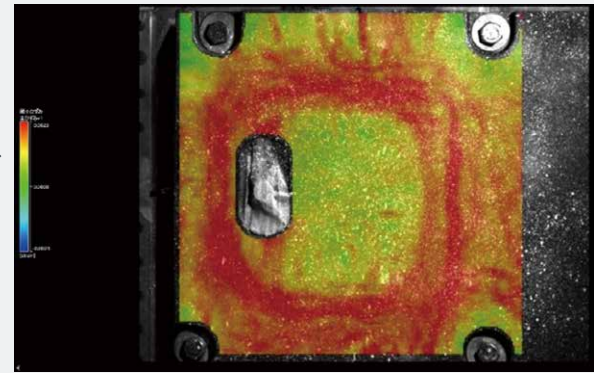
デジタル画像相関法の流れ



① 一定の間隔で対象物をモノクロ撮影



② 画像解析技術(パターンマッチング)により,サブセットの位置を追跡



③ 表面の変形割合(ひずみ)を計測

デジタル画像相関法の原理

- 各サブセットがどの位置に移動したかをパターンマッチングにより追跡する。
- 画質が高ければ高いほど,微小な移動を捉えることができるため,解析精度が高まる。

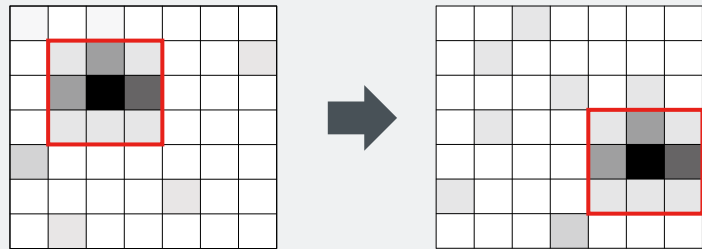


図2 デジタル画像相関法による地上コイルのひずみ評価

浮上式鉄道とその技術

地上コイルの余寿命評価

超電導磁気浮上式鉄道と地上コイルの基本構成を図1に示します。超電導磁気浮上式鉄道において、ガイドウェイに多数設置される地上コイルは耐久性が重要となるため、その評価方法に関する研究開発を行っています。地上コイルは、車両に対して、推進力、浮上力、案内力を与える電磁石であり、推進コイルと浮上案内コイルの2種類があります。浮上案内コイルは、超電導磁石との相互作用によって車両に浮上力と案内力を与えているため、車両通過ごとに浮上力や案内力の反力を受けて加振されることから、機械的強度や振動に対する動的耐久性が要求されます。そのため、定置で超電導磁石と浮上案内コイルを用いた電磁加振試験を実施し、得られた実験データや数値解析から、500km/h走行相当の電磁力が加えられることを確認、耐振動特性を評価できる見通しを得ま

した。今後は長期間の電磁加振試験により、振動に対する余寿命評価を実施することで、保守作業などへの貢献を目指していきます。

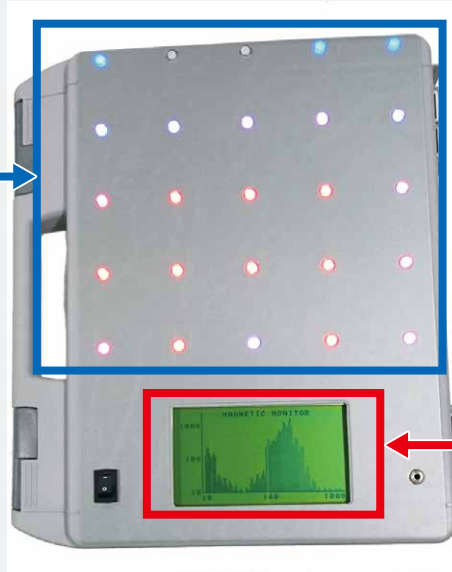
画像処理技術

地上コイルの機械的強度を評価するには、車両通過時に受ける電磁力や巻線の温度上昇に伴う変形などによる「ひずみ」の把握が重要となります。従来はひずみゲージとよばれるセンサーで計測を行っていましたが、地上コイル全体のひずみ分布を調べるには多数のセンサーを配置する必要があり、実測は困難でした。そこで、カメラで撮影した画像から変形量を調べてひずみを計測する、デジタル画像相関法の適用について検討しました。あらかじめ地上コイル表面にランダムパターンを塗布して、地上コイルの巻線に通電を行うと、画像処理によって温度上昇に伴う変形が確認でき、巻線近傍のひずみを計測できることを確認しました(図2)。今後、各種強度評価への活用を予定しています。

交流磁界可視化装置

磁界強度分布表示部

磁界強度を色調の違いにより視覚的に表示



周波数特性表示部

周波数が変動する鉄道車両特有の磁界に対応するため周波数特性も同時に表示

鉄道磁界測定用磁気光学プローブ

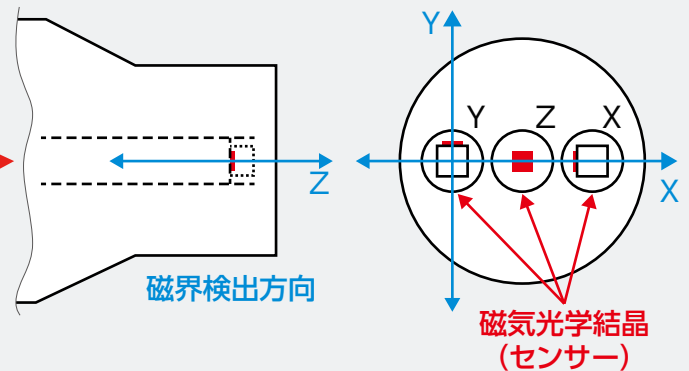
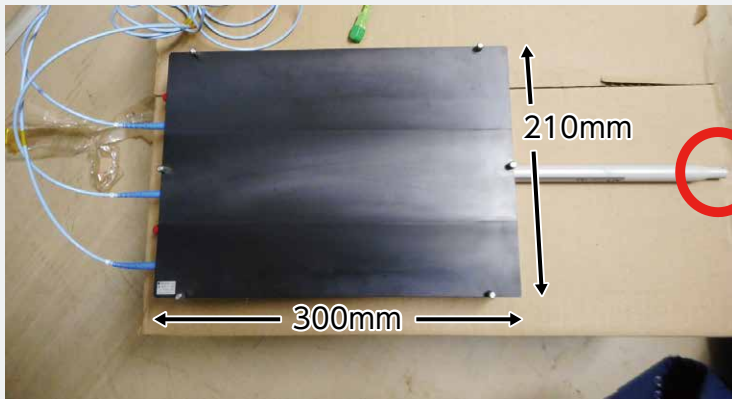


図3 交流磁界可視化装置（上）と鉄道磁界測定用磁気光学プローブ（下）

鉄道環境における低周波磁界の評価

浮上式鉄道車両に搭載されている超電導磁石から発生する磁界の評価などを宮崎実験センターでの走行試験当時から行っており、そのノウハウを生かして、現在は新幹線を含む在来方式鉄道車両に関する磁界の測定・評価を実施しています。磁界分布を簡易に把握するための可視化装置を開発しました。さらに、特定箇所の磁界を詳細に評価するための新たな磁界測定用のセンサーとして、光を利用する3軸型の磁気光学プローブを開発しています(図3)。これはファラデー効果とよばれる現象を利用して磁界を検出する測定プローブであり、広帯域での測定に活用できます。

超電導

超電導の基礎

高温超電導材料の形態として、磁場応用として円柱状のバルク(塊という意味)材、送電応用として長手方向に伸びた線材があります。形は異なりますが使用する材料や、原料粉末を混合、成型、焼成する工程は同様で、高温超電導材の作製と評価を繰り返し行うことで、材料の高度化に取り組んでいます。また、これらの基礎研究は全て所内で実施しています。

バルク材は、混合した粉末を成型器に詰め、プレス機で円盤状に成型した後、電気炉で焼結して作製します。焼結の際に結晶方位をそろえるため、単結晶を用いた溶融凝固法により結晶

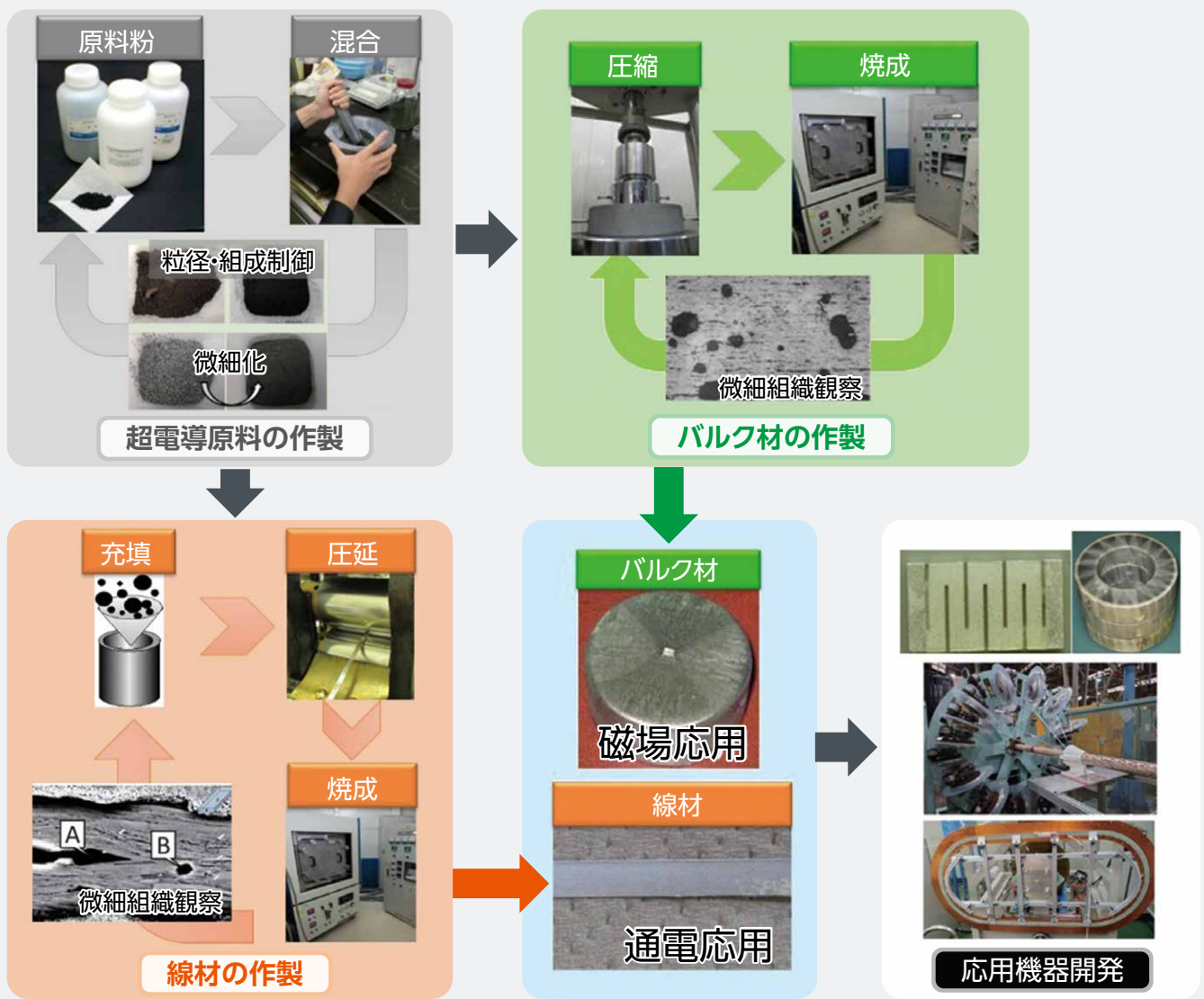


図4 超電導技術の開発

を育成します。これは、中心に置いた単結晶から円周方向に向けて結晶方位をそろえていくため、温度や組成の制御が重要であり、合成する粉末の粒径、組成制御や、電気炉で焼成する際の温度条件の最適化などについての研究を進めています(図4)。

線材は、金属パイプに粉末を詰め、圧延機で線状に引き延ばすことで結晶方位をそろえていきます。しかし、顕微鏡で微細組織を観察すると、内部に不純物相が確認でき、これにより超電導の結晶面が途切れてしまいます。焼成温度や印加圧力を調整することで、このような不純物相の低減や結晶方位の制御を行っています。そのほか、金属基板上に結晶を配向させていく

製法もあります。

このような基礎研究から得られた成果を基に、評価技術、巻線化およびコイル化技術による開発も進めています。試作したケーブルやコイルの評価試験などを通じて、送電、エネルギー貯蔵などの鉄道応用へ向けた超電導機器の実現を目指しています。

超電導き電システム

電気鉄道は変電所から車両に電気を送る送電線の電気抵抗によって、送電損失や電圧降下が生じます。運行に必要な電力を確保するように変電所の位置が決められており、特に都市圏路線では多くの変電所が設置されています。これらの電気抵抗に起因する課題解決に向け、超電



図5 超電導き電システム

導き電システムの開発に取り組んでいます。電気抵抗ゼロの超電導で送電することで、送電損失の低減ならびに回生効率の向上による省エネ効果、変電所の集約化などが期待できます¹⁾。これまで、高温超電導材の研究から始まり、ケーブル構造の最適化、システムの実験などを経て、構内試験線で実証した後、JR中央線の日野駅・豊田駅間の一部において開発した408mの超電導き電ケーブルを路線へ接続、E233系車両(10両編成)を走行させ、実路線における電圧降下の抑制を確認しました²⁾。さらに宮崎実験センターにおいては、変電所間への導入を想定した長距離(km級)システムの構築を進めており、実用的なシステムの実現に向けた研究開発に取り組んでいます(図5)。

おわりに

超電導磁気浮上式鉄道の開発が始まってからすでに半世紀以上が経過し、この間、浮上式鉄道とともに、種々の新しい技術も築かれてきました。例えば、高温超電導を用いて送電する超電導き電システムは、現在、国土交通省より鉄道設備として認可され、営業運行における超電導送電の実証検証が世界で初めて開始されます。電気抵抗に起因する在来方式鉄道の課題を抜本的に解決できる技術として期待されています。今後も超電導のほか、先端技術を磨き、浮上式鉄道、新幹線、在来鉄道、全ての鉄道に直面する課題に、新たな技術が貢献できるよう一層力を注いでまいります。

文献

- 1) Superconductors drive trains, Nature, Vol.542, p275, 2017
- 2) 鉄道総合技術研究所：超電導き電システムの電気鉄道(直流1500V)への適用試験を実施しました、鉄道総研ニュースリリース、2019年8月6日、https://www.rtri.or.jp/press/is5f1i000000btv2-att/20190806_001.pdf