

浮上式鉄道技術の研究開発と在来方式鉄道への技術応用

浮上式鉄道技術研究部

部長 高橋 潔

1. はじめに

超電導磁気浮上式鉄道（超電導リニア）の技術開発として、山梨実験線プロジェクトは平成2年度から開始された。山梨実験線では早期に完成した先行区間（図1）を使って平成9年度から走行試験が始まり、様々な検証試験が行われ、現在では主に長期耐久性の検証等のための走行試験が順調に続けられている。一方、東海旅客鉄道株式会社（JR東海）が建設費を負担して山梨実験線の一般区間（未施工区間）の建設と既存設備の更新を行う表明を受けて、平成19年1月に山梨実験線の延伸および更新に関する変更計画が国土交通大臣から承認され、当初計画した山梨実験線の規模（42.8km）による走行試験が平成26年度から開始されることとなった。

一方、平成17年3月の国交省の超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会（評価委員会）において“超電導磁気浮上式鉄道の技術について実用化の基盤技術が確立したと判断できる”との評価を受け、現在は下記に示す三項目（評価委員会の提言）に関する技術開発が行われている。

- ① 更なる長期耐久性の検証について
- ② メンテナンスを含めた更なるコスト低減について
- ③ 営業線適用に向けた設備仕様の検討について

鉄道総研ではこの提言を受けて、主に“更なるコスト低減等を目指した基礎技術開発”に取り組んでいる。本稿では、超電導リニアに関する基礎研究の一端と、平成17年度から進めている“在来方式鉄道への技術応用”に関する研究について紹介する。

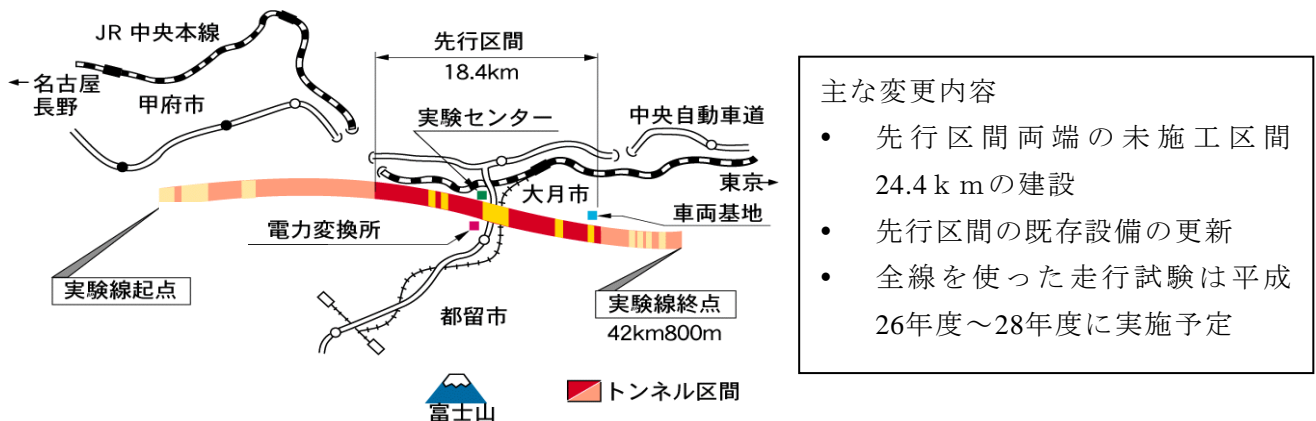


図1 山梨実験線の路線図

2. 超電導リニアの基礎研究

鉄道総研では平成17年度以降、国立研究所にて超電導リニアに関する基礎研究を続けている。その主なものは超電導磁石や地上コイルに関した信頼性向上、耐久性評価、設備診断技術やコスト低減技術に関する研究である。

2.1. 超電導磁石の研究

超電導リニアの基幹装置の超電導磁石は、超電導コイルを内包した4磁極分の内槽容器を真空容器の外槽で覆った構造をしている。外槽内部の補修は容易に行えず、基本的に超電導磁石には高い信頼性が要求される。超電導磁石に関する性能評価では、機械加振法（図2）による耐振性能の評価や、非破壊診断手法の開発を通して超電導磁石の信頼性向上を目指している。

また、昨今性能向上が著しい高温超電導線材の活用を目指した研究を進めている。現在の超電導磁石にはニオブ・チタンのコイル線材が用いられ、超電導コイルは内部で液体ヘリウムに漬けられて4.2K(約-269℃)の温度で超電導状態を維持している。超電導磁石内部は低温容器として複雑な構造をしており、高温超電導線材でコイルが構成できれば、冷却方式等の簡素化を通じて超電導磁石の信頼性の向上や製造コストの低減が期待できると考えている。



図2 超電導磁石耐久性試験装置

2.2. 地上コイルの研究

超電導リニアに特有な地上コイルについては、軌道の全線にわたってコイルが敷設されるため、そのコスト低減が重要な課題として研究開発を続けてきた。走行試験の結果から、二層配置としていた推進コイルは1/2の長さに小型化したコイルを単層に配置することが可能と判断できるようになり、浮上コイルと合わせて二層化することで製造コストと取り付けコストの大幅な低減効果が期待できる見通しを得ている。

更に地上コイル構成の簡素化を進める目的で、鉄道総研では同一のコイルで推進・浮上・案内を機能させる推進・浮上・案内兼用方式（PLG方式：combined Propulsion, Levitation and Guidance system）について研究を進めている。図3に示すこのシステムは、宮崎実験線で既にシステムの原理確認が行われ、山梨実験線にも一部仮設して走行試験で発生する電磁力特性の検証が済んでいる。現在では、営業線仕様を念頭にしたコイルの高耐圧化や、飛来物に対する耐衝撃性の確保等の機能向上に向けた研究を進めている。

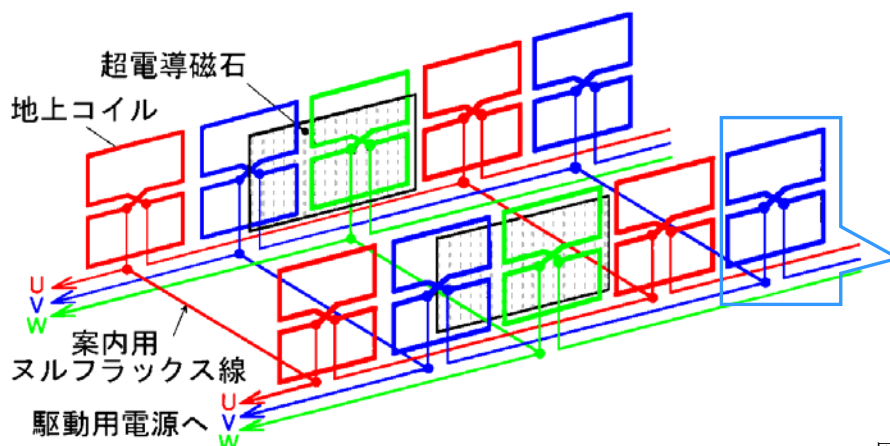


図3 PLG方式のコイル構成



図4 試作段階のPLGコイル

また営業線レベルでは30年以上の安定使用可能な地上コイルの耐久性能が求められており、その性能検証のため、長期屋外課通電試験装置、地上コイル用電磁加振試験装置や促進耐候性試験装置などの独自の試験・評価装置を開発し、実機コイルを使って加速試験環境下での耐久性能の評価を目指している（図5）。

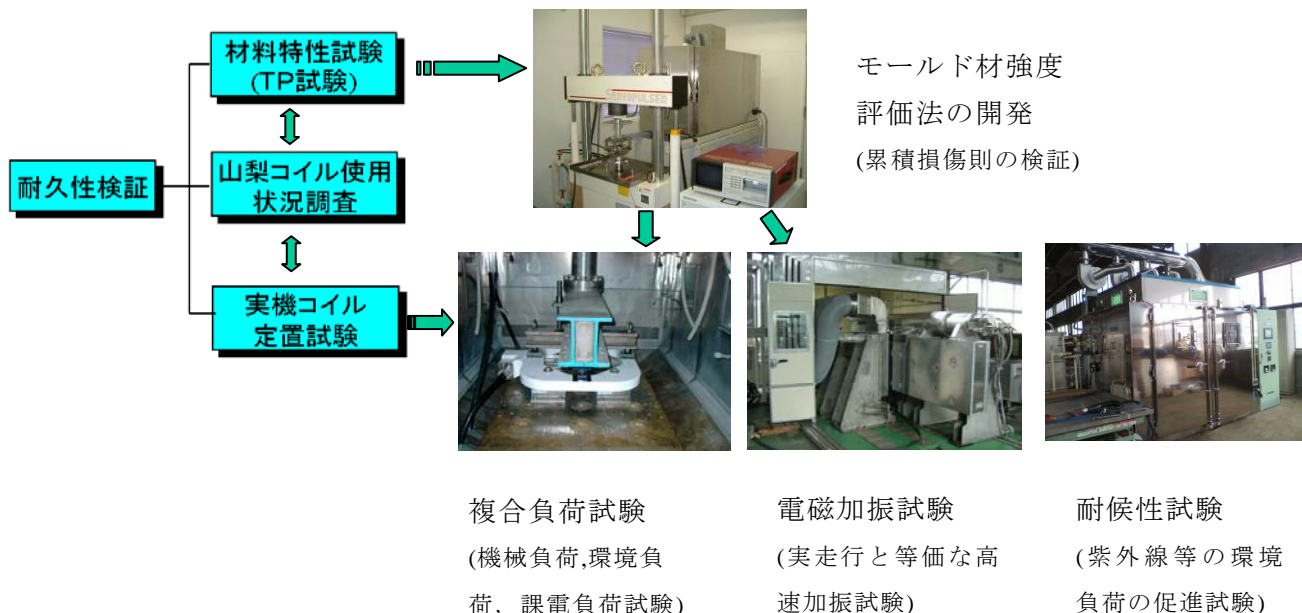


図5 地上コイルの耐久性検証体系

2.3 車両運動解析の研究

山梨実験線では最大5両編成までの走行試験が行われたが、営業線では5両以上の長大編成車両の運用となるため、超電導リニアの車両運動解析では編成が長大化した場合の車両運動解析を深度化するための研究を継続している。また、軽量車体にとって超高速走行に伴う弾性振動の発生により乗り心地に影響を与える可能性が指摘されており、従来から用いている乗り心地評価方法の再検討を視野に入れて検討を進めている。

3. 超電導リニア技術の在来方式鉄道への技術応用

鉄道総研では超電導技術やリニアモータ技術をベースに、超電導リニアの枠を越えた研究分野への取り組みを始めている。次に平成17年度より開始した「在来方式鉄道へのリニア技術の適用」のテーマについて概要を紹介する。

3.1. 超電導フライホイール蓄電装置

電気鉄道における回生エネルギーの有効利用を目的に、高密度なエネルギー蓄積媒体として小型フライホイール蓄電装置の開発を目指している。フライホイールの最重要部品である軸受け部に対して、超電導技術をフルに活用した従来方式とは異なる超電導磁気軸受けの開発を進めている。特徴は、超電導バルク体と超電導コイルの組み合わせによる独自の超電導磁気軸受けを提案しており、この超電導磁気軸受けが成立すれば、小型で高効率なフライホイール蓄電システムが実現できると考えている。

3.2. リニアモータ制御によるレールブレーキ装置

在来線のブレーキ力向上を主目的として、リニアモータ技術を応用した電力回生機能を有するレールブレーキの開発を進めている。過去に検討されたレールブレーキは主に直流渦電流ブレーキ方式であり、ブレーキ動作時にレールの温度上昇を伴うため日本では実用化に至っていない。今回は、レールを二次導体として車上の電機子装置とでリニアインダクションモータ（LIM）を構成し、レール温度上昇をもたらしていた車両の運動エネルギー消費の一部を車上に回収する機能を実現することを目指している。

3.3. SQUIDによる検査技術の開発

高感度な磁気センサであるSQUID（超電導量子干渉計）を非破壊検査に活用することを目指し、その一つとしてレール頭頂面の検査に応用することを目指して研究を進めている。レールの表層部にはシェリング亀裂の原因となる白色層と呼ばれる組織変態が発生する場合があるが、この白色層に対して有効な検出手段が確立されていない状況にある。SQUIDは他の磁気センサに比べて測定精度が非常に高いのが特長であるため、その特性を活かしてレール表面に発生する白色層の検出を目指している。

4. おわりに

鉄道総研では主にコスト低減技術の開発に向けた取り組みと、地上コイルや超電導磁石に関する性能評価手法の開発を目指した基礎研究を続けている。また、超電導リニア技術の在来方式鉄道への技術応用では、独自の試験装置等を考案しながら目標とする機能の実現性について原理検証を進めており、実用化の提案に繋がりたいと考えている。

なお、紹介した研究の一部は国庫補助を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 高橋 潔：浮上式鉄道の技術開発と在来方式鉄道への応用，鉄道総研報告，Vol. 22, No. 11, pp. 1-4, 2008
- 2) 高橋 潔：浮上式鉄道の技術開発の現況と展望，鉄道総研報告，Vol. 21, No. 9, pp. 1-4, 2007