

# 超電導磁気浮上式鉄道の 技術開発の現況

高橋 潔  
浮上式鉄道技術研究部(部長)



たかはし きよし

## はじめに

山梨実験線で続けている超電導磁気浮上式鉄道(以下：超電導リニア)の走行試験は、1997年に始まり今年で11年目になりました。この間、鉄道総研と東海旅客鉄道株式会社(以下：JR東海)が共同で実施してきた8年間の技術開発成果について、2004年度末に超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会(国土交通省主催、以下：評価委員会)から『技術開発は大きく前進し、超電導磁気浮上式鉄道について実用化の基盤技術が確立したと判断できる』との総合技術評価を受けました。

その後も山梨実験線では、長期耐久性検証を目的として走行試験が順調に続けられています。以下に超電導リニアの技術開発の現況について説明します。

## これまでの主な技術開発成果

上述した評価委員会の総合技術評価は、様々な試験結果が報告され、各項目に対する評価の集大成としてまとめられたものです。主な技術開発成果<sup>1)</sup>を以下に集約します。

### ①高速走行性能の検証

超電導リニアの基本となる高速走行性能の検証は、営業最高速度(500km/h)の1割増しの速度550km/hで行われました。更に、最高速度としては581km/hまでを記録しています。

高速走行に伴う環境への影響を把握することは重要です。列車走行に伴う車外騒音、地盤振動や電磁環境については、500km/h走行において予め定めた基準値をいずれも下回っていることが確認されています。

### ②大量輸送機関としての輸送能力の検証

超電導リニアは新幹線に匹敵する輸送能力を持つ必要があるため、その実現性の検証は重要です。技術開発の目標では、時間当たり片道1万人程度の輸送能力の実現を目指しています。

実験線では最大5両編成車両の走行試験を実施し、中間

車両の運動を調べました。その結果、新幹線同様の長大編成を組成した時の中間車両においても、車両運動に特段の問題がないことを確認しました。

また、二編成を使った様々な列車制御の確認も行いました。複数列車制御機能を実証する結果として、相対速度1026km/hまでのすれ違い走行試験を実施しました。

### ③信頼性・長期耐久性能の検証

輸送システムにとって信頼性の確保は非常に重要です。システムを構成する個々の装置に故障が起きても、車両の走行安全性が確保されなければなりません。この観点から、超電導磁石や地上コイルの故障、地上の電力供給システムの故障など考えられる故障を模擬した条件での走行試験やリニア車両への落雷試験なども実施してきました。

また走行試験の継続による長期耐久性の検証も重要です。この試験項目は現在も続けられており、2007年8月初旬に累積走行距離で60万キロを突破し記録は現在も更新中です。

### ④経済性の検証

超電導リニアは高速走行に必要な推進力を得るため、在来鉄道のレールと車輪に代えてリニアモータを採用し、また浮上には超電導による磁気浮上方式を採用しました。そ



図1 リニア車両の走行試験

のため、現状の新幹線より建設費がかかるシステムであることは事実です。

経済性の目標に対しては、個別の装置毎にコスト低減のための技術開発を続けています。これまでも、地上コイルの簡素化、ガイドウェイ構造の改良や電力変換器の高効率化等、実験線建設当初のシステムからのコスト低減効果を確認してきました。

### 実験線の延伸・更新計画

山梨実験線は当初42.8kmの長さ(図2)の建設が計画されましたが、走行試験は早期に建設が完了した中央部分の設備(先行区間18.4km)を使って実施してきました。これは実験線建設当初は用地買収の遅れ等により、実験設備の建設を中央に集中させて走行実験を早期に開始するのが有利と判断したためです。

一方、実験線の設備も長いものでは建設から15年以上経過し、最新の技術レベルからは陳腐化が目立つようになってきました。そのような状況の下、2006年9月に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ことを表明しました。これを受けて同年12月には評価委員会から今後10年間の技術開発の方向性の提言をいただき、2007年1月に山梨実験線の延伸・更新に関する建設計画と今後の技術開発の基本計画について、事業三者(鉄道総研、JR東海、鉄道・運輸機構)は国土交通大臣から承認を受けました。これで1990年当時計画した山梨実験線の規模(42.8km)の実現と更なる実用化に向けた技術開発が進められることになりました。建設には7年間を見込み、全線を使った走行試験は2014年度から3年間が予定されています。

延伸工事完成後は新幹線並の長大編成車両による走行試験が可能となり、500km/hで走行し続ける距離も拡大します。また、トップスピードでの長大トンネルの走り抜けによる環境影響の把握など、営業運転に一層近づいた走行条件での試験が可能になり、営業線適用に向けた設備仕様の検討を進めることができるようになります。

建設と平行して進められる技術開発の課題は次の3点が挙げられます。

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

現行設備に関する長期耐久性の検証については、今後も走行試験は可能な限り継続される計画です。また、超電導

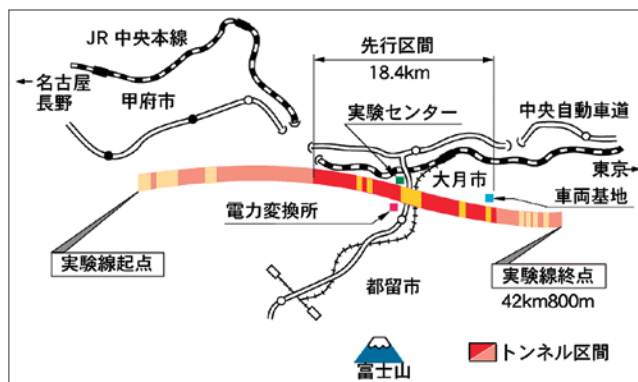


図2 山梨実験線の路線図

磁石、地上コイルや電力変換器等全ての技術開発要素に関して、コスト低減に向けた技術開発が進められることとなります。営業線設備仕様の検討では、長大編成車両による高速走行の確認、環境対策設備の仕様や保守体系等の確立に向けた試験が計画されることとなります。

### 超電導技術とリニアモータ技術

浮上式鉄道である超電導リニアは、その名が示す通り超電導技術とリニアモータ技術の融合した新しい輸送システムです。その大きな特長は、在来鉄道のレールと車輪間の粘着特性から解放された超高速走行性能と優れた浮上走行性能を兼ね備えていることです。

一方、単に浮上式鉄道といえば、最近の例ではドイツで開発された中国の上海リニア(2004年1月開業、浦東国際空港から市内龍陽路間の約30kmを7分で結ぶ)や、愛知高速交通東部丘陵線(2005年3月開業、リニモの愛称で愛知万博の足として活躍)が挙げられます。推進に利用するリニアモータ方式の違いにより、前者の最高速度は430km/h、後者は100km/hと速度は異なりますが、浮上の仕組みは共通で、車上に常電導の電磁石を搭載しています。その電磁石の吸引力を利用して車両を浮かし、約8mmの地上～車上間の空隙で浮上して走行します。

浮上に使用する電磁石が超電導か常電導かにより、発生する磁場の強さが決定的に違います。超電導リニアでは地上～車上間の空隙が通称100mmと大きく取れるので、これが安定した超高速走行の実現には不可欠な条件と考えています。地震が多い日本では、このくらい大きな空隙がなければ超高速走行システムを構成するのは難しいでしょう。

大きな浮上力を得るための“超電導技術”と高速走行を実現するための“リニアモータ技術”は、本システムにとって基本技術の両輪に当たります。重要な装置で言えば、リニアモータの構成要素となる車上の超電導磁石と地上に設置される推進コイル、さらに浮上力を発生する浮上コイルです。鉄道総研では、この二つの基本的技術分野に関して、

今後も性能向上に取り組んで行くと同時に、これらの基本技術から派生するものとして、在来鉄道への応用展開を目指しています。

## 1) 超電導技術

### ① 高温超電導化に向けて

現在の超電導磁石のコイルは、最も使用実績の多いニオブ・チタン (NbTi) 線材によって作られているため、冷凍機と液体ヘリウムを使って線材が超電導状態になる4.2K (約-269℃) まで冷やされています。超電導磁石内部は低温容器として複雑な構造になるため、冷却温度を高められれば、冷却方式等の簡素化が可能となり、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ます。

一方、酸化物の高温超電導物質の発見から20年が経った現在、液体ヘリウムを使わずに冷却可能な臨界温度 ( $T_c$ ) で超電導状態になる線材の開発と応用研究が盛んに行われています。鉄道総研が取り組んでいる「鉄道用超電導主変圧器の開発：本誌掲載」では、ビスマス系高温超電導線材を巻線に使用しています。また、既に超電導リニア用磁石をビスマス系線材で開発<sup>2)</sup>した事例もあります。

超電導リニア用の磁石へ高温超電導線材を応用するには、磁界中での臨界電流密度 ( $J_c$ ) が優れている必要があります。次世代線材と呼ばれる希土類系線材 (Re系) による  $J_c$  性能の向上と長尺化の開発が急展開で進んでいます。この次世代線材を活用した超電導磁石の製作技術の研究を進めていく考えです。

### ② 超電導バルク材の応用

高温超電導線材開発の一方で、同じ高温超電導材料を使ったバルク超電導磁石 (図3) もその性能向上が進んでいます。材料の  $J_c$  性能の向上、バルク体の大型化や樹脂含浸技術により捕捉磁場 (保持できる磁界の強さ) は飛躍的に向上しています。

バルク超電導磁石はそれ自身強力な磁石になると同時に、磁束のピン止め効果 (捕捉した磁束線がピンで止めたように動かなくなる現象) を利用すると、磁場空間の中ではその空間内に浮き続けることができます。鉄道総研ではこの特性を利用して「超電導磁気軸受の開発：本誌掲載」を進めています。

## 2) リニアモータ技術

リニアモータには交流モータと同様に、同期モータと誘導モータの二種類があり、加えて一次巻線部分を地上側に置く方式 (地上一次) と車上搭載方式 (車上一次) に分かれます。超電導リニアは高速システムに適する地上一次の同

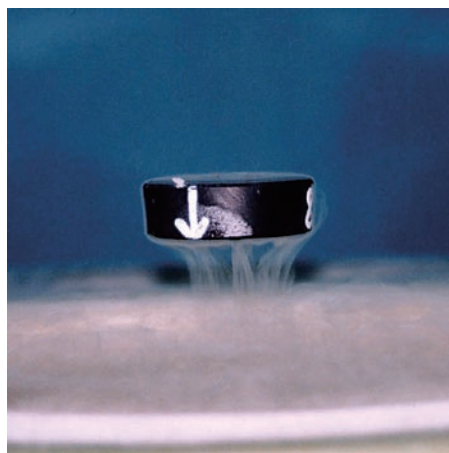


図3 ピン止め浮遊するバルク超電導磁石

期モータ方式を採用していますが、もう一つの組み合わせには車上一次の誘導モータ方式があり、リニアモータや東京都営地下鉄大江戸線等に採用されています。このリニアモータ制御技術をベースに在来鉄道への新しい適用研究「レールブレーキの開発：本誌掲載」を進めています。

一方のハード面では、リニアモータ用の推進コイルは、アルミニウム導体を絶縁材で型成形した中空状の空芯コイルです。絶縁材にはエポキシ樹脂が使われますが、空芯コイルのため推進力など地上コイルが受ける力や振動はこのエポキシ樹脂が負担します。絶縁材料として一般的なエポキシ樹脂も、厳しい力や振動を常時受けるような使用例はありません。そこでエポキシ樹脂自体の疲労強度データ等の機械的な基礎的物性の取得を始めています。地上コイルは屋外で長期間使用するための耐久性が求められますので、この耐久性を評価する手法の確立に向けた研究を進めています。

## おわりに

超電導リニアの技術開発の現況について、評価委員会から受けた総合技術評価の基礎となるこれまでの主な技術開発成果と、今後10年計画で実施される山梨実験線の延伸・更新に係わる技術開発について紹介しました。

今後の技術開発では更なるコスト低減とシステムの信頼性や耐久性の向上に向けた研究を進めていく予定です。

尚、鉄道総研が行う超電導リニアの技術開発は、一部国庫補助を受けて進めています。RRR

## 文献

- 1) 鉄道総研報告：浮上式鉄道技術特集号、2005年6月
- 2) 五十嵐基仁 他：永久電流高温超電導マグネットの開発、低温工学誌、Vol.39, No.12, 2004年