

浮上式鉄道とその技術の応用に関する最近の研究開発

浮上式鉄道技術研究部

部長 岩松 勝

1. はじめに

2011年と2012年は、超電導磁気浮上式鉄道（以下、超電導リニア）において節目の年である。2011年は、オランダのカマリン・オンネスが超電導リニアのキーテクノロジーの一つである超電導現象を発見してから100年であった。そして、2011年5月に中央新幹線の建設主体の指名が国土交通大臣から東海旅客鉄道株式会社（以下、JR東海）へ出され、いよいよ超電導リニアが夢から現実になる時が近づいた。さらに、（公財）鉄道総合技術研究所（以下、鉄道総研）の前身である国鉄鉄道技術研究所においてリニアモーターカーの研究開発を始めたのが、今からちょうど50年前の1962年であった。本報告では、このような節目の年に当たり、超電導リニアに関する歴史を振り返りながら最近の研究開発成果について概説するとともに、超電導リニア技術の在来方式鉄道への応用に関する研究開発成果を概説する。

2. 浮上式鉄道の研究開発の歴史と最近の基礎研究の動向

浮上式鉄道の推進・浮上・案内方式とキーテクノロジーである超電導磁石と地上コイルについて、開発の歴史を振り返りながら最近の動向について紹介する。

2.1 推進・浮上・案内方式

1962年の研究開始時は、高速鉄道の非粘着駆動方式としてのリニアモーターの適応性が検討されている。図1は、その際に試作された1号機であり、この装置をもとに実用化第一号として国鉄大井工場の車輪旋盤送込用運搬車に採用されたことはあまり知られていない。ただし、超電導磁石を用いた浮上・案内方式については、1966年に米国のパウエル博士とダンビイ博士が米国機械学会誌で発表するまで待たなければならなかった。国鉄は、1970年にこの米国で考案された超電導磁石を用いる電磁誘導浮上方式を採用することを発表し、現在の超電導リニアの基本思想が確立したこととなる。

2年後の1972年には延長220mの走行路（以下、ガイドウェイ）が研究所内に設置された。ガイドウェイの側面に推進コイルが、底面には浮上コイルが敷設されて、超電導磁石を内蔵した実験車が走行した。これが、超電導磁石を用いたリニアモーター推進による電磁誘導浮上走行の世界初の成功である。図2に示すこの実験車は、リニア同期モーター(**Linear Synchronous Motor**)と軌道の長さにちなみLSM200と名付けられた。さらに1972年秋には現在も鉄道総研に展示され

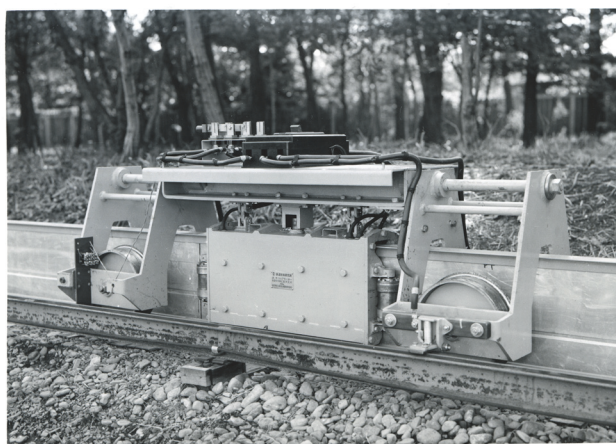


図1 最初のリニアモーター駆動試作1号機

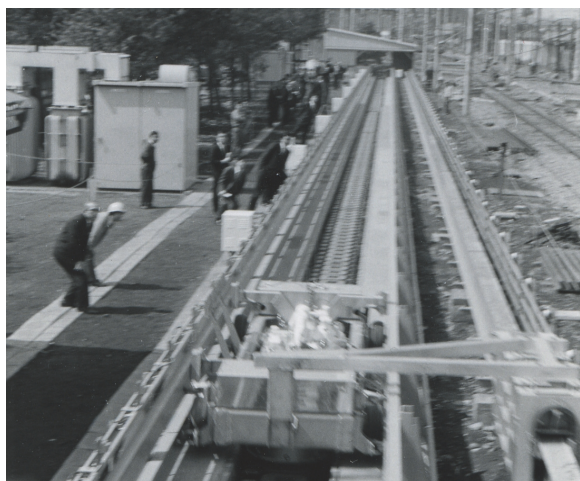


図 2 LSM200



図 3 ML100A

表 1. 浮上式鉄道開発の歴史

車両	導入年	推進方式	浮上方式	案内方式	
LSM200	1972	リニア同期モータ	電磁誘導方式 (対向浮上)	機械式 (ローラ、シュー)	
ML100	1972	リニア誘導モータ			
ML100A	1974	リニア同期モータ		電磁誘導方式 (側壁浮上)	電磁誘導方式 (推進コイルのヌルフラックス 接続)
ML-500	1977				
ML-500R	1979				
MLU001	1981				
MLU002	1987				
MLU002N	1993				

ている ML100 と呼ばれる実験車が公開走行している。これらの実験車は浮上していたものの、案内方式は接触式であり、推進方式も現在と異なっていた。そのような点で現在の超電導リニアの原型となった実験車は、図 3 に示す 1974 年に地上一次リニア同期モータ推進、超電導磁気浮上案内に成功した ML100A ということになるであろう。開発された車両と推進・浮上・案内方式を表 1 にまとめる。磁気浮上方式は、電磁気特性など非線形性が強く、車両運動特性の研究も早い段階から研究テーマとして行われてきた。現在では、模型試験装置による実験的検証やマルチボディダイナミクスの手法を取り入れた解析に取り組んでいる。

2. 2 超電導磁石

1970 年に製作された最初の超電導磁石は、図 4 に示す超電導磁気浮上特性基礎試験装置と呼ばれるもので、浮上力特性の測定に活用された。その後、各実験車に搭載される種々の超電導磁石が作られるが、初期の超電導磁石は浮上だけを受け持つタイプや ML-500 のように推進用と浮上用に別々の超電導磁石を持つタイプなどがあった。現在のような形状となって推進にも浮上にも供するタイプとなったのは MLU001 以降である。

超電導磁石の開発での目標の一つは軽量化である。ML100 においては、超電導磁石の重量 2ton で超電導磁石を含む車両重量 3.5ton を支えていた。車両重量の半分以上が超電導磁石の重量という状態であった。

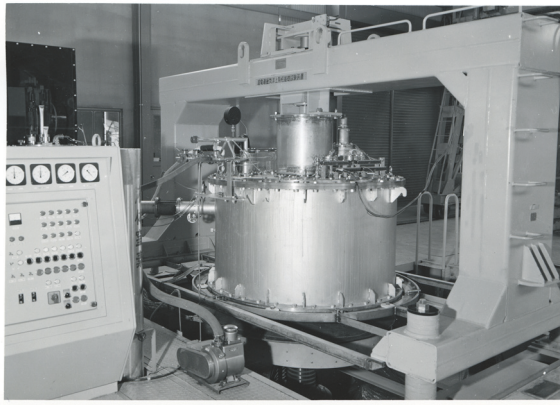


図 4 超電導磁気浮上特性基礎試験装置

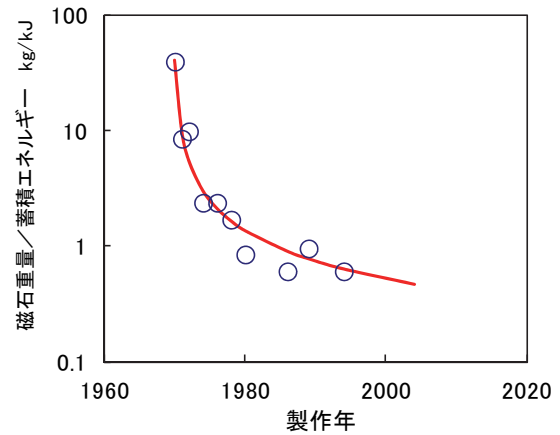


図 5 超電導磁石の性能向上



図 6 宮崎実験線推進コイル

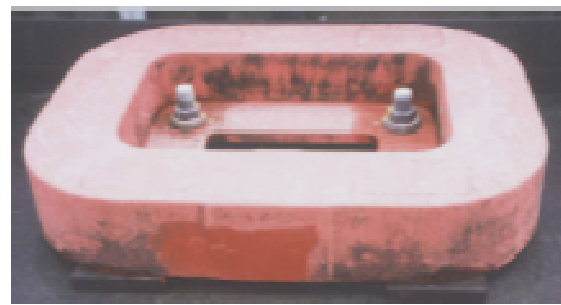


図 7 宮崎実験線浮上コイル

超電導磁石の性能を図 5 にその磁石の蓄積エネルギーと重量の比として示すが、着実に性能向上していることが分かる。2009 年に鉄道総研では希土類系高温超電導線材を用いて超電導磁石を試作した。まだサイズが小さいことや超電導線材の性能の点で現状の超電導磁石に及ばないが、次世代の超電導磁石として期待される場所である。

2. 3 地上コイル

地上コイルを電気機器ととらえて本格的に開発を開始したのは、1979 年からである。リニアモータの研究開始から 10 年以上も経っているのは、図 6 や図 7 に示す宮崎実験線用地上コイルでの設計・製作上の経験や走行試験により得られたデータなどを勘案すると、営業線用の地上コイルの仕様は使用電圧、耐用年数、個数、寸法などの点で宮崎実験線のそれとは大きく性能が異なっていることが明らかになったことによる。鉄道総研では、最近の試みとして巻線コイルに圧縮成形を適用した低渦電流損失地上コイルやメンテナンスに関する技術開発を行っており、システムのランニングコスト低減を目指している。

3. 関連技術の在来方式鉄道への応用

2005 年度から超電導リニアで培った超電導技術やリニアモータ技術を在来方式鉄道に適用すべく種々の研究を行ってきた。本発表会にて鉄道用超電導フライホイールとリニアレールブレーキについては報告があることから、それ以外の主な研究開発について紹介する。

3. 1 SQUID によるレール探傷技術の開発

鉄道用レールには、白色層と呼ばれる効果層が発生することがある。白色層はレール頭頂面の剥離やレールシェリングの原因となることがあるが連続した測定方法が確立していない。そこで、SQUID と呼ばれる高感度磁気センサを用いた連続検査システムの開発を行っている。白色層が測定できることを確認し、屋外用レール検査装置を製作した。今後、耐ノイズ性の向上を図る予定である。

3. 2 車両用空調向け磁気冷凍システムの開発

鉄道車両用の冷房装置の成績係数 COP (Coefficient of Performance) は家庭用のそれと比べても低いものとなっている。鉄道車両の更なる省エネのために現行の気体冷凍に代わる磁気冷凍といわれる新しい方式での冷房装置の開発を行っている。磁気冷凍とは、ある種の強磁性体材料（磁気作業物質）に磁場を印加・除去を行うことにより発熱・吸熱を行う効果を応用するものである。磁気回転型冷凍試験機を製作し、解析と合わせて評価を行っているところである。

3. 3 在来方式鉄道における非接触給電

非接触給電による電力供給は、感電の心配がなく、また非接触であることから摩耗や接触に起因した騒音もなく、さらに保守が簡便であるといった特徴がある。一方、接触集電と比較してエネルギー密度が低く、設備コストが高価となるといった欠点もある。鉄道総研では、在来方式鉄道への非接触給電の可能性を検討している。

3. 4 電磁誘導を利用したベアリングレスモータ

鉄道総研で開発した PLG (combined Propulsion, Levitation and Guidance System) コイルシステムの原理を応用したベアリングレスモータの開発を行っている。従来のベアリングレスモータはいずれもアクティブ制御により実現する機構のものであり、5 軸制御を行うためにインバータを 5 台必要とする複雑なものがほとんどである。開発中のモータは磁気軸受を制御する必要がないため、簡素で信頼性が高く、かつ、低コストの構成ができる可能性がある。

4. おわりに

超電導リニアは、実用化の歩みを着実に進めている。その中で、鉄道総研は国土交通省超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会の提言²⁾を受けて、更なる信頼性の向上やコスト低減などを目指した基礎研究を継続して行っているところである。

また、在来方式鉄道への関連技術の応用に関しても、まだまだ発展途上ではあるものの技術の芽が出て育ちつつあるものと確信している。このような中で、鉄道総研は山梨県と「超電導等を用いた電力貯蔵技術の研究の推進に関する協定」を締結し、フライホイールをはじめとする超電導関連技術等を用いた電力貯蔵技術により、効率的な再生可能エネルギーの利用を目指し、山梨県の進めるエネルギーの地産地消の推進に協力することにしていく。今後とも超電導リニアで培った技術開発を幅広く活用していくことも視野に入れながら、技術開発のポテンシャルを高めていきたい。

なお、今回紹介した技術開発は、一部国庫補助を受けて実施していることを付記する。

参考文献

- 1) http://www.mlit.go.jp/report/press/tetsudo03_hh_000036.html
- 2) http://www.mlit.go.jp/report/press/tetsudo07_hh_000020.html