リニアモータを利用した輸送システムの 現状と展望

特集解説

キーワード

リニアモータ, 車上一次, 地上一次, 磁気浮上, 空気浮上

正員 水 間 毅

交通安全公害研究所

1. はじめに

リニアモータは一次側と二次側が分離し、非接触駆動であるという特色を有しているため、超高速の浮上式鉄道に適用できるというアイデアから、JRマグレブやトランスラピッドの開発計画が生まれ、現在では実用段階に到達している。従って、リニアという浮上式鉄道、特に日本ではJRマグレブと同義に扱われることが多い。しかし、リニアモータの扁平構造、直接駆動による高加減速化といった別の特徴を利用して、都市交通システムや都市内交通システムの代替輸送機関として開発されたシステム（リニア地下鉄、スカイレール）や、浮上式鉄道であっても、超高速ではなく、低騒音性、快適性を利用した都市交通システム（HSST、OTIS）は、リニアインダクションモータ（LIM）をVVVFインバータで制御するという、在来鉄道と同様な方式で走行制御が可能のため、実用化という面では、前者の浮上式鉄道よりも早く実現あるいは実用段階にある。

本解説では、こうした様々なリニアモータを利用した輸送機関の現状、課題、展望を述べることにする。

2. リニアモータを使用した輸送システムの現状

リニアモータを輸送システムに適用する場合、車上一次方式（電源の供給を必要とする一次側コイルを車両に搭載）と地上一次方式（一次側を地上に敷設）に分けられるが、超高速を目指す磁気浮上式鉄道のような場合、駆動のための制御装置を地上に設置できる地上一次方式が、車両重量を軽くでき、浮上のためのエネルギーが少なく、かつ乗車人員を増やすことが可能であるという利点のため、採用されている。その場合、超高速実現のためには、高速域で推進力の低下しないリニアシンクロナスモータ（LSM）を採用することが必要であり、そのためには正確な位置検知、速度制御が必要となる。さらに、走行制御を地上側で行うため、安全確保の方法が、従来の鉄道と異なるため、複雑となる。

一方、車上一次方式は、車両側で駆動を制御でき、LIMを使うならば在来のインバータ制御電車と同様な制御方法が可能であり、簡易に実現できるという特色を有している。但し、車両重量が重くなり、LIMの効率の悪さと相まって走行消費電力が大きくなる。

表1に車上一次方式と地上一次方式の特徴とそれに相応しいリニアモータの種類、交通システム例を示す。

表1 車上一次と地上一次方式

	車 両	地 上	モータ	交通システム
車上一次	走行制御簡易 車両重量大	二次側簡易	LIM	リニア地下鉄 磁気・空気浮上 (HSST, OTIS)
地上一次	軽量化可能 駆動制御装置不要	走行制御複雑 安全確保複雑	LSM LIM	磁気浮上 (JR, TRANSRAPID) スカイレール

（1）車上一次システム

①リニア地下鉄

リニアモータの扁平形状を活かして、車両断面を縮小した車両構造を実現してトンネル断面を縮小し、非粘着性を利用して急勾配を走行可能なため、路線設定の自由度を向上させる等により建設費の低減を図るために開発されたシステムである。図1に車両の断面の概要を示すが、車両の支持・案内は在来の鉄道と同様に車輪とレールで行い、推進を車上一次のLIMで行うシステムである。従って、車両の走行制御は在来鉄道（インバータ制御車両）とほぼ同様に行えるため、簡易に実現できるという特色を有している。

図1 リニア地下鉄の車両断面

Present Status and Prospect on Linear Motor Driven Transport Systems.

By Takeshi Mizuma, Member (Traffic Safety and Nuisance Research Institute, Ministry of Transport).

在来のインバータ制御車両との違いは、リニアモータの場合、推進力の他に吸引力も働くことである。車輪とレールで支持されているので、ある程度の吸引力ならば問題ないが、あまり大きいと軌道にかかる負担が大きくなる。図2に一般的なりニア地下鉄の推力、吸引力特性を示すが、大体吸引力が推力の数倍程度になるよう設定している。

図2 リニアモータ地下鉄の推力、吸引力特性

また、回転形の誘導モータと異なり、ある程度の推進力を得ようとする、すべり周波数が若干大きくなるため効率が低下する。

このシステムは1990年3月に大阪市・7号線で、1991年12月には東京都・12号線で実現され、その後延伸されているとともに、神戸市、福岡市、横浜市で採用が決定されている。

②浮上システム

リニアモータの一次・二次分離、非接触駆動を活かして浮上式鉄道を構成する場合でも、簡易に実現しようとする場合、LIMを使うことがある。この場合、LIMの端効果のため超高速は実現できないが、低騒音性、快適性が実現でき、新しい都市交通システムとして期待されている。

その中で、電磁石による支持・案内を行う磁気浮上式鉄道とエアパッドからの空気の膜により支持を行い、案内は車輪により行う空気浮上式鉄道が実用段階にある。

前者は、HSSTは名古屋の実験線において1991年より走行が開始され、運輸省により実用上問題ない技術を有していると評価されたシステムである。

図3にHSSTの車両断面を示すが、U字型レールと逆U字型電磁石により、浮上力とともに案内力も発生する構造となっている。リニアモータ一次側コイル、走行制御用VVVFインバータを車両に搭載しているため、車両重量が増すが、電磁石の性能向上、制御装置の軽量化等により、乗車定員に制限を生ずる程のレベルには至らない。

運転方法はリニア地下鉄と同様であるが、リニアモータの吸引力が、電磁石の浮上力を増加させる方向に働くので、すべり周波数を一定として、推進力が大きく、吸引力が小さい範囲で使用するためすべり周波数が大きくなる。従って、効率がさらに低下することになる。

図3 HSST 車両断面図

空気浮上システムの例では、日本 OTIS 社が芝山の実験線で走行中のものがあり、新交通システム程度の速度で快適性、静粛性を実現しようとしている。図4に車両の概要を示すが、リニアモータ推進と空気浮上の特色を活かした、新しいタイプの都市交通システムを目指している。

図4 OTIS 社のリニアモータ推進・空気浮上システム

(2) 地上次システム

①JR マグレブ

リニアモータカーといって真っ先に思い浮かべるシステムであり、1977年の宮崎実験線における走行開始から、現在は、山梨の実験線において実用化に関しての最終的な確認走行を実施している。

図5に車両断面図を示すが、車両に搭載した超電導磁石と地上側の浮上・案内コイルとの誘導作用により浮上と案内を行い、その超電導磁石を界磁として、地上側の推進コイルを電機子としたLSMで駆動するシステムである。

図5 JR マグレブ車両断面図

地上一次方式のため、車両は駆動のための制御装置が不要で簡易に構成できるが、地上側の推進コイルに給電するシステムが複雑となり、その安全性確保方法が重要な課題となる。また、超高速（500km/h）を目指すため LSM 駆動となるが、正確な位置・速度検知技術が必要であり、山梨実験線では、新交通システム等で実績のある交差誘導線を利用して位置・速度検知を行っている。

②スカイレール

1998年に広島・瀬野地区で実用された、短距離輸送システムである。

図6にスカイレールの構成概要を示すが、車両は高架構造の軌道桁に懸垂され、懸垂型モノレールのようなが、駅間はロープにより駆動され、駅部では地上一次方式の LIM 駆動により加・減速を行うシステムである。

図6 スカイレールシステム概要

このシステムは、駅部における加・減速スペースを省くために高加減速が期待できるリニアモータを利用し、かつ地上一次方式で、LIM 一次側を間欠配置することにより、車両を簡易に、地上側のコストを安価にしようとした点に特徴がある。

地上一次システムでも、LIM の場合は比較的簡易に制御が行えるが、安全性の確保には各種の配慮がなされており、在来の鉄道の安全確保方法とは異なっている。

3. リニアモータを使用したシステムの課題

リニアモータは、その非粘着性、非接触性、扁平性等の特色を活かした形で輸送システムに適用されているが、より普及させるための課題も残されている。

（1）経済性

リニアモータは一次側と二次側が分離しているために、回転形モータに比してギャップが大きく、効率が低いことが本質的な課題である。

しかし、制御方式の変更やギャップ縮小のための機構の工夫、浮上式の場合、高温超電導体や永久磁石の使用等により、ある程度消費電力量の低減が可能であり、今後こうした研究も進められていくものと思われる。

（2）保守性

リニアモータ自身は非接触、非粘着駆動のため保守は不要であるが、リニアモータを駆動する機構（アクチュエータ）や関連する機械的機構の保守に関しては、在来鉄道での経験がないため課題としてあげられる。

例えば、常電導磁気浮上式鉄道において、リニアモータと車体を接続する機構の強度やリニアモータの吸引力と電磁石の吸引力が反対方向に働く軌道の固定方法等は、どのようにチェックしていくのを含めて、今後の経験の蓄積が必要であると思われる。

4. リニアモータを使用したシステムの展望

様々な利点と若干の課題を有するリニアモータではあるが、現在は、利点を活かす形での開発が中心となっている。しかし、従来からの鉄道の技術進歩も目覚ましく、リニアモータの有利性が少なくなっている分野（高速化、低騒音化）も出てきている。従って、今後は、リニアモータの課題を克服すべき技術開発も重要となってくると思われる。即ち、超高速を目指す JR マグレブでは経済性を、都市交通浮上式鉄道のようなシステムでは保守性をより改善して、在来鉄道との差を埋めていく必要があると考えられる。今後は、トータルとして、どのシステムが相応しいかの検討が重要であり、利点を協調しつつも課題をある程度克服したシステムの開発が望まれる。

5. おわりに

以上、リニアモータを利用した輸送システムの現状と課題について述べたが、リニアモータを輸送システムに適用する場合、公共輸送として要求される要件が多いため、産業用のように直ちに実用化されるということではなく、試験線でのデータ収集、安全性確認を経て、システムが大規模になればなるほど実用化までの時間が長くなる。しかし、こうしたプロセスを経て実用化されると、リニア地下鉄のように、次々に実用化の計画が本格化する等、その実用性に広がりが増すことが多い。従って、現在、各地で実験が続けられているリニアモータを利用する輸送システムも、時間的な制約をある程度気にせず、安全重視で続けていけば、必ず実用化の時期が来て、また、一旦実用化すればその後も普及していくと信じて開発が続けられることを望む。

（平成 12 年 1 月 25 日受付）

水 間 毅

（正員） 昭和 30 年 5 月 30 日生。昭和 59 年 3 月東京大学大学院工学系研究科電気工学専門課程博士課程修了。昭和 59 年 4 月運輸省・交通安全公害研究所入所。新しい交通システムに関する技術評価、リニアモータに関する安全性評価法の研究に従事。工学博士。