

第12回

超電導磁気浮上式鉄道の ガイドウェイ

ガイドウェイとは

「ガイドウェイ」を辞書で調べると、新交通システムなどで用いる車両の誘導路、とあり、本来は機械用語で案内面・滑り溝の意、とあります。ここでは、国鉄時代から鉄道総研に継承され、開発が進められている超電導磁気浮上式鉄道のガイドウェイについて、その変遷と開発の経緯について紹介します。ところで、そのガイドウェイですが、そのタイプは実に様々なものがあります。断面形状で見た場合の一例を図1に示します。新交通システムも含まれますので、モノレールやガイドウェイバスのような乗り物の走行路も含まれます。T型はドイツのトランスラピッド、箱型は跨座式のモノレール、U型は新交通システムやガイドウェイバスなどで採用されています。

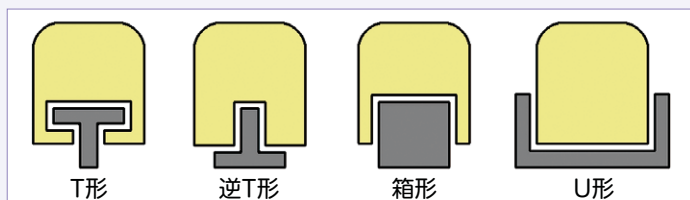


図1 ガイドウェイ断面形状の一例



図2 フランスのアエロトランとガイドウェイ

出典：By Henry Salomé (Own work (Photo personnelle)) [GFDL, CC-BY-SA-3.0 or CC-BY-SA-2.5-2.0-1.0], via Wikimedia Commons

研究会の発足¹⁾

鉄道技術研究所の一角でリニアモーターの研究が開始されたのは、東海道新幹線が開業する2年前の昭和37年のことでした。東海道新幹線の研究開発を進める過程で、その速度の限界が明らかになり、より速度を上げるためには別の駆動方式が必要と考えられるようになったためです。ここで検討を重ね、高速性や保守性、騒音等の公害、将来性を勘案して、空気浮上など多くの候補の中から最終的に選択されたのが「超電導磁気浮上式鉄道」でした。

その超電導磁気浮上式鉄道の検討が鉄道技術研究所で行われるようになったのは、東海道新幹線開業後の昭和41年のことでした。当時は「超高速鉄道」という表現が用いられ、研究会の形で始められました。ガイドウェイに関しては速度とともに、その建設精度の向上が必要とされることから、どのような方式を取るとしてもその建設費が投資全体の中で極めて大きな部分を占めることは想像に難しくない、と資料に記され、コストの面で大きなウエイトを占めることを認識していたこと

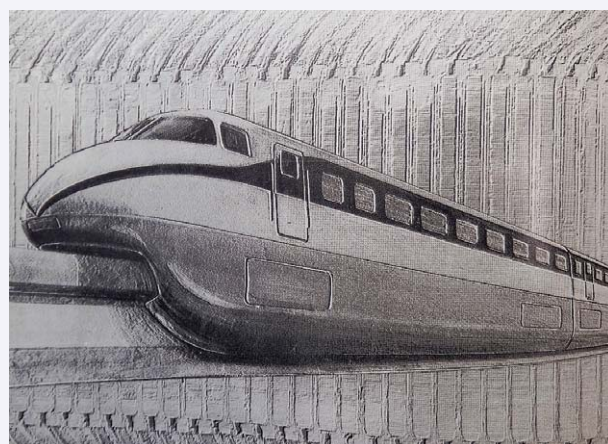


図3 リニアモーターカー完成予想図

出典：技研ニュース、1969年4月号

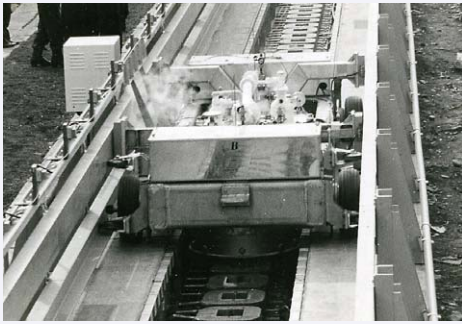


図4 LSM200とガイドウェイ

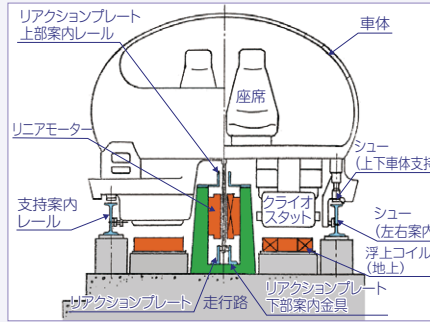


図5 ML100とガイドウェイ



図6 国立研究所に残るガイドウェイ

【 国立研究所におけるガイドウェイ 】

大量輸送方式への検討が研究会で進められる中、国立研究所に実験線を敷設し、実際の走行試験も並行して行われました。昭和47年3月に超電導磁気浮上LSM (Linear Synchronous Motor / 単相) 推進の走行実験車LSM200が完成し、初めての電磁誘導による浮上走行に成功しました。このLSM200の200は、ガイドウェイ長さが200mであることにちなんで名付けられたもので、超電導磁気浮上式鉄道初のガイドウェイと言えます。このガイドウェイは、図4に示すようにどちらかといえばU型に近い構造となっています。ガイドウェイ底面には浮上コイル、側面には推進コイルを設け、このガイドウェイを超電導磁石を内蔵した箱型の実験車が走行しました²⁾。

がわかります。そのため、各方式の超高速鉄道に関する調査を行い、必要とされる項目(性能仕様)や目標値について検討されました。その中で、特に検討項目として参考にされたのが、当時建設・検討が進められていた山陽新幹線、図2に示すフランスのアエロトランと呼ばれる空気浮上式鉄道、アメリカのグライドウェイシステム、T.A.C.V (Tracked Air Cushion Vehicles) などでした。この中でも、山陽新幹線とアエロトランに関しては検討項目や実績値を比較し、超電導磁気浮上式鉄道ガイドウェイに関する目標値が設定されました。その目標値は最小曲線半径、縦曲線、ガイドウェイ構造物の物性・整備限度など多岐にわたりました。このほか、高架橋走行時の動的応答、角折れ走行時の車両特性、段落ちに対する計算など多角的に検討が進められ、営業線を意識した目標値が設定されました。

図3のイラストは、昭和44年度の鉄道技術研究所が発行していた「技研ニュース」の表紙で、解説には鋭意研究を進めているリニアモーターカーの完成予想図と、これの心臓部であるリニアモーターの写真を組み合わせたもの、と書かれています。当時はモノレールのガイドウェイを想定したのでしょう。

昭和47年は日本の鉄道開業100周年に当たっており、その記念事業の一つとして超電導磁気浮上車の走行を公開することとなりました。ここで開発されたのがML100と呼ばれるもので、国立研究所構内に設けられた延長480mのガイドウェイを最高速度60km/hで浮上走行しました。卵型形状の車両は、未来の乗り物をイメージするには十分で、読者の皆様でもこの車両に見覚えがある方も多いのではないのでしょうか。このガイドウェイ断面は図5に示す通り、中心部にリニアモーターの一次コイルが縦方向に配置され、その両側の床面に浮上コイルが敷設されるという逆T型の断面となっていました³⁾。このML100は、デモンストレーションを主目的としたため、推進にはインダクションモーターを採用したものです。そこでこのシステムを進化させ、推進コイルに案内機能を持たせたのがML100Aで、逆T型突起部の両側に設置している推進コイル同士を接続させ、ヌルフラックス機能を持たせることで案内力が発生し、完全非接触走行が可能となりました。このシステムが次の宮崎実験線のシステムのベースになりました。なお、このガイドウェイは、地上コイルや給電設備などは撤去されましたが、一部区間でその形状を今なお残しています。(図6)

これら走行試験と並行して、実際のガイドウェイがどの程度の強度を有するかを確認するため、ガイドウェイ試験装置が設けられました(図7)。逆T型ガイドウェイなど桁長10mまでの任意の位置で鉛直方向、水平方向に荷重を掛け、実際の車両重量が加わった状態や案内方向の力が加わった場合などの模擬試験を行いました⁴⁾。

宮崎実験線のガイドウェイ

国立研究所に設置されたガイドウェイでは、目標営業速度の500km/hを達成することはできません。このため、延長7kmが確保できる宮崎県日向市～都農町にまたがる日豊本線沿いに新しい実験線が建設されました。この地域は平坦な地勢が続いているため、全線高架橋により敷設されました。単純桁あるいはラーメン桁と呼ばれる高架橋上に、図8に示すような中央突部のコンクリートを設置した逆T型のガイドウェイとなっています。コンクリートの上部には案内路鋼体と呼ばれるH鋼が設置され、案内輪がH鋼を抱き込むようにして車両をガイドします。走行路となるスラブや側壁には、磁気の影響をなるべく少なくするために低磁性鉄筋を使用するなどの工夫もされていました。逆T型ガイドウェイは昭和52年7月に完成し、このガイドウェイをML500やML500-Rが浮上走行を行い、昭和54年12月、ML500が当時の世界最高速度517km/hを樹立しました。

U型化改造工事

当初逆T型で実験を開始した宮崎実験線ですが、この構造では客室となる部分が逆T型突起部の上に配置せざるを得ず、重心が高く、また断面積も大きくなってしまい、高

速走行には適しません。客室空間の確保と断面内に超電導磁石を納めて低重心化のため、当初からU型断面に改造する予定でした。宮崎実験線は、将来のU型化改造を見越して中央凸部内の鉄筋を容易に切断できる構造や基準路・走行路スラブなどは再利用できるように設計されていました。そして中央突起部を撤去、撤去部のコンクリート打設、側壁の構築などを行い、U型化改造を行いました。改造工事は昭和57年5月に完了し、図9に示すようにMLU-001による走行実験が開始されました。改造工事は3区間に分けて徐々に延長されましたが、最初の区間4.1kmについては、わずか7ヶ月という短期間で改造が行われました。U型化改造を見越した構造・仕様になっていたとはいえ、その施工スピードには驚くものがあります。やはり速い乗り物を意識して、工事もスピードアップしたのでしょう。

側壁の検討⁵⁾

U型改造化された当初は対向浮上方式と呼ばれ、浮上コイルはガイドウェイ走行路面に取り付けられていました。しかし浮上案内コイルを側壁に配置して浮上・案内力を得る側壁浮上方式(図10)が検討されるようになると、合理的なガイドウェイの側壁として、ビーム方式とパネル方式が検討されました。これは、今までの現場で施工された側壁に地上コイルを取り付けるのではなく、予め工場のようなヤードで側壁に地上コイルを取り付け、運搬車で現地へ運び込み、壁ごと固定する方法です。ビーム方式は壁全体を構成するもので、一方、パネル方式は壁の一部分を現場で施工し、そこにパネルを取り付けます。いずれも宮崎実験線の一部で施工し、製作過程や車両通過時の振動特性などを確認しました。これらの結果は山梨実験線にも反映されました。

宮崎実験線ではこの他にもコスト低減を意図した低剛性



図7 ガイドウェイ試験装置



図8 宮崎実験線逆T型ガイドウェイ



図9 宮崎実験線U型ガイドウェイ



図10 対向浮上区間(手前)と側壁浮上区間(奥)

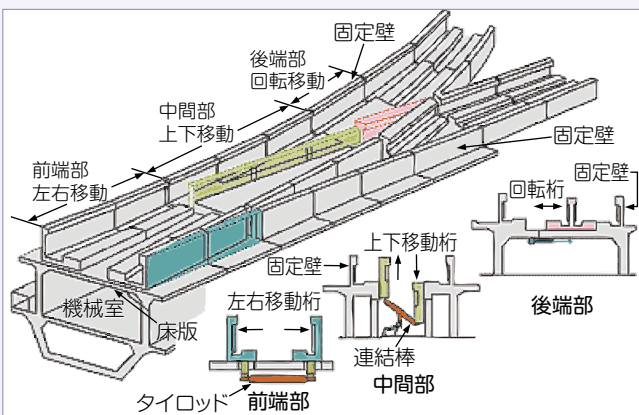


図11 側壁移動分岐装置

桁の設置や、トラバーサー分岐装置の建設など、将来の営業線に向けての各種試験や検討が行われました。宮崎実験線の実験期間は昭和52年7月から平成8年9月までの19年2カ月の長期間にわたりましたが、その成果は山梨実験線へと引き継がれていくことになりました。

山梨実験線へ

宮崎実験線で得られた成果をもとに、山梨実験線の仕様が決定されましたが、ガイドウェイに関してはU型断面の側壁浮上タイプということで、宮崎実験線と構造上大きな違いはありません。施工に関しては、延長18kmで複線構造と規模が大きくなったため、側壁を運搬するためのビーム運搬車・仮設車などの大型作業車が登場し、作業効率が向上しました。

分岐装置は宮崎実験線で設けられたトラバーサータイプのほか、側壁移動分岐装置(図11)と呼ばれる、ガイドウェイの側壁部分のみを上下動させて進路を形成する、始末端駅での車両の入出線への適用を想定した低速区間用の分岐装置も設置されました。

宮崎実験線で敷設・検討されたビーム方式・パネル方式などの側壁のタイプは、山梨実験線にも継承され各方式において比較・検討がされました。一方で、より施工性や安定性、経済効果に優れた自立型ガイドウェイと呼ばれる方式も新たに採用されました。これはその名のとおおり、側壁の下部が膨らみ、安定した形状となっています。

おわりに

以上、駆け足で超電導磁気浮上式鉄道のガイドウェイについてその経緯・変遷を紹介しました。超電導磁気浮上式鉄道の花形である超電導磁石や車体に比べると、非常に地味な存在ですが、その中身は長年にわたる不断努力と研究の成果がたくさん詰まっています。そして更なる安全性や耐久性、そしてコスト低減を目指した研究・開発は地道ながらも続いています。

ここでは、ガイドウェイに設置される地上コイルについては全く触れることができませんでした。ガイドウェイの歴史は、地上コイルの歴史といっても過言ではないほどに密接な関係があります。これについては、また別の機会で紹介したいと思います。

(高橋紀之／浮上式鉄道技術研究部 電磁路技術研究室)

文献

- 1) 浮上式(超高速)鉄道に関する研究：鉄道技術研究報告，鉄道技術研究所
- 2) 超電導リニアモーターカー：交通新聞社，1997
- 3) 超電導磁気浮上試験装置：鉄道技術研究資料，vol.29, No.10, 鉄道技術研究所
- 4) 鉄道線路：日本鉄道施設協会，1974.3
- 5) 磁気浮上式鉄道の技術：オーム社，1992.9