

第56回

浮上式鉄道の地上コイル

はじめに

地上コイルは、超電導磁気浮上式鉄道において車両に搭載した超電導磁石と同様に、なくてはならない存在です。地上コイルがなければ、車両は進むことができません。そのため地上コイルは、車両が走行する全線にわたって敷設する必要があります。今回は、浮上式鉄道を地上から支える縁の下の力持ちのような、地上コイルについて説明します。

地上コイルの種類

地上コイルには大きく分けて3種類の役割があり、各々の名前もこの役割に由来しています。一つは車両を浮上させる役割を果たす「浮上コイル」、車両を軌道に沿って走らせる「案内コイル」、そして、車両のアクセル・ブレーキ役となる「推進コイル」の3種類の地上コイルを組み合わせて使用します。地上コイルは一般的にはコンクリート製のガイドウェイと呼ばれる構造物に締結ボルトを介して固定されていま

す。ここで想像してみてください。浮上コイルは、10t以上もある車体を地上側から支え、浮上させる役割を担っていますし、推進コイルは、車両を500km/h以上で走行させるための力を発生させなければいけません。案内コイルはこうした走行条件の中で、曲線においても車両を安定的に走行させる必要があります。地上コイルはこれら全ての力に対し十分に耐えることが必要です。そうしてみると、地上コイルには頑丈なものが必要であることが容易にわかるでしょう。

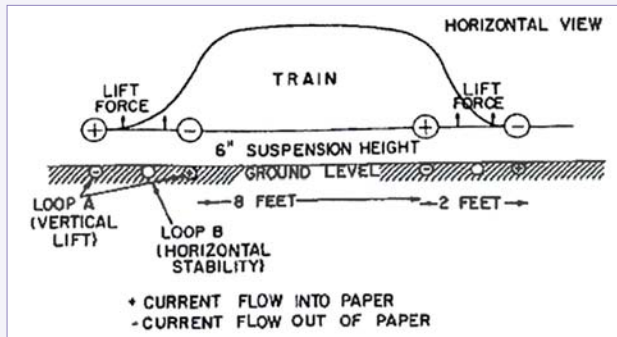


図1 パウエルとダンビーが提案した磁気浮上鉄道の概念図¹⁾
 Reproduced by courtesy of ASME,
 J. R. Powell and G. T. Danby, High-Speed Transport by Magnetically
 Suspended Trains, ASME Winter Annual Meeting, 66-WA/RR-5, 1966.



図2 所内の走行試験 (ML 100) における地上コイル



図3 ML 100A

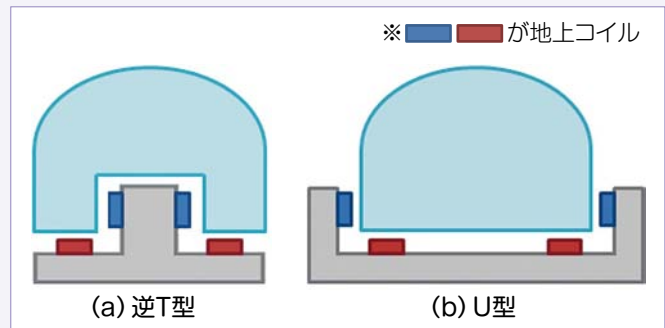


図4 ガイドウェイ形状と地上コイルの配置例



図5 コンクリート埋め込み式の地上コイル



図6 RIMコイル

最初は浮上、そして推進¹⁾²⁾

リニアモーター推進浮上式鉄道の研究開発は、鉄道総研の前身である旧国鉄鉄道技術研究所（以下「技研」）で1962年に始まりました。開発当初は推進方式や浮上方式に関して検討が行われ、東京～大阪間を500km/hで走行し、1時間で到着するにはリニアモーター推進と浮上式鉄道の組み合わせが有効であろうと考えられていました。その後、1966年にパウエル(J.R.Powell)とダンビー(G.R.Danby)により、この考えを実現可能な超電導磁石と電磁誘導方式を用いて車両を浮上させ走行させる、磁気浮上式鉄道のシステムが提案されました(図1)。技研では、この超電導磁気浮上式鉄道システムの開発にまず取り組むこととなりました。当初は、鉄道車両のような大きな物体を浮上させる超電導磁石はなかったため、超電導磁石そのものの開発から始まりました。そして1972年に初の試験走行車両ML100が作られました。ML100のシステムにおいて、地上側でコイルの形状をしているものは浮上コイルのみで、推進はアルミの板、案内は台車のシュー(鉄のそりのような形状をしたもの)により行っていました(図2)。その後、1975年に試験走行台車ML100A(図3)において、全ての地上側の役割を地上コイルが担った状態での完全非接触浮上走行に成功

しました。全ての役割を備えた地上コイルを配したML100Aのシステムが、現在の浮上式鉄道の地上コイル構成の原点と言ってもいいかもしれません。

地上コイル構成の選択肢³⁾

地上コイルの研究開発にあたっては、必要な性能の確保はもちろんですが、地上コイルを取り付けるガイドウェイの形状、取り付けの施工性、コスト、現地での施工上の制約などの複雑な条件を考慮する必要がありました。これらの検討のため、社団法人日本鉄道技術協会に設置された磁気浮上研究委員会により、1976年に地上コイルの構成と最も密接な関係があるガイドウェイ形状について、逆T型、U型の2種類の形状のガイドウェイと地上コイル構成が提案されました(図4)。1977年に走行実験が開始された宮崎実験線では、初期には逆T型が、1980年からはU型のガイドウェイが採用されました。

黎明期から将来を見据えて⁴⁾⁵⁾⁶⁾

宮崎実験線での走行実験が始まる一方で、技研内でも将来の営業線を見据えた研究開発が進められました。営業運転を考えると、電気設備や超電導磁石の性能の制約上、地上コイルの耐電圧(電気的な負荷に対する性能)を上げることが不可避でした。そこで、宮



図7 PLGコイル

崎実験線で使用している地上コイルの数倍の高電圧に耐えるコイルの開発を行うこととなりました。この時点ですべてに、現在の営業線で想定されている高い電圧をターゲットとした研究開発が始まっていたのです。これら検討においては、既存の構造にとらわれず、たとえば図5に示すように、ガイドウェイのコンクリートに地上コイルを埋め込んだ埋め込み式地上コイルも検討、試作され、評価試験が行われました。また、研究開発が国鉄から鉄道総研へ継承された後も、低コストで安定した強度を確保することができRIM(Reaction Injection Molding: 反応射出成形)コイル(図6)や、推進、浮上、案内の全ての役割を1個のコイルで兼用することができるPLG(Propulsion: 推進, Levitation: 浮上, Guidance: 案内)コイル(図7)などが検討、試作され、各種の性能を検証する試験に供されました。

地上コイル構造の転換点⁷⁾

宮崎実験線における走行試験の大半は、浮上コイルをガイドウェイ底面に取り付けたい向浮上方式で試験を行っていました(図8(a))。その後、ガイドウェイ側壁に浮上コイルを取り付け、低速域での磁気抗力(車両の走行時に発生する車両の推進を妨げる抵抗抗力)を減らすことが可能な側壁浮上方式(図8(b))を採用し、より効率的な走行が可能となりました。加えて、対向浮上方式では推進コイルと案内コイルが兼用(推進案内コイル)でしたが、側壁浮上方式では浮上コイルと案内コイルを兼用する(浮上案内コイル)ことで、高電圧が掛かるコイルが推進コイルのみとなり、浮上案内コイルの接続ケーブルの構造を簡易にすることができます。この側壁浮上方式は、まず確認段階として宮崎実験線の一部の区間に導入され、性能が検証されました。図9に側壁浮上コイルのプロトタイプの数設状況を、図10に宮崎実験線で側

壁浮上方式が導入された際の浮上方式の切り替わり区間を示します。側壁浮上方式とすることで、先述のメリットだけではなく走行路面上の構造をシンプルにすることができました。これらの検証結果をもって、山梨実験線には側壁浮上方式を採用することとなりました。

山梨実験線での走行試験

そして、1997年に山梨実験線へ走行試験の舞台は移ります。長大編成での500km/hの走行試験を行うにあたって、山梨実験線の初期においては、推進方式として超電導磁石への電磁気的な外乱の少ない推進コイルを重ねた二層推進方式(図11(a))が採用されました。並行して、地上コイルのコストダウンの取り組みとして、推進コイルを一層にした単層推進(図11(b))コイルが山梨実験線初期の一部区間に導入されました。そうして山梨実験線での走行試験を進める中で、2003年には当時有人走行において世界最速と

なる581km/hを達成しました。

その後の超電導磁石の性能向上により、単層推進コイルによる超電導磁石への外乱の影響が小さいことが確認され、山梨実験線においても単層推進方式を適用するめどが立ちました。

現存する最古の地上コイル

鉄道総研の構内にあった所内実験線の地上コイルは2007年に撤去され、コンクリート製のガイドウェイのみが残されています。宮崎実験線での走行試験も1996年に終了していますが、現在でも一部区間に地上コイルが取り付けられ、長期間経過後の地上コイルの様態の変化を表すものとして、貴重なサンプルとなっています(図12)。これらのコイルは設置から約40年が経過しており、現存する最古の地上コイルと言っても差し支えないでしょう。

地上コイルの将来を見据えて⁸⁾

これまでの地上コイルの改良の成果に対しては、2009年に国土交通省の超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会が「安全性・信頼性を確保した上で所要の性能を有し、その上でコスト低減が図られることを確認した」と評価しています。また、地上コイル検査について、「実用化に必要な技術や運営方法の確立の見通しがあると判断で

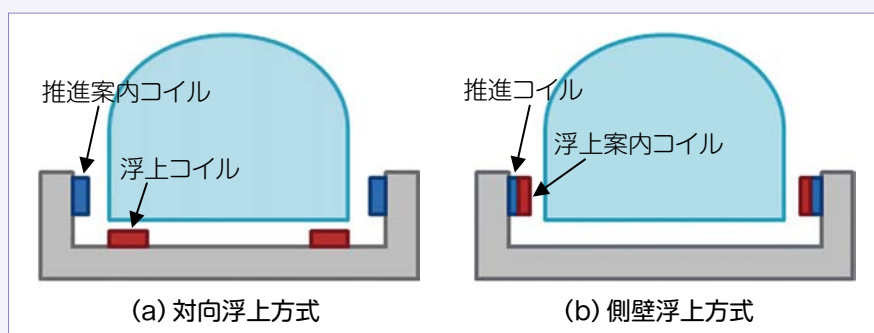


図8 浮上方式の変更



図9 側壁浮上コイルのプロトタイプの数設状況



図10 宮崎実験線の対向浮上方式から側壁浮上方式への切り替わり区間(手前:対向浮上方式, 奥:側壁浮上方式)

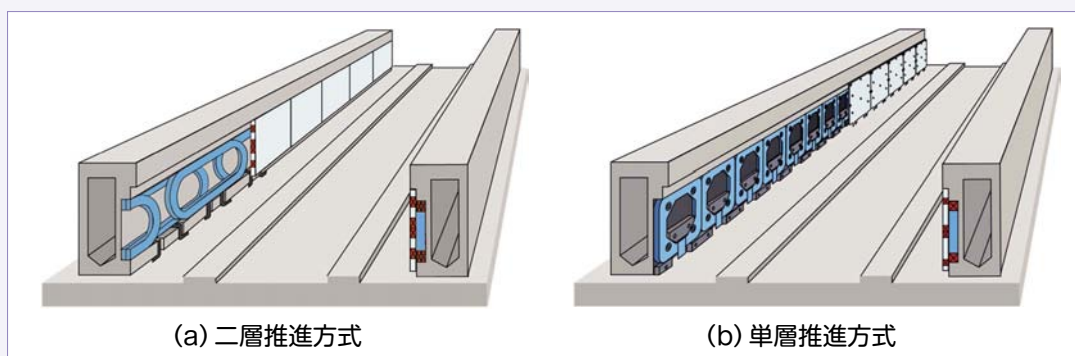


図 11 推進コイルの配置方式



図 12 宮崎実験線に存置されている地上コイル
(2016年3月撮影)

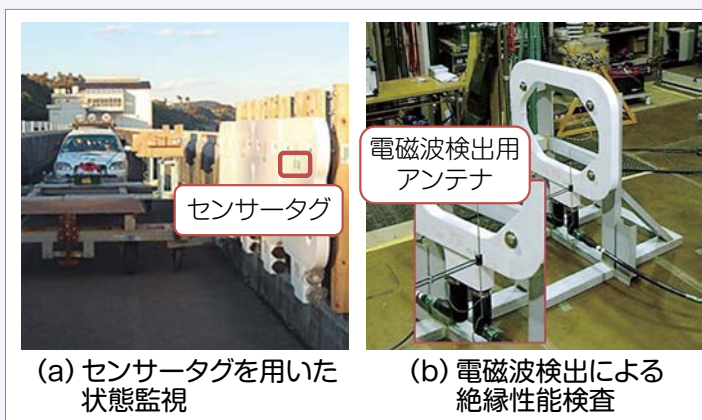


図 13 地上コイル保守管理の研究開発

きるが、さらなる保守作業の軽減に有効な保守用車を活用した検査について引き続き検証を行うことが望まれる」と評価がなされ、将来の保守管理の重要性に対する指針が示されました。

地上コイルの保守管理⁹⁾¹⁰⁾

最後に、地上コイルの保守管理を効果的に行う手法として、鉄道総研で行っている基礎研究を紹介します。一つ目は、図 13 (a) に示す状態監視です。センサータグを用いて地上コイルの温度や加速度などの異状の有無を検出し、状態把握を行うことを目的としています。もう一つは図 13 (b) に示す絶縁性能検査です。地上コイルの絶縁性能が低下した際に放射される電磁波をアンテナで検出することにより、絶縁性能をオンライン、非接触で検査する手法です。

おわりに

今回は地上コイルの開発経緯について、車両やガイドウェイ構造の変化とともに紹介しました。地上コイルはガイドウェイ全線にわたり大量に取り付けられ、長期間使用されるため、将来

の営業線では、これら地上コイルの効率的な保守管理が、より重要な役割を果たしていくこととなるでしょう。

(太田聡/浮上式鉄道技術研究部
電磁システム研究室)

文献

- 1) J.R.Powell and G.T.Danby, ASME Winter Annual Meeting, 66-WA/RR-5, 1966
- 2) 鉄道総合技術研究所：超電導リニアモーターカー, pp.19-27, 交通新聞社, 1997
- 3) 日本鉄道技術協会：浮上式鉄道の車体支持および推進方式の研究－車体支持方式の研究－, pp.27-30, 日本鉄道技術協会, 1976
- 4) 藤原俊輔, 鈴木正夫, 藤江恂治：浮上式鉄道用地上コイルの開発 (3), 鉄道技術研究所速報, No.A-87-167S, pp.15-18, 1987
- 5) 鈴木正夫：地上コイルのコスト低減, RRR, Vol.58, No.9, pp.11-14, 2001
- 6) 饗庭雅之：日の字PLGコイルの開発, RRR, Vol.62, No.3, pp.26-29, 2005
- 7) 澤田一夫：超電導磁気浮上式鉄道－対向浮上から側壁浮上へ－, RRR, Vol.62, No.1, pp36-37, 2005
- 8) 超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会：超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価 (<http://www.mlit.go.jp/common/000046104.pdf>), 国土交通省, 2009
- 9) 田中実, 高橋紀之, 池田遼平, 依田裕史, 鈴木正夫：車載型地上コイル温度監視装置の開発, 第22回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, No.1215, 2015
- 10) 太田聡, 依田裕史, 池田遼平：多数個の推進系地上コイルを対象とした効率的な非接触絶縁診断手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.29, No.11, pp.23-28, 2015