



いよいよ浮上するリニアモーターカー

中島 洋

Hiroshi Nakashima

(財)鉄道総合技術研究所浮上式鉄道開発本部技師長

Maglev System Will Start to Levitate Soon

1 はじめに

昭和37年と言えば、新幹線の開業2年前である。そのころから、国鉄の研究所では未来の高速鉄道の心臓部としてリニアモーターの開発が始まっていた。いまでこそ、リニアモーターは地下鉄にも利用され、産業分野でも種々の形で活躍するようになっているが、当時の状況からすれば研究着手したことは先見の明があったといえるだろう。

以降30余年の間、いろいろな経緯があったが、500km/hの高速鉄道を実現させようとする源流は途切れることなく続き、大きな広がりを見せるようになった。当初から、車両を浮上させてすべるように走る鉄道を夢見たこの流れは、昭和45年頃に超電導磁石を使用した磁気浮上式鉄道の開発へと主流を選択した。

当時の超電導磁石は、ようやく大型化への道を歩み始めた頃とは言え、車両に搭載することを目標にするなど、有り得ないと考えた人の方が圧倒的に多かった時期であった。以降いつの間にか1/4世紀が経過したが、これらの成果の結集として、山梨県に新たな実験線を建設し開発の最終ステップに入ろうとしている。

山梨実験線の工事は、用地買収に伴う遅れは発生したものの、現在精力的に建設工事が進められており、走行実験に使用する車両もこの7月に現地に搬入した。

ここでは、浮上式鉄道の原理ならびに最近の開発状況について紹介する。

2 浮上式鉄道の原理

2.1 浮上・案内の原理

本浮上式鉄道の特徴は、車上に超電導磁石を搭載して電磁的な力によって車両を浮上して走行させることを目的としていることである。

磁力によって浮上させる方法として、最も身近なものは永久磁石同士と同じ極を近づけて反発させる方法である。この方法は、極めて簡単であり一般にも分かり易いが、実

は永久磁石同士では完全に安定した浮上は得られない。どのような配置をしても、手を放せば移動してくっついてしまうのが永久磁石による浮上である。(昨年に発売された玩具で永久磁石を独楽として回転させることにより、永久磁石同士で完全浮上を実現させたものはある。上記表現は回転体としての永久磁石を対象外とした表現である。)

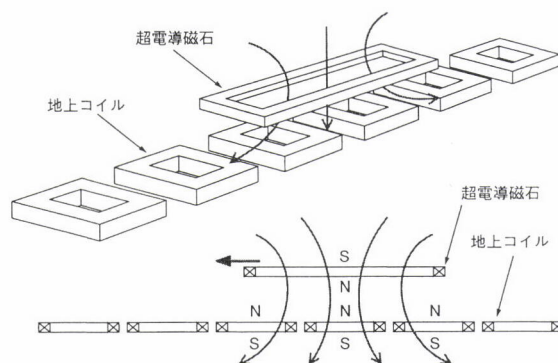


図1 磁気浮上の原理

ここに紹介する浮上方式は、電磁誘導現象を利用している。図1は、この浮上方式の基本原則を示している。超電導磁石が地上コイルに接近すると、超電導磁石の持つ磁束が地上コイルに貫通しようとする。この時、地上コイルへの磁束の侵入を妨げるように地上コイル内に電流が誘起(電磁誘導)される。この結果、地上コイルは接近した超電導磁石と同じ極が向かい合うように磁化され、超電導磁石との間に反発力が働くことになる。

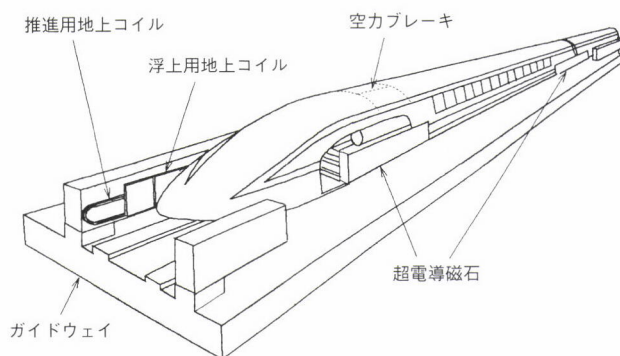


図2 山梨実験線の構成概念

車両のような重量のあるものを浮上させるには、車上に搭載する磁石が十分に強力なものであることが要求される。本システムで超電導磁石を採用する理由である。

この基本原理に対して、現実の浮上システムは、もう少し分かりにくくなっている。図2は、山梨実験線で採用される地上コイルと車両の概念を示している。

地上コイルが水平な地面にあり、浮上力を受けるコイルが真上にある場合には分かりやすいが、現在の考えかたは、図に示すように地上に配置する浮上用コイルはガイドウェイの垂直な側壁面に取り付けられている。

詳細の原理説明は省略するが、基本的原理は同じである。側壁に取り付けた地上コイルは上下に二つのコイルに分割されており、上下のコイルが逆接続されている（結果的に8の字のイメージ）ことが特徴である。こうした配置によって、地上コイルに流れる電流をより有効に利用することができ、優れた浮上特性を得ることができるようになっている。

また、図には示していないが、左右の地上コイルは、発生する電圧がお互いにキャンセルするように接続されている。車両が中心位置から左右にずれた時には、地上コイルに発生する電圧に差が生じて、左右のコイルに循環電流が流れる。これによって、車上の超電導磁石を中央に戻す力が電磁氣的に発生する。これが案内の原理である。

2.2 推進の原理

浮上した車両を推進させるためには、当然のこととして地面との接触なくして推力を伝えることが必要である。この要求を満足する推進方法は意外と少ないのが実態である。

ここで登場するのがリニアモーターである。

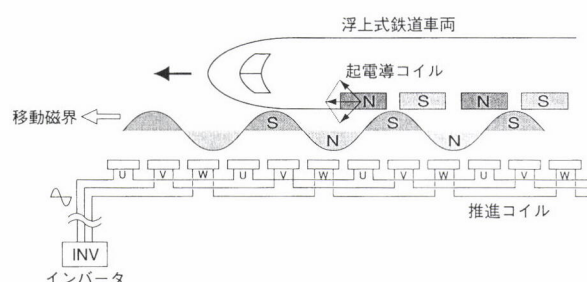


図3 推進の基本原理

実際に使用しているのはリニアシンクロナスマーターと呼ばれる方式である。特に、浮上に使用するのと同じ超電導磁石を有効利用していることが特徴となっている。超電導磁石を利用することによって、地上に配置した推進用コイル周辺の磁場を十分に確保できるために、地上設備との間に100mm程度の空間を確保した状態においても良好な効率を得ることができる。

図3は、推進系の基本的原理を示している。すなわち、地上に配置した推進用のコイルに電力変換器（インバータ）

から3相交流を供給する。これによって、地上に移動磁界を発生させることができる。この移動磁界のピッチは、地上コイルの配置によって決定されるが、車上の超電導磁石の配置ピッチと一致させてある。

電力変換器から供給する交流電流の周波数と位相を調整することによって、移動磁界の速さと超電導磁石との相対的位置を調整する。これによって、超電導磁石は丁度サーファーが波に押されて高速で移動するように、超電導磁石が移動磁界に押されて推進することになる。超電導磁石との相対位置を調整することによって、強力なブレーキ（回生ブレーキ）として作動させることもできる。

3 開発の経緯

本システムに関する構想が整理されると同時に、実際に浮上して走行させる車両の設計・製作および試験が実施された。

昭和46年に製作された最初の試験装置は、水平に回転する円板上に地上コイルを固定し、円板上方に超電導磁石を設置したものである。円板を回転することによって超電導磁石に発生する浮上力を測定することによって、解析結果との比較を行った。

この装置で得られた浮上力は約200kgであった。一方、超電導磁石の全体重量は2000kgであった。理論通りの浮上力が確認できると評価できた反面、反対意見を唱える人々にとっては、どうしてこれで車両が浮上するのかとの批判も出たものである。

その後は、実際に浮いて走る車両の製作に入り、紆余曲折はあったものの、徐々にその可能性が実証されていくことになった。

当時は、超電導磁石は腫れ物に触るようなもので、その励磁（電気を流して磁石状態にする作業）もしくは消磁に当たっては、関係者はくしゃみ一つも許されないような張り詰めた雰囲気の中で行ったものである。

昭和52年までの各種走行実験は、研究所の構内に長さ400m程の走行路を設けて行ってきたが、これらの成果が実を結び、宮崎県の日向市に7kmの実験線を建設することが決定され、昭和52年に走行実験が開始された。

最初の車両はML-500と名付けられた。この名称は500km/hを目指す意気込みを示すものであった。空気抵抗による車両の浮き上がり、磁石の振動の発生等、種々の問題を解決させながら、昭和54年には517km/hの記録を達成したものである。

その後、乗客スペースを確保した車両での走行確認をすべきであるとの考えから、ガイドウェイ及び車両の構成を一変して、新しい車両MLU001による走行実験を実施した。

これに続く車両として登場したMLU002は、将来の浮上式鉄道のイメージが固められた中で、新たに確認すべき種々の事柄を盛り込んだ車両としてデビューした。

残念ながら、この車両では開発ステップに無理をしたこともあり、超電導磁石のトラブルが続くという大きな苦しみを味わうことになった。さらに平成3年10月には火災を発生してほぼ全焼してしまうという最悪の事態を経験する苦い思い出の車両となった。

幸いにして、その後各所の温かい支援を頂き、新たに実験車両を製作することになった。これが現在走行実験に供せられている実験車両MLU002Nである。

この間には、ＪＲ東海も積極的にこの開発を推進することになり、山梨実験線の建設も決定された。丁度、上記の超電導磁石のトラブルが続出している頃であり、山梨の実験線の成否を左右する最も重要な事柄として、その改良に強力な体制が敷かれることになった。

新しく製作された実験車両MLU002Nにはこれらの改良の初期ステップのものが投入されているが、超電導磁石の安定性は十分に実証されている。後述の山梨実験線用の車両では、さらに各種の改良が盛り込まれた超電導磁石が搭載されており、安定した特性が約束されたと見ている。

なお、MLU002N では、山梨実験線の設計に必要なデータを収集すべく各種の試験が継続的になされてきたが、そうした中で高速走行の確認も行われており、平成6年2月には431km/h の高速走行実験も成功裏に進められた。

4 山梨実験線の建設状況

4.1 山梨実験線の計画内容

浮上式鉄道の開発をすすめてきた結果として、より長距離の実験線による本格的な走行実験を実現させたいという関係者の期待は10年以上前からあった。さらに、民営分割後のJ R東海が次世代の高速鉄道として東京・大阪を結ぶ中央新幹線を実現させることを目的として積極的に推進することになり、山梨実験線の建設が決定された。

図4は、本実験線の概略の平面図を示している。図に示すように、全長42.8kmで計画されており、その中の約80%はトンネル区間となっている。トンネル外に出るところで最も長い部分が都留市街地である。中央高速道路の大月インターチェンジを富士山の方に枝別れして高速道路を進むと、トンネルを抜けた後にこの実験線が上を通過することになる。

丁度この近辺に、指令センターと電力変換所が建設され、同時に全線の中で最も高速度で走行する予定の区間となっている。

本実験線の建設計画が決定した後、始められた用地の交

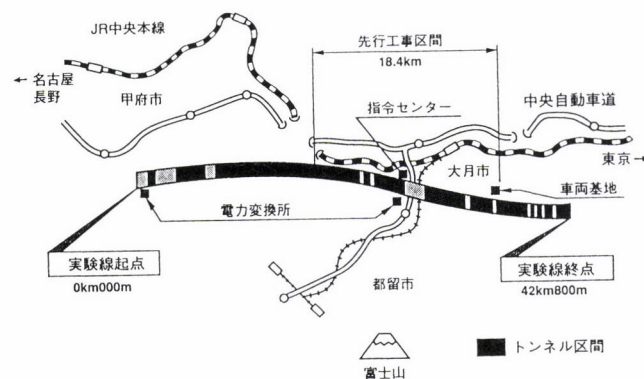


図4 実験線平面図

渉が時間を要することになった。このため、先行工事区間18.4kmを設定して、この区間内で早期の実験立ち上げが可能のように集中して工事を進めることになった。

実験車両は、3両と5両の2編成が製作される予定である。本実験線で実施される予定の走行実験では、最高速度550km/hを目指して各種の確認を行いながら徐々に速度を向上していく予定である。

高速走行特性を実証した後は、複線の設備を有効利用したすれ違い時の特性を始めとして、将来の営業線に備えて確認すべき事柄のほぼすべての事柄を試験・確認する予定である。

図5は、先行工事区間における代表的な設備の配置とイメージを示したものである。

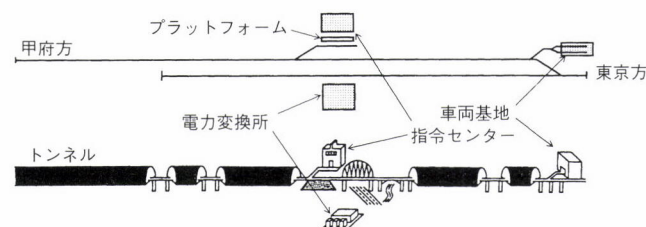


図5 実験線設備のイメージ

4.2 山梨実験線の建設状況

4.2.1 車両

実験線で使用する車両は3両と5両の2編成である。図6は車両の基本的構成を示している。車両は連接方式と呼ばれる構成で、車体の連結部の下に台車が配置されている。

超電導磁石は、この台車の両側に取りつけられている。全体として車体の高さを低くすること、および乗客スペースを超電導磁石から遠ざけて車内磁界を低減せしめる配慮をした構成である。

車体は、軽量化のために多大な努力をしたものであり、アルミ合金を使用して航空機に近い構造を採用している。

図7は、平成7年7月に現地の車両基地に搬入した3両編成分の車両である。現在は、検修庫において連結車両としての組付けを行った後、各種の確認を実施しているところである。

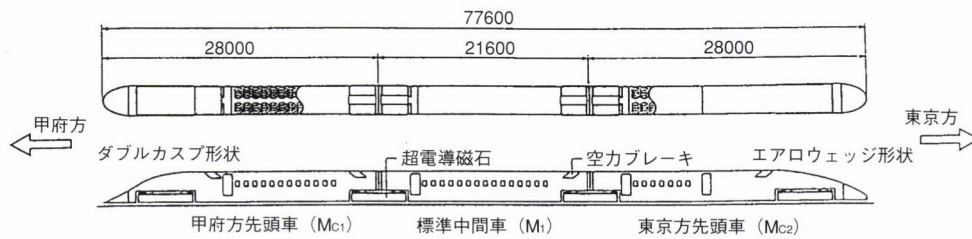


図6 車両の基本構成

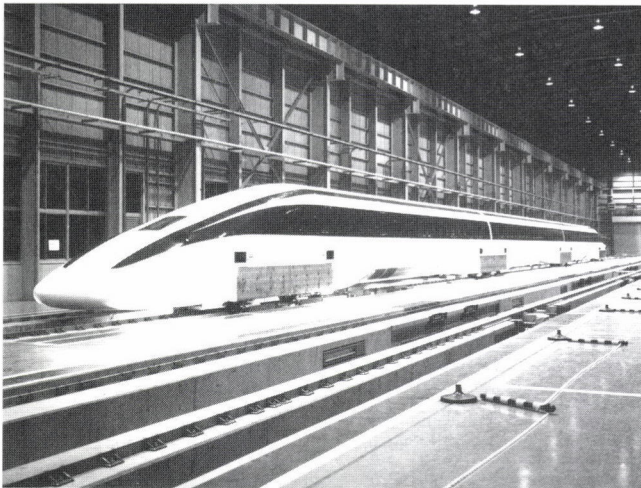


図7 製作された実験用車両



図8 ガイドウェイの高架橋建設状況

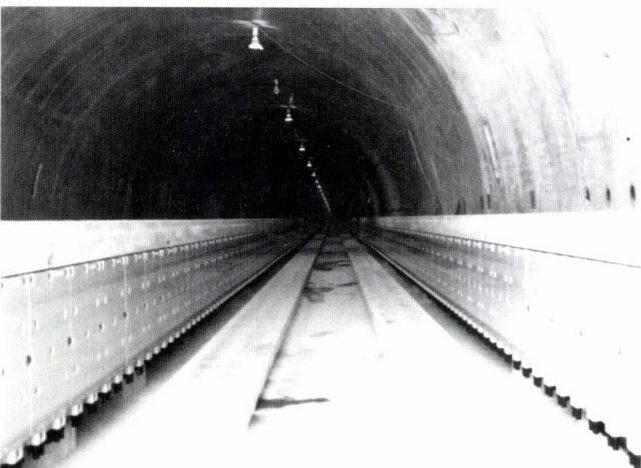


図9 完成したガイドウェイ（トンネル内）

4.2.2 ガイドウェイ

図8は、建設中のガイドウェイの高架橋部分である。また、図9はトンネル内ですでに完成した走行路部分を示す。左右のガイドウェイには地上コイルが取り付けられている。

図10は、これらのガイドウェイに取りつけられる地上コイルの例として推進用コイルを示している。これらのコイルは、いずれも線材はアルミニウムの導体を使用し、全体を樹脂で固めたものである。特に、推進用のコイルは電気的な耐圧への要求が厳しいために、エポキシ樹脂を使用している。

浮上用の地上コイルでは、電気的耐圧は大きな問題とならないため、ガラス繊維入りの樹脂であるSMC(sheet molded compound) 注(1)を採用している。

いずれにしても、実際の使用に際しては風雨にさらされる環境で長年にわたって使用されるという厳しい条件を満足する必要がある。

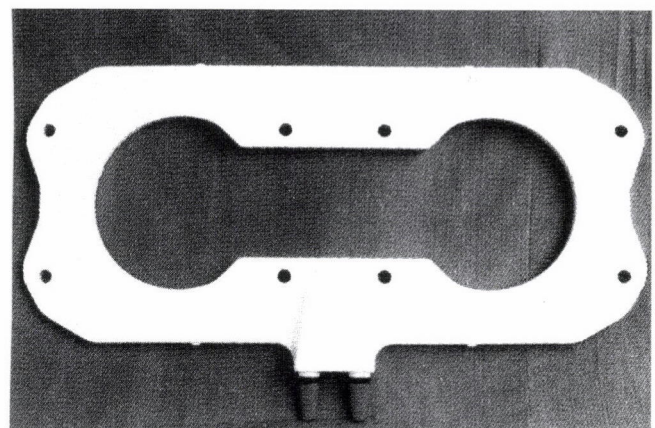


図10 地上コイルの例（推進用コイル）

4.2.3 電源設備

図11に、電力変換設備を示す。この電源は、車両の走行速度に応じて決められた周波数の電力を供給することが特長である。このために、常に車両の走行位置をセンチメートル単位で把握し、これに合わせた電流を送る機能を有している。

注(1) SMC (sheet molded compound) 一般にガラス繊維を含む樹脂をシート状にしたものを源材料とし、金型に入れて加熱・加圧して硬化させることにより強度のある成形品をつくる成形法。

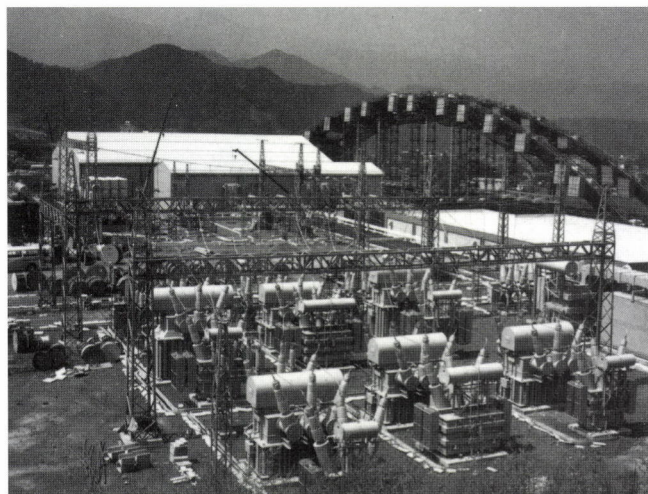


図11 電力変換所

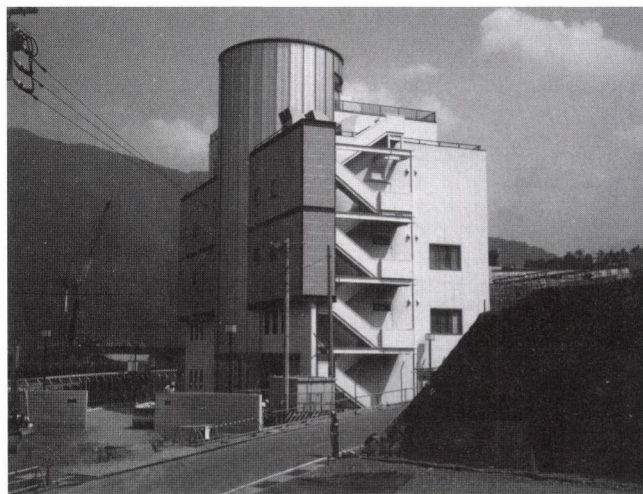


図12 指令センター

これをなし遂げているのが、GTO(gate turn off) ^{注(2)} サイリスタを使用したインバータである。

GTO インバータとしては、非常に大きな設備であり、且つ周波数範囲が0Hzから約60Hzと幅広い制御対象となっていることが大きな特長である。

4.2.4 指令センター

図12は、完成した指令センターを示している。ここには、列車を走行させるための各種指令を送り、且つ、実験線全体の運転状態を把握するための設備が設けられている。

また、走行時に得られる大量のデータは、すべてこの指令センターで収録されて、各種の解析を行い状態の良否を判断するのに利用される。

4.3 今後の計画

現在の計画では、山梨実験線の走行実験の開始は、平成9年の春となっている。この頃には、全長約77mの3両編成の美しい車両がガイドウェイ上にお目見えし、着実にステップを踏みながら速度向上に入っていく予定である。

磁気的に浮上しながら、すべるように走る姿を多くの方々に楽しんで頂くのも間近になってきた。

浮上式鉄道の開発の最終目標は、東京・大阪間に500km/h で1編成に1000人程の乗客を乗せて走る次世代の新幹線の実現である。山梨実験線の成果は、この目標に向かって進むことができるか否かの判断をするための重要なステップでもある。

現計画では、平成11年までに各種の実験を重ねた上で、この判断をすることになっている。

注(2) GTO (gate turn off) サイリスタ

信号指令により電流のON/OFF制御が可能なサイリスタ素子。(一般のサイリスタ素子では信号指令によって電流のON制御しかできない。)

5 まとめ

超電導磁石を使用した磁気浮上式鉄道は、地上設備との間に100mm 程度の空間を保ちながら車両を浮上させ高速で推進させることの出来る唯一のシステムである。この浮上式鉄道は、その基本提案は米国から始まったものであるが、この25年の開発経緯から日本が世界をリードしている数少ない大型プロジェクトの一つであると言える。

また、特に超電導磁石の開発等に関しては、その応用分野が少ない中で、初期の段階においては日本の超電導分野の発展にも寄与してきたと言える開発である。

この浮上式鉄道の開発は、国家的プロジェクトとして国の補助金を得ながら進められてきた。また、非常に幅広い学問分野にまたがる開発であり、これまでも多くの学識経験者の指導を、また日本を代表する多くの会社の協力を得ながら進められてきたプロジェクトでもある。

これまでの幅広い各所の協力に感謝するとともに、今後共々支援をお願いする。

(1995年9月21日受付)