
研究展望

Review

研究展望

超電導磁気浮上式鉄道

LINEAR MOTOR CAR・MAGLEV

宮田尚彦*・松浦章夫**・高木 肇***

By Shohiko MIYATA, Akio MATSUURA and Hajime TAKAGI

1. 超電導磁気浮上式鉄道の開発経緯

東海道新幹線開業2年前の昭和37年に鉄道の大量・安全・快適・高速という特性が、将来はより高度なレベル、なかでも超高速という形で強く求められるであろうとの理由で、そのための技術的研究開発を国鉄で進めていくこととなった。

列車は速度が増すにつれ空気抵抗が大きくなる（二乗に比例する）ため、高速化するには駆動力を増す必要がある。レールと車輪の間の粘着による方式ではその摩擦係数は速度に反比例するので、空気抵抗の上昇とのきりあい点以上には加速不能となる。

つい最近フランスのTGVが試験的に482 km/hの速度を出したが、営業運転を続けるとなれば、車両の蛇行動による脱線、騒音や保守上の問題等があり、300数十 km/hが最高速度の限界であろうといわれている。この限界を突破するには、接触していることによる問題点を除去する必要があり、非接触すなわち浮上せざるを得ない。

浮上方式としては、ホバークラフトで採用している空気を吹き出しその反力を利用する方法も検討したが、

- ① エネルギー効率が悪い
- ② 騒音が大きい
- ③ 長大トンネル内では車両から吹き出す空気圧力とトンネル内の空気圧力との差が少なくなり浮上力が

確保できない等、から採用されず、磁気を利用して浮上することとした。

磁気浮上は完全非接触走行が可能で騒音振動の面でも有利であるが、通常の永久磁石や電磁石を用いる限りギャップが1 cm程度しかとれず、ガイドウェイの精度維持と地震等による変位を考慮して、超高速でさらに浮上高さを大きくとれる方式として超電導磁気浮上への道を歩むこととなった。

昭和47年鉄道技術研究所構内で、超電導磁石を使用した車両（ML100）を初めて走行させ、ついで実物規模で500 km/h走行の可能性を示すため宮崎に実験線を建設した。その延長は必要最小限の設備にするため、加減速度を大きくとれば500 km/hの走行持続時間数秒をとり得る長さである7 kmとした。ガイドウェイは逆T形断面で、車両は空気抵抗を極力少なくした跨座式の無人車とし、目標最高速度500 km/hということからML-500と名付けられた。

使用された超電導磁石は、浮上用と推進・左右案内用とにそれぞれ対応したL形断面をしており車両の長手方向に連続して配置されている。

このML-500は、昭和54年12月にはその目標を越す517 km/hを達成した。

無人の記録達成から有人型の車両へと技術開発は進んでいった。箱形の車両が効率よく人を乗せ得ることから、ガイドウェイも逆T形からU形へと変更した。

車両はその形状に工夫をこらし空気抵抗を減らすと同時に、軽量化にも少なからず努力をしている。搭載する超電導磁石は、浮上用の超電導磁石なしでも、推進用超電導磁石から出る磁力線が地上の浮上用コイルを横切る

* 正会員 工博 (財)鉄道総合技術研究所浮上式鉄道開発推進本部副本部長 (〒185 国分寺市光町2-8-38)

** 正会員 工博 同上主幹 (同上)

*** 正会員 同上主幹 (同上)

Keywords: super conducting magnet, linear synchronous motor, helium guideway

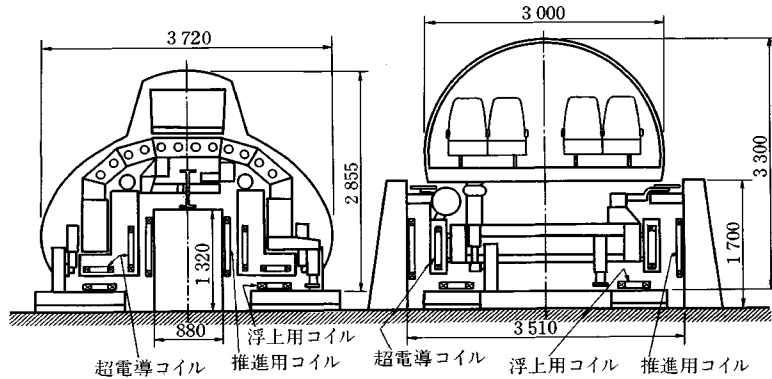


図-1 ML-500とMLU 001の車両断面

ことで車両を浮上させ得ることを実証でき、超電導磁石をL形からI形に変更し、1つの超電導コイルで浮上・推進・案内の役割を果たすこととした。また台車・車体の材料にもアルミ軽合金が使用された。

U形ガイドウェイを走行することからMLU 001と、また次の車両はMLU 002と名付けられ、現在宮崎実験線で走行試験を続けている。

鉄道の特性としての連結走行による車両運動の安定性や、ガイドウェイに故意に不整や通り狂いを設定して地震時に対する走行安全性の確認等数々の実験を行っている。

2. 超電導磁気浮上式鉄道のみカニズム

(1) 浮上

磁気浮上には反発力を利用する方式(国鉄・JR方式で超電導磁石を使ったもの)と吸引力を利用する方式(通常の電磁石を使ったもの)がある。吸引力利用方式は、西ドイツのトランスラピッドと日本のHSSTに代表される。反発式は浮上を無制御で行っていることとその高さが約10 cmという特徴をもつのに対し、吸引式は制御しながら約1 cm浮上するという大きな違いがある。

超電導磁気浮上式の場合、電磁誘導現象を利用して反発力で浮上する。ガイドウェイには外部とは結線しない浮上用コイルが設置されており、このコイルに車両からの移動する磁力線が横切ることによりコイルに電圧が発生する。コイルに電流が流れて磁力線を発生する。このコイルに発生した磁力線は、移動する車両の磁力線を打ち消そうとする。すなわち反発力を生み出す。超電導磁石を搭載した車両が地上コイル面を移動すると、浮上力が自動的に生ずる。すなわち非制御で浮上するのである。

さらにこの地上に置いた浮上用コイルを撤去し、ガイドウェイ側壁に浮上案内兼用のコイルを設けることで車両を浮上させる側壁浮上タイプの試験も行っている。8の字形をした浮上コイルの上ループ部と下ループ部の電

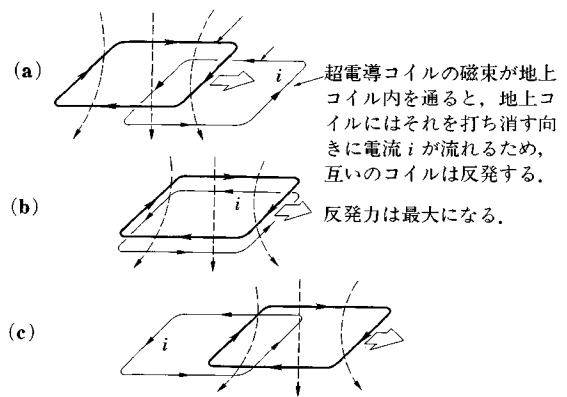


図-2 浮上力発生原理

磁誘導現象による磁力で吸引力と反発力ができて浮上する(図-9参照)。

側壁浮上は、省電力性と保守性に優れており、低騒音化にも貢献する。

(2) 推進

回転モータを切り開いて直線状にしたモータ(linear motor)は、回転型モータと違い水平方向へ動くものである。このリニアモータにはリニアインダクションモータ(LIM)とリニアシンクロナスモータ(LSM)がある。前者は駆動力の比較的小さなシステムに適しており、後者は駆動力の大きな大規模システムに適している。

超電導磁気浮上式鉄道は、リニアシンクロナスモータを採用している。シンクロナスの名のとおり電気の周波数と同期させている直進モータである。

ガイドウェイ側壁に設けた推進用コイルに電気を流すとそのコイルには磁界が発生する。周波数 n ヘルツの交流を流すと1秒間に n 回極性が変化する。推進コイルがNS1回ずつ変化すると超電導磁石はNS2極の長さ l (m)だけ直進するので、1秒間に $n \times l$ (m)移動する。

このように周波数を変えることで速度を変化させている。従来の電気鉄道では、変電所から常に同じ電気を架線に送り列車の運転士がそれを制御して列車速度を変えているが、超電導磁気浮上式鉄道では、変電所（電力変換装置）が列車速度を制御している。すなわち一電力変換装置が一列車を制御することとなる。運転士なしで、中央の指令所で列車を動かすことも可能である。この周波数と電力を変える電力変換装置が、宮崎ではサイクロコンバータであり、山梨実験線ではGTOインバータとなる予定である。

なお超電導磁気浮上式鉄道では、すべての長さの基本は超電導磁石の長さである。周波数を変えるために交流（3相）を使用しているため、側壁の推進用コイル3個の長さが、車上の超電導磁石2極分の長さとなっている（推進用コイルは3組が単位となり3相交流をそれぞれのコイルに流しており、この3組を1セルとよんでいる）。

列車長にスイッチ切り替え余裕時分を加えた長さ（この単位長さを1セクションとよぶ）で全区間を分けるが、列車の入っているセクションと進行方向のもう1つ先のセクションだけに送電している。電気を流す区間も全線同時に送電するのでは電気抵抗による損失が大きいため必要最小限にしている。電力変換装置2組を用い、交互に地上の電区分スイッチを切り替えることにより2つのセクションに送電して列車を推進させている。

超電導磁石の長さが地上コイルの長さを決めることになり、宮崎は2.1mであるが、山梨実験線では磁界の影響等さまざまな角度から検討する。

（3）左右案内

車両がガイドウェイ中心から左右に偏った場合、側壁に設けたコイルは、車両の超電導磁石による磁界の変化で起電力が発生し磁石となる。両側の側壁にある案内用コイルをそれぞれ結線しておくと、間隔が狭くなった側で反発力が、広がった側で吸引力が発生し、より早く偏った車両が中心に戻る。この結線をヌルフラックス線とよんでいる。

これらの案内用コイルは推進用コイルと同一のもので

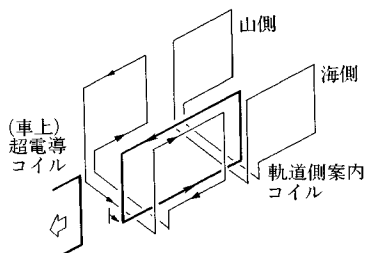


図-3 ヌルフラックス方式の原理

兼用することもできる。重畳の原理で、推進用の電気も案内用の電気も側壁に設けた1つのコイルに流すことができる。この場合のコイルを推進案内用コイルとよんでいる。

側壁浮上タイプでは、側壁に設けた浮上コイルにヌルフラックス配線することにより行う。こうするとヌルフラックス線には高い電圧がかからず、接続が楽になる。この方式での8の字形のコイルを浮上案内コイルと名付けている（図-9参照）。

（4）ブレーキ

地上の乗り物で安全の一番のテーマは、いかにして走行車を止めるかということである。この場合1つのブレーキの故障を念頭にこれをバックアップする体制を常に考慮しておかねばならない。

① 回生ブレーキ

加速時と違い、逆向きの極を作るように推進コイルに電流を流すと、車両の超電導磁石との間で反発力が働きブレーキ力となる。これを回生ブレーキといい、通常はこのブレーキを使用する。

② 発電ブレーキ

超電導磁石が推進用コイルとの間で発電機のような役割をし、コイルに発生した電気を別途地上に設置した電気抵抗器に流し、熱エネルギーとして発散させるものである。これを発電ブレーキといい、非常用ブレーキとして使用可能である。

③ 地上コイル短絡ブレーキ

上記の発生した電気を、地上の推進コイルに流し、熱エネルギーとして発散させるもので、発電ブレーキの一種ともいえる。

④ 空力ブレーキ

高速走行時は空気抵抗の影響が非常に大きく、車体の形状をいかに空気抵抗の少ないものにするかという観点で設計時に苦勞をしているが、ブレーキをかける場合は、この逆にすればよく、空気抵抗を増やすために車体から制御板（じゃま板）を外へ突き出し高速域の緊急ブレーキとすることができる。これを空力ブレーキというが、平均減速度として6 km/h/s程度は期待できそうである。

⑤ 摩擦ブレーキ

これはそり状の滑走シューをコンクリート面に押し付け、摩擦によりブレーキをかけようとするもので、緊急時の中低速域で使用できる。シュー材料には耐摩耗性と耐熱性が要求される。

山梨実験線では、電気的なブレーキがすべて故障した際、高速域では空力ブレーキを、中低速域では摩擦ブレーキを、使用する予定である。

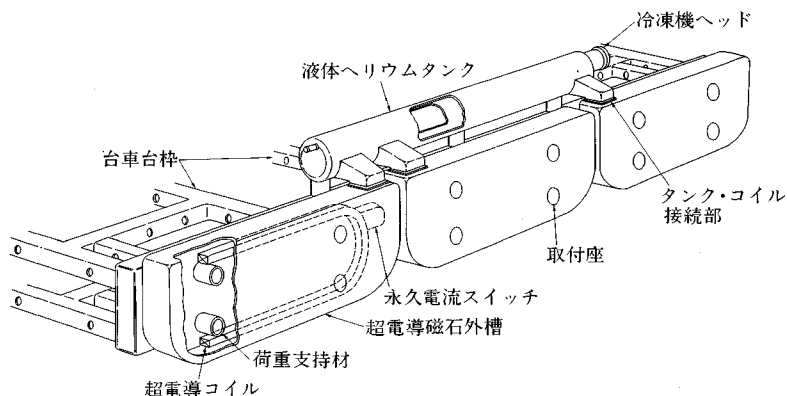


図-4 MLU 002の超電導磁石

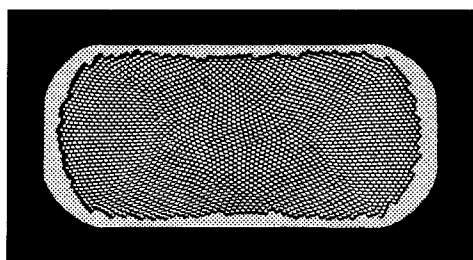


写真-1 超電導線材の断面

3. 極低温と超電導磁石

(1) 超電導磁石

ニオブチタンとかニオブ3スズのような超電導線材を液体ヘリウム温度4K (-269°C) にまで冷やすと超電導現象を示す。電気抵抗が突然零になり、一度外から電気を流すと抵抗がないので永久に電気が流れ続ける。この種の線材でコイルを作っておくと、電気が流れ続けるので磁界が発生する。これが超電導磁石である。クライオスタット(低温容器)の内槽に超電導コイルを設け液体ヘリウムに浸す。熱侵入による液体ヘリウムの蒸発、すなわち、ガスヘリウムを、再度冷凍機で冷やして液化するための車載冷凍機の小型軽量化につとめた結果、液体ヘリウムタンクと一体化されるまでになっている。現在はJT弁を使用したクロードサイクル冷凍機とJTレスターリングサイクル冷凍機の開発を行っている。

超電導磁石の技術開発では、超電導線は非常に細くした素線を銅のベースに埋め込んだファインマルチ線(写真の原寸は1mm×2mm)として使用しているが、線材と銅の断面積比がML-500では1:6、MLU 001では1:2、MLU 002では極限であろうといわれている銅比1:1にまで努力をしている。その結果は、同じ超電導コイルの断面積でも巻線の本数をMLU 001では1000回

だったものを002では1167回に増やし、断面を大きくすることなくより強力な磁石としている。

また軽量化については、ML-500では車両重量に対する全超電導磁石の重量が64%を占めていたが、MLU 001では35%に、MLU 002ではさらに超電導磁石を集中配置方式にしたこともあり23%となっている。

(2) 高温超電導

スイスIBMチューリッヒ研究所のミュラー、ベドノルツ両博士が30Kで超電導現象を示すセラミックスをみつけてから世界中で高温超電導材料の研究が始まり、毎日のようにその温度が高くなり、一時的ながら常温でも電気抵抗零というような結果まで出始めた。いずれもセラミックス系超電導物質で、イットリウム・バリウム・銅酸化物が主体であったが、タリウム・バリウム系あるいはビスマス・バリウム系へ変わりつつある。薄膜の物で2000000 A/cm²以上の臨界電流密度、線材で10000 A/cm²程度の臨界電流密度まで可能になってきており、実用化真近しの声も出ている。超電導磁石に採用するために線材化と同時にコイル化の技術開発も着々と成果を上げている。

高温超電導材料が採用できると液体ヘリウムのかわりに77Kの液体窒素が使用可能となり、冷凍関係の機器類の扱いが大変楽になる。また高価なヘリウムと違って資源も豊富な窒素が使えることは大変魅力的なこととなる。

現在でもクライオスタットはいったん液体窒素で内槽の外側を冷やし、さらに内槽を液体ヘリウムで冷やしている。高温超電導体の出現によってヘリウム部分だけをなくせばよいので大きなシステムの変更ではなく、高温超電導線材が使用できるまでリニアモーターの實用化を待っている必要はないこととなる。

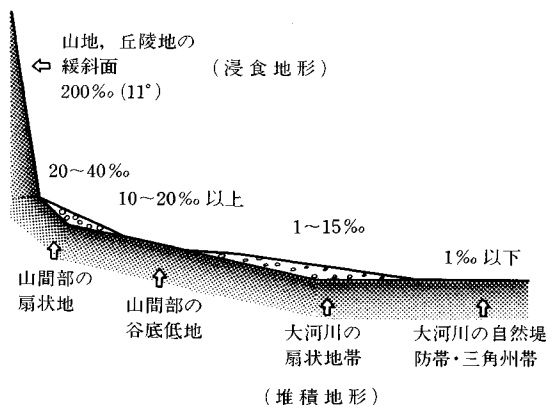
4. ガイドウェイと構造物の技術開発

(1) 最大勾配

リニアモータで推進する浮上式鉄道の車両は、かなり大きな勾配を登ることができる。また、大きなブレーキ力が得られる電磁ブレーキを使うので、下り勾配が大きくても走行は安全である。しかし、一般論として浮上式鉄道をシステムとしてとらえた場合、その線路勾配はあまり大きくない方が好ましいものといえる。それは、大きな勾配では、上り走行時では加速能力の低下を防ぐため推進用電源の容量を大きくしなければならず、また下り走行時では、緊急停止時のブレーキ距離の増大が懸念されるからである。緊急時のブレーキには、万一の故障も考慮して、電磁ブレーキよりはやや効きの悪い機械ブレーキを使わなければならないことも考慮しておく必要がある。しかし一方、路線勾配があまり小さいと、建設費の大きなトンネルの施工長さが増加するとともに、全体的にトンネル内走行時の空気抵抗増が使用電力を増大させる。

そこで、以下の考えによって、最大勾配の適正値を求めてみた。すなわち、図—5 に示すように日本の河川勾配の特性を参考にして、ある地点間の路線計画におけるトンネルの総延長を考えたとき、最大勾配を徐々に増加していくと総延長は減少するが、国土の地形上から要求される勾配には上限があるため、トンネル延長比率と最長トンネル延長の減少は、勾配が40%以上になるあたりで限界に達する。したがって、勾配を40%以上に設定してみても、それが工事費の低減および工期の短縮には直接に寄与しないこととなる。一方、試算によると40%程度の勾配では、電源容量やブレーキ距離の増加はわずかである。

このような理由により、線路勾配については、通常の区間においては最大を40%とする。ただし、局部的に



図—5 日本の河川勾配

短い距離に対しては60%の勾配も許容することを目標とする。山梨実験線では40%の勾配区間を設定し、起動特性、ブレーキ性能、車両運動特性、超電導磁石の傾斜による影響などの確認試験を予定している。

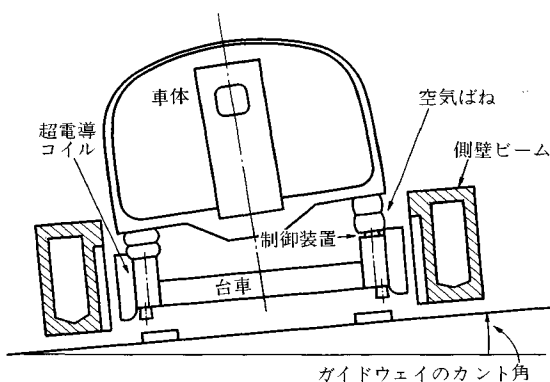
(2) 曲線

曲線半径、緩和曲線およびカントについては、車両の走行安全性、乗客の乗り心地およびガイドウェイの施工性を考慮して検討されるが、特に曲線区間を走行する車両の適正な乗り心地の確保に対しては十分な配慮が必要となる。曲線部分を通過するとき車内の乗客が、大型旅客機のように超過遠心加速度を全く感じない、いわゆる均衡カントを基本とするのが理想的であろう。しかし、停止時の乗客に与える心理的影響を配慮すれば、車体の傾き角度をあまり大きくしない方がよい。それゆえ、曲線部のカントの大きさにはおのずと限界が与えられる。さらに、曲線部の車体の傾きについては、車体姿勢制御装置の装備の有無(図—6)、遠心加速度の許容値の決め方などにより、その適正値は一概には決められない。しかし、少なくとも車体の姿勢制御が停止時にも走行時にも働かせない場合でも、通常許容される許容超過遠心加速度0.09g、最大カント角10度が採用されることを前提とすれば、最小曲線半径として8000mという値が求められる。また、縦断曲線については鉛直方向の乗り心地加速度の限度から、最小半径が33000mとなる。

以上のように、検討の過程においては、車両の姿勢制御、構造物の施工性、乗客の乗り心地などの条件に依存する提案値が並べられるが、実際に建設する山梨実験線においては、その構造物が将来の営業線にも採用される場合も考えられるので、実験に必要な要件が満足される範囲内で、曲線に関する条件を選定することとなる。

(3) ガイドウェイの精度

ガイドウェイ狂いの管理目標値については、主として車両の乗り心地と走行安全を考慮して決められる。乗り



図—6 曲線区間の車両姿勢制御のイメージ

表一 乗り心地レベルとその振動区分

振動区分	乗り心地レベル(dB)	備 考
1	$L_T < 83$	ISO-2631 に基づく 等感覚曲線フィルター を用いる。
2	$83 \leq L_T < 88$	
3	$88 \leq L_T < 93$	
4	$93 \leq L_T < 98$	
5	$98 \leq L_T$	

心地の管理基準としては従来から用いられている、ISO-2631 の等感覚曲線をもとにして旧国鉄で提案した「乗り心地レベル」を採用するのがよい、この乗り心地管理基準をもとにして、浮上式鉄道のガイドウェイの仕上がり精度について検討したものの概要を述べよう。

「乗り心地レベル」はある一定区間あるいは一定時間の振動に関する平均的乗り心地を評価する指標であり、その大きさによって数段階の振動区分に分けられている(表一)。ガイドウェイの高低狂いに対する車両の上下振動加速度の周波数応答関数を用いれば、ある希望する振動区分に対応する乗り心地レベルが満足されることを条件として、ガイドウェイの高低狂いのパワースペクトル密度が求められる。このパワースペクトル密度は、元々ガイドウェイの高低狂いの波形が不規則な形状であるものを、包括的に単純化して表現したものである。

通常の高低狂い分布が正規分布に近いものであることを考えれば、ガイドウェイの高低狂いのパワースペクトル密度と空間周波数軸とが作る面積は、波形振幅の標準偏差に近似することとなる。ガイドウェイの高低狂いを適当なフィルター特性を有する検測装置により記録波形で表わし、これによってガイドウェイの狂いを管理するものである。通常は、乗り心地が所定の乗り心地レベルが99.7%の確率で満足されるようにすることとして、この記録波形を用いた管理目標値として標準偏差の3倍の値を用いるものとする。

左右の乗り心地についても同様の手法により、ガイドウェイの通り狂いの管理目標値が定められる。なお、希望する振動区分が良好な乗り心地レベルを要求する範囲であれば、車両の運動が自動的に制限されるので、走行安全性に対する検討は特に必要はないものと考えられている。

このような検討の結果、ガイドウェイの線路方向の管理目標値の一例として、振動区分1である最良の乗り心地レベルを採用し、車両の周波数応答関数の最大値を0.03 g/mm とする場合、地上コイルの高低狂いに関して ± 3 mm、地上コイルの通り狂いに関して ± 2 mm、という値が算定される。なお、やや緩い振動区分2を採用するものとし、浮上車の周波数応答関数の最大値を0.02 g/mm とした場合には、それぞれの管理目標値は

± 7 mm、 ± 4 mm、となる。このように、浮上式鉄道のガイドウェイの線路方向の狂いには高い精度が要求されるので、今後は狂いの調整の高精度化とともに車両の振動特性の改良も必要である。

(4) トンネル断面

高速列車がトンネルを通過するときには、それに伴って多くの空気力学的問題が生じる。すなわち、トンネル突入時の問題点として車体の強度や気密性に関連する「圧力変動」の増大、トンネル出口の騒音に影響を与える「微気圧波」の発生、トンネル内走行中の問題点として走行エネルギーの増加、走行安定性の低下、空気抵抗や風圧による乗り心地の悪化、トンネル内の環境に影響を与える温度上昇等が考えられる。

これらのうち、特に「微気圧波」の発生、「圧力変動」の増大などの問題が大きい。微気圧波に関しては、列車の先頭部がトンネルに突入したときに生じた圧縮波がトンネル内を音速で移動し、出口に達したときに、その一部が急激に大気に放散されることによって、大きな破裂音が生じるという騒音問題である。この対策としては、新幹線のようにトンネルの入口に緩衝工を設けることが有力である。しかし、500 km/h で列車が突入する場合は、新幹線よりも長い緩衝工を設けなければならない。したがって、現実的に可能な範囲の緩衝工の長さ、トンネル内壁の凹凸化や吸音材を用いるなどその他の対策を併用することとしても、トンネル断面積が小さければ、対応が非常に困難となることが予想される。この点からはトンネル断面積はできるだけ大きくするのが好ましい。

次に、圧力変動については、列車速度が500 km/h 走行時に非常に大きな負圧が車体に作用するので、これに耐える車両を設計しなければならない。しかし、これに対応する車両設計は未経験であり、しかも空力ブレーキを採用することにより車両の見掛け上の断面積が大きくなることも考えられるので、トンネルにはより大きな断面を用いるのがよいと考えられる。

このように、空気力学的観点からは、トンネル断面積は大きい方がよいということになるが、経済性および施工性の面からは、当然小さい方がよいものといえる。したがって、トンネル断面積は、列車のトンネル突入時の空気力学的問題、電力使用料などの運営費およびトンネル建設費などの比較検討から、最適値を求めることが必要である。このような最適値は実験や理論解析の深度化を進めながら、今後追求していくこととなるが、山梨実験線においては、差し当たり、トンネル断面積に対する車両断面積すなわちトンネル断面積比により表現して、これを0.12とするのがよいとされている(図一)。

(5) 磁気の影響

長距離の営業線を想定したガイドウェイでは、桁高制

限を受ける橋梁に鋼構造物を使う必要性や、経済性や施工性の面から鋼構造物が有利となる場合も出てくる。しかし、超電導磁石を搭載した車両の通過に伴って、ガイドウェイに使用されている鋼材のまわりの磁界が時間的に変動するので、鋼材中には渦電流やループ電流などが誘起され、それが結果的に車両の運動エネルギーに影響を与え、走行抵抗を増加させるという磁気抗力の問題をかかえている。このようなことを考慮して、一般的な鋼トラス橋梁について磁気抗力の観点から、その適用性について検討してみた。

磁気抗力については現象的に未解明な部分が多く、現在では真に厳密な解析は困難である。また、このような構造物に使用する金属材料に起因する磁気抗力は、材質、形状、寸法、使用位置などによって大きく値が変わってくるのが予想される。しかし、JR マグと称する簡略化した解析手法によって、構造物の設計に必要な概略の条件を求めてみた。それによると、鋼材を超電導磁石からできるだけ離して使用すること、すなわちおおむね 1.5 m よりも超電導磁石から近いところでは低磁性鋼材

を使用すること、継手部を絶縁してループ電流が流れないようにすること等の配慮をすれば、これらの構造物も十分に使用に耐えることが明らかになっている。

さらに、鉄筋コンクリートラーメン高架橋等の一般区間においても、鋼材の使用法に関する検討が必要であるが、現時点ではいまだ上記の理由で使用限界を一律に規定することはできない。しかし、構造物本体やガイドウェイ構造に起因する磁気抗力が、高速域においてたとえば全抵抗の 20 % 以下となるような目標を定めて、個々のケースについて解析して決定することとしている。今後は、精度のよい解析方法を開発し、さらに実験とも併せて詳細な検討を行う必要がある。

(6) ガイドウェイ構造

ガイドウェイの断面は側壁浮上方式U形状とするが、ガイドウェイの狂いの整正限度には非常に厳しいものが要求される。したがって、地上コイルの設置精度および良好な施工性を確保するために、ガイドウェイ構造の選択・設計にあたっては十分な配慮が必要となる。

従来のように場所打ちコンクリートで施工された側壁をもつガイドウェイ構造では、このような長波長狂いの管理が難しくなることが想像される。そこで、高い精度を得やすいプレキャスト部材を製作し、それに地上コイルを工場等で直接に取り付ける方法として側壁パネルまたはビームとして構成したガイドウェイ構造方式が提案されている(図-8)。これらのプレキャスト部材を本体構造物に据え付ける際には、できるかぎり高精度で微調整の可能な方法が取り入れられなければならない。

側壁パネル方式では、パネルが全長にわたって支持されることとなるので、上下左右位置の調整や、本体構造物が沈下した際の修正箇所が数多くなる。したがって、この方法については、今後とも十分な検討が必要である。これに対してビーム方式では、それを桁端で単純支持するので、その位置で集中的に狂いを調整することが可能となる(図-9)。この方法はすでにモノレールの軌道桁においても実用化されているので、特に大きな問題が存在するとは考えられないが、支承部を安全でしかも経済

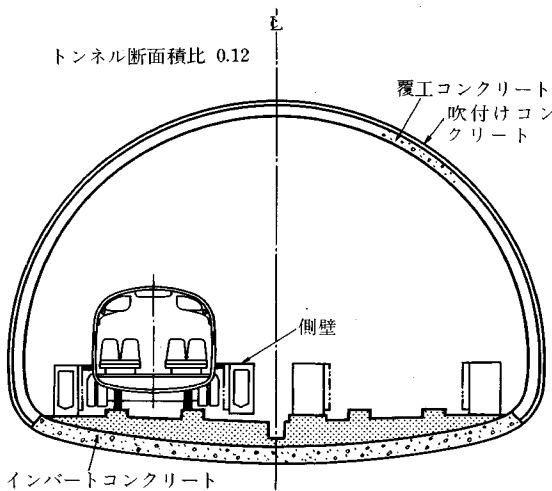


図-7 トンネル断面の一例

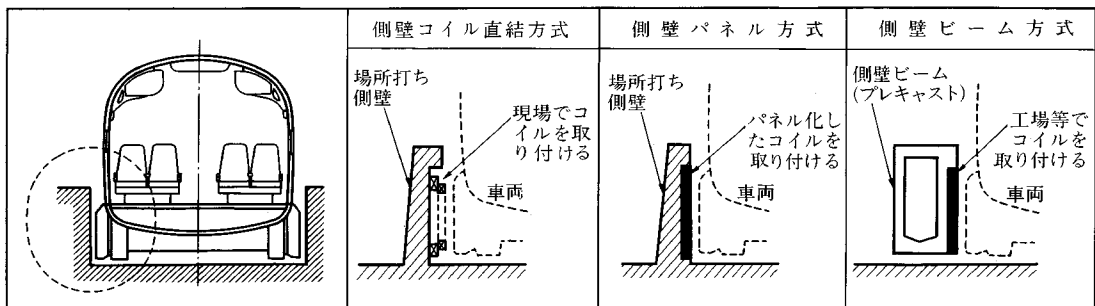


図-8 各種ガイドウェイ方式

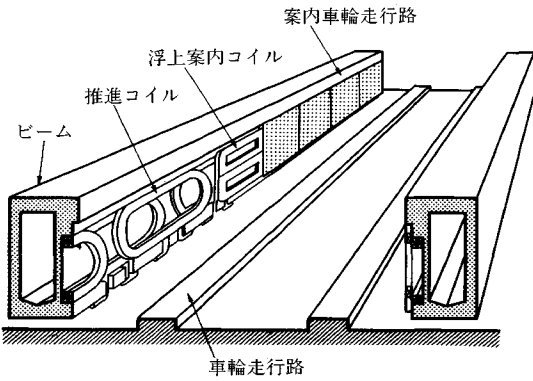


図-9 側壁ビーム式ガイドウェイ

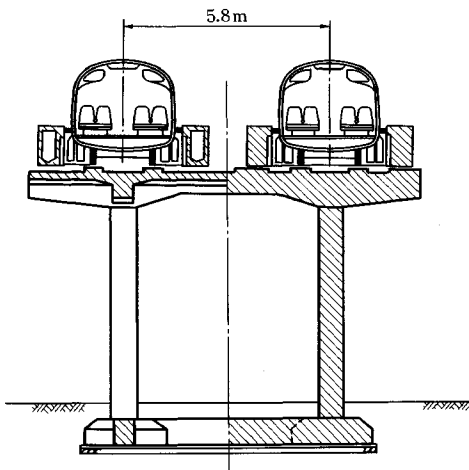


図-10 複線高架橋の一例

的に構成するための特別な技術開発が必要となる。

高架橋上では、柱の直上に本ビームの支点を、橋梁上においては主構造の上に、土路盤上においては適切な基礎の上に、トンネルにおいては路盤上に直接に乗せる方法が考えられる。これらの場合、支持車輪走行路はそれぞれの構造物の路盤を直接に、または間接に用いることとなる(図-10)。

(7) 分岐装置

浮上式鉄道においては、長距離営業線の間駅に用いることを想定した高速用分岐装置と、ターミナルや車両基地に用いる低速用分岐装置が必要となる。そこで現在は、試作試験等によりこれらの開発を行っている。高速用分岐装置の分岐側は低速車輪走行用であるが、その直線側は高速浮上走行用である。この高速用分岐装置は、特に 500 km/h で超高速走行する列車を安全にガイドするため、安定性の優れたU形トラバーサ方式とする(図-11)。これはU形断面をした可動桁の下に台車を設けて、駆動チェーンを介して油圧ジャッキにより台車を移

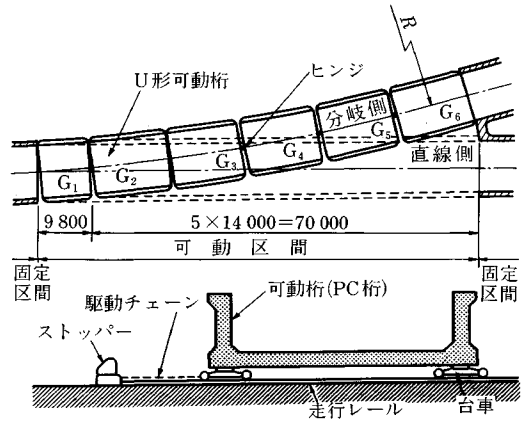


図-11 トラバーサ式分岐装置

動させ、可動桁を関節的に転換するものである。低速用分岐装置のうちターミナル用分岐装置は、全列車が停車する駅に設けるもので、直線側も分岐側と同じ 70 km/h 程度の低速で車輪走行することを前提とする。この方式では、異常時の車両荷重が高速用分岐に比べて小さいことから、側壁を簡易に移動させる方法の採用が可能となるので、移動部分の比較的少ない側壁移動方式が良いと考えられている。車両基地では、狭い用地内に効率良く車両を収容するために、線間を狭くすることが可能な多線分岐方式の開発も考えられている。

浮上式鉄道においても、車両が分岐装置を安全に通過するために信頼性の高い保安システムを設計する必要がある。すなわち、分岐の転換制御、走行安全のための各装置の連動や鎖錠、さらに各装置間の情報伝送などを行い、ある装置の故障や誤った取り扱いに対するフェイルセーフ回路等を構成することとしている。

分岐装置の性能は、輸送力および輸送の信頼性に直接関連するので、その転換時間の短縮をはじめ、分岐側の通過速度の向上、故障に対する信頼性の向上などの検討が必要である。山梨実験線ではトラバーサ方式の分岐装置を設け、転換試験により安全性、保守性、経済性、さらに構造特性、鋼材の影響度などを把握する予定である。また、開発を始めているターミナル駅用、車両基地用の分岐装置、将来に向けては、立体分岐装置などについての基礎的研究も必要である。

(8) その他の技術課題

山梨実験線の構造物でその構造が大規模となるものについては、新しい形式の採用や、スレンダー化など景観を十分に配慮したものとし、特に実験線としては走行する車両とのデザイン的な適合性などにも十分な配慮をする必要がある。

降雪については、効果的な除雪・消雪システムと開床式など雪に強いガイドウェイ構造の導入を考慮し、騒音

については、車両表面の平滑化、ガイドウェイ構造表面の平滑化なども含めて、防音壁の設置も可能な構造、トンネル坑口の緩衝工の適切な長さ、トンネル内での微気圧波の低減対策などについてあらかじめ配慮しておく必要がある。

その他、地盤振動の低減対策、地震時の対策、異常時の対策、さらに救援方法など保安システムや保守システムについての検討を行う必要がある。また建築限界、磁界限界、風圧限界については、各部の寸法、車両運動、作用荷重、周辺に及ぼす影響などを考慮して定めなければならない。

5. 実用化に向けて解決すべき全体の技術的課題

実用化に向け機器の耐久性・信頼性や、システムとして全体をまとめあげていく段階に来ているが、残されている技術的課題のいくつかを挙げてみると次のようになる。

① 各種機器の長期安定化、信頼性の向上

車載冷凍機・圧縮機を含めた超電導磁石系や、電力変換装置、き電区分スイッチの耐久性・信頼性等を、長時間安定した連続高速走行に耐えるよう開発を進めその成果を確認する必要がある。

② 列車群制御

長距離路線を多くの列車群が運行する場合、前後の列車間隔を必要だけ確保する必要がある。4.(7)で述べた停車場で前の列車を追い越すための高速用分岐装置も重要な役割をもつ。

一変電所（電力変換所）一列車のシステムであるから複数の列車群の制御は、複数の変換所を制御することである。電力変換所の境界点をスムーズに列車移動させること、並列き電（2変換所が同一セクションに同時にき電する）等複数の電力変換所間制御について確認する必要がある。

③ 磁力線対策

宮崎実験線の車両は、床面で200 Gauss程度の磁界である。この程度の磁界では人体やキャッシュカード・フ

ロッピーディスク等には影響ない。ただアナログクォーツ時計は止まるものがあるし、ビデオカメラも画像がズレたり色ぶれが起こる。

営業型車両ではこの磁界を下げるために、超電導磁石を車端に置いて客室から遠ざける連節台車方式とし、連節部分には磁気遮蔽を施すこととしている。

なお薄膜高温超電導物質の使用が可能になると、超電導のマイスナー効果で磁気シールドは完全に達成できる。こちらの面でも高温超電導体の早期実用化が期待される。

最近上記のような定常磁場でない交流（変動）磁場の人体に対する影響について議論百出している。医学界でも定説がなく、鉄道総研でも実験を継続中である。

④ 乗り心地

超電導誘導反発式鉄道の乗り心地は、地上コイルの設置精度に依存する。コイルをいかに精度良く土木構造物に取り付けるかは、土木と電気両面から設計施工を考えていく必要がある。

実用化には、技術基準・保守基準の作成、あるいは運営コストの把握が必要である。しかし宮崎実験線は延長が7 kmしかないため超高速連続走行試験ができず、また単線のためすれ違い走行試験もできない。トンネル突入時の車両運動や車体振動・微気圧波等の類推はできるものの確認実証する必要がある。こういった各種の試験ができる山梨実験線が現在計画されており、一日も早い完成が期待されている。

さらに夢のような計画としてチューブ式鉄道がある。超電導磁気浮上式鉄道もさらに速度を増そうとすると、空気抵抗が速度の二乗で増えるため、経済的に成り立たなくなってくる。列車をチューブの中に入れ、チューブ内の空気を抜いて希薄にすれば、抵抗はほとんどなくなり、超々高速が可能となる。アメリカで西海岸と東海岸を20数分で結ぶというような机上プランも作られている。こういったものへの応用も考えていく必要もあろう。

(1990.2.2・受付)