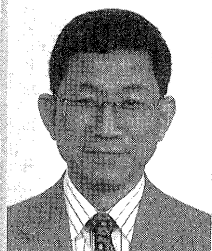


展...望

夢の新幹線

Future High Speed Express



岡本 勲
Isao OKAMOTO

◎1945年5月生まれ

1972年早稲田大学大学院機械工学専攻修士修了，
1972年日本国有鉄道入社，車両設計事務所など
を経て1987年（財）鉄道総合技術研究所，現在
に至る

◎研究・専門テーマは鉄道車両工学

◎正員，（財）鉄道総合技術研究所 車両構造技
術研究部 部長
〒185-8540 国分寺市光町2-8-38/
E-mail: okamoto@rtri.or.jp



澤田 一夫
Kazuo SAWADA

◎1947年2月生まれ

1971年東京大学工学部電子工学科卒業，同年日
本国有鉄道入社，1990年（財）鉄道総合技術研
究所浮上式鉄道宮崎実験センター所長，1992年
同浮上式鉄道開発本部電磁路部長，1997年同浮
上式鉄道開発本部技師長

◎研究・専門テーマはリニアの開発

◎（財）鉄道総合技術研究所 浮上式鉄道開発本
部 技師長
〒185-8540 国分寺市光町2-8-38/
E-mail: k-sawada@rtri.or.jp

1 次世代新幹線

1-1 これまでの新幹線

新幹線は、1964年10月に東海道新幹線（東京～新大阪間515km）が開業し、以来、約35年が経過している。その間に、山陽新幹線（新大阪～岡山間1972年3月、岡山～博多間1975年3月開業）、東北新幹線（大宮～盛岡間1982年6月、上野～大宮間1985年3月、東京～上野間1991年6月開業）、上越新幹線（大宮～新潟間1982年10月開業）、北陸新幹線（高崎～長野間1997年10月開業）が建設され、また、ミニ新幹線（軌間は新幹線と同じ標準軌であるが、車体の大きさは在来線特急車両並）として山形新幹線（福島～山形間1992年7月開業）、秋田新幹線（盛岡～秋田間1997年3月開業）の2路線が実用化され、新幹線鉄道網が全国に拡大した。

こうした新幹線の運行状況や営業成績は非常に良好で、この新幹線の成功は、鉄道的高速化と高速化により、当時、自動車などに押されて沈滞気味であった鉄道の復権の可能性を世界に示した。特に、ヨーロッパ各国では新幹線の成功をきっかけに鉄道的高速化に対する技術開発が盛んに行われるようになり、1980年～1990年代になるとフランスのTGV、ドイツのICE、イタリアのETR500など最高運転速度250～300km/hの高速列車が誕生している。さらに、1988年5月にはドイツのICEにより406.9km/h、1990年5月にはフランスのTGVにより515.3km/hと、こうした新しい高速列車により鉄道の最高速度記録が次々に書き換えられた。

一方、新幹線も高速道路や空港の整備により強力なライバルとなった自動車や航空機に対抗するため、1980年代半ばころから一部の路線で最高運転速度を220～240km/hへ向上すると共にさらに大幅な速度向上に必要な新たな技術開発に着手していた。しかし、ヨーロッパ各国における高速列車の実用化や鉄道の最高速度記録の相次ぐ更新が、新幹線の速度向上のための技術開発をいっそう加速することとなった。すなわち、① 高速走行性能や曲線走行性能、乗り心地などに優れた新幹線電車用新形軽量ボルスタレス台車の開発、② アルミニウム合金製軽量車体の開発、③ VVVFインバータ制御による三相交流誘導電動機駆動システムの開発、④ 低騒音パンタグラフ

の開発や車両屋根上および車両床下機器の小形化、平滑化など種々の車外騒音低減対策等々、新幹線電車の速度向上に必要な一連の技術開発が、1987年の旧国鉄分割民営化の時期をはさんで精力的に続けられた。その結果、1990年代の初めにはこれらの技術について実用化の見通しが得られ、1992年3月にそれらの成果を取り入れて開発された最高運転速度270km/hの新しいタイプの300系新幹線電車（のぞみ号）が東海道新幹線に投入された。

この300系新幹線電車の登場で新幹線の車両技術は大きくレベルアップしたが、更なる速度向上や乗り心地の向上、騒音やトンネル微気圧波の低減など環境対策等々を研究するため、JR各社は、WIN350、STAR21、300Xなどの新幹線電車用高速試験車による試験を行い、多くの成果が得られた。すなわち、WIN350試験車の成果を取り入れて実用化した500系新幹線電車は、国内初の最高運転速度300km/hの営業運転を実現し、また、300X試験車は、1996年7月に443km/hの国内における鉄車輪・レール系鉄道の最高速度記録を達成している。

1-2 これからの新幹線

新幹線は、これまでに、5路線、1954kmとミニ新幹線2路線が建設され、国民の重要な移動手段として定着している。新幹線がこのように多勢の人々に利用されているのは、新幹線が安全で、速く、便利な乗り物だからであり、21世紀のこれから10年先、20年先の新幹線を考える場合もこの基本は変わらないであろう。しかし、技術的には相当なレベルアップが図られるはずであり、ここでは、10年先、20年先の新幹線に関して、

- より安全で、より速く、より静かに
- より快適に
- より便利に

といった観点からそれぞれの項目について技術的な内容を展望してみる。

(1) より安全で、より速く、より静かな新幹線 現在の新幹線の営業運転最高速度は500系新幹線電車の実現している300km/hであるが、今後の航空機などの競争を考えると更なるスピードアップが必要になると思われる。その場合、運転最高速度だけのスピードアップでは目的地までの所要時間の短縮効果が少ないので曲線の走行速度の向上も合わせて行う必要があると考える。

運転最高速度としては320～350km/h程度への向上が考えられるが、現状の運転最高速度300km/hを超えるスピードアップを実現するためには、台車の高速走行安定性能の向上、力行・ブレーキ時の車輪～レール間の粘着性能の向上、高速集電性能の向上、信号・保安システムの性能の向上、車体の軽量化や気密性能の向上、車外騒音やトンネル微気圧波の低減などの環境問題等々多くの課題をクリアする必要がある。しかし、こうした課題の中でも台車の高速走行安定性能については、安全上からも特に重要な課題であるため種々研究開発を進めている。例えば、既に実用化している新幹線電車用ボルスタレス台車の走行安定性能を

さらに向上させる方策として

- ① 台車の軸距を現状の2.5mから3.0m程度に長くする
- ② 車軸軸受の車軸方向のすき間など軸箱支持装置内の遊間を円錐ころ軸受を採用するなどして極力小さくする
- ③ 台車のばね下質量、ばね間質量を徹底的に軽量化する
- ④ 台車に装架した実使用状態でのばねやダンパ諸元の同定（推定）方法を開発し、高速走行安定性能と曲線走行性能をバランス良く向上する適切な台車諸元を選定するなどを提案し、台上試験や新幹線電車用高速試験車による走行試験などで効果のあることを実証している。

また、環境問題も新幹線のスピードアップを検討する際の重要な課題になる。例えば、車外騒音についての最近の検討例では、運転最高速度320km/hに対しては、最新の騒音対策技術を組み合わせることにより目標値の75dBは維持できる見通しであるが、350km/hの速度で75dBを維持するためには、騒音対策技術の大幅なブレイクスルーが必要で、現状では非常に難しいレベルであるとされている。

(2) より快適な新幹線 新幹線も速度が300km/hに近づくと、車両は軌道狂いの影響と共に空力的な影響も受けて車体動揺が大きくなる。そこで、最近の新幹線電車にはセミアクティブダンパや車体間ヨーダンパなどを採用して乗り心地の向上を図っているものもある。セミアクティブダンパは、従来から車体と台車間に取り付けている左右動ダンパの減衰力を高速電磁弁を用いて瞬時に増減できるようにし、軌道狂いや空力的な外力による車体動揺を低減して乗り心地を改善するもので、制振のための動力源が不要で信頼性が高く、低コストなのが特徴である。車体間ヨーダンパは、隣接する車両の車端間に2本のダンパをレール方向に取り付けて車両のヨーイング振動を抑えて乗り心地を向上するものである。

これらの装置はいずれも車体振動をパッシブに抑制する方法であるが、さらに高速化が進み、いっそうの乗り心地向上が必要な場合は最近研究が進んでいるアクティブサスペンション等の採用も考えられる。

さらに、新幹線電車にも車体傾斜装置を採用して曲線走行速度が向上できれば、目的地までの所要時間の短縮と共に曲線走行中の左右定常加速度や曲線の前後で減速、加速する際の前後振動加速度を減らすことができ乗り心地を向上できる。

(3) より便利な新幹線 新幹線と在来線をまたがって旅行をする場合、現在は、新幹線と在来線の接続駅で必ず乗り換える必要があるが、もし、乗り換えなしに旅行ができれば大変便利である。そのための一方策として、鉄道総合技術研究所は、軌間可変台車の開発を運輸省の指導のもと、日本鉄道建設公団からの受託により進めている。軌間可変台車の構成としては、日本の高速車両用台車の特徴を考慮して主電動機付2軸台車方式としている。ただし、台車構成をシンプルにするため、主電動機を車輪に直接取り付け、歯車装置を省略した構成と、従来から実績のある平行カルダン形動力伝達装置を採用して主電動機は従来通り台車枠に装架し、歯車装置を介して車軸を回転させる構成の2種類の台車を開発している。

本軌間可変台車の開発は1994年に始まり、1998年秋には開発中の軌間可変台車を装架した3両編成の試験車を完成させ、1999年春からアメリカのコロラド州プエブロにある標準軌の高速試験線で、最高速度230km/h程度の高速耐久走行試験を実施している。2000年夏以降は軌間変換試験も平行して行いながら2000年度末までに累積走行距離60万キロ程度を目標に走行し、その後、国内での走行試験も行いながら開発を進める予定である。

軌間可変電車が実用化されれば、新幹線の沿線から離れた都市へも乗換えなしに便利に旅行ができるようになり、鉄道の利便性が大幅に向上される。

1-3 次世代・夢の新幹線

「これからの新幹線」で紹介した内容をもとに21世紀における新幹線像として、

- 乗り物の魅力は、安全に裏打ちされたスピードアップであるから、次世代新幹線の最高速度は、環境問題を考えると非常に困難な目標ではあるが350km/hとしておく
- 新幹線にも車体傾斜装置を採用することで曲線走行速度が向上し、目的地までの所要時間の大幅な短縮と曲線前後の減速、加速の頻度が減り、乗り心地が向上する
- 超高速(350km/h)化に対応するため、セミアクティブダンパ、車体間ヨーダンパなどに加え、アクティブサスペンションやアクティブ操舵システムなどを採用して、乗り心地や走行性能の大幅な向上を図る
- 軌間可変装置や車体傾斜装置を備えた新幹線、在来線直通電車の実用化で、新幹線沿線から離れた在来線沿線の都市へも乗換えなしで、速く、便利に旅行ができるようになる

といった次世代新幹線像を予測してみた。これは、あくまでも期待をも込めた次世代新幹線像だが、少しでも正夢になるように、鉄道総合技術研究所も500km/hまでの台上走行試験が可能な車両試験装置やプレーキ試験装置、大形低騒音風洞などの大形試験装置を駆使し、JR各社と協力しながら研究開発を進めていきたい。

2 リニアモーターカー (図1)

2-1 リニアモーターカーへの期待

前述のように新幹線は大きな進歩を遂げてきたが、最近の「ひかり」から「のぞみ」への乗客のシフトに見られるごとく、更なる高速化へのニーズは極めて大きい。ところが、車両にモータなどを搭載し、電気を架線から集電し、レールの上を走行するこの従来形の鉄道では、この先さらに大幅な速度向上を目指そうとすると、

- ① 車載機器の容積・重量が著しく増加してしまう
- ② 集電が困難になってくる
- ③ 車輪・レール間の摩擦が減少し車輪が滑り易くなる

などの問題が生じてしまう。これまで目覚ましい進歩を遂げてきた新幹線を始めとする世界の高速鉄道も、そろそろ速度の限界が見えてきたのである。

そこで鉄道総研はJR東海と共同で、最新のテクノロジーを駆使して上記の限界を払しょくする、超高速走行に最適化した新しい鉄道、超電導磁気浮上リニアモーターカー(以下、リニアモーターカー)の開発を進めている。

2-2 リニアモーターカーの仕組みと特長

(1) リニアモータ 「リニア」はもともと「線形の」を意味する言葉であり、リニアモータとは通常のモータを切り開き進行方向に展開して、回転ではなく直線運動を行わせるモータである。リニアモーターカーにおいては、車上にモータの一部として軽量でかつ強力な超電導磁石を搭載し、軌道側にモータの残りの部分を敷設する。電力はモータの軌道側に供給するので、変圧器やインバータをはじめとするさまざまな機器は車両に搭載する必要がなくなり、大出力にもかかわらず車両を極めて軽量スリムにすることができる。このタイプを地上一次式リニアモータと称している。いわば、荷を背負って走る代わりに、腕節の強い男が道沿いに並びバケツリレーをするようなものである。運ばれるバケツに相当するのがリニアモーターカーである。当然、推進用電力の集電も不要となるし、車輪のスリップにより速度が制限されることもない。

(2) 磁気浮上・案内 超電導磁石の強力な磁力は推進のほか、車両を浮かせ軌道内をガイドするためにも用いる。U形ガイドウェイの側壁に「8」型の浮上コイルを敷設する。超電導磁石がその脇を通過すると、電磁誘導現象によりコイルに電流が誘起され、「8」の上下コイルが電磁石となって超電導磁石すなわちこれを搭載する車両に浮上力を与える。左右側壁の対応する浮上コイルどうしを結ぶことにより左右の案内力も得られる。

浮上や案内は自然安定系であり、外部からの電力供給も制御も不要である。低速ではコイルに誘導される電流が小さいため発生力が不足し、補助の支持輪や案内輪が必要であるが、時速100km/h程度以上では十分な力が得られ、200km/h以上では速度に対しほぼ一定となる。車両を多くの地上コイルで同時に支えるため、仮に一つのコイルが欠落しても走行にはほとんど影響を与えない。磁気浮上は効率的にも優れており、航空機の翼に比べ揚抗比(浮上力と走行抵抗の比)は5倍以上である。

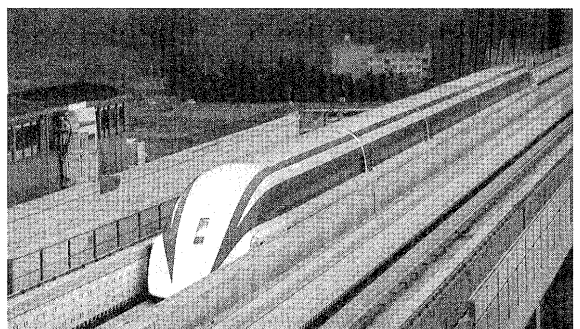


図1 リニアモーターカー

2-3 開発の経緯

超電導技術のレベルが低かった時点では、このような従来形とはかけ離れた鉄道の開発に疑問の声もあったが、旧日本国有鉄道（国鉄）は、超高速鉄道として本質的に優れた特性を有している本システムの研究開発を1970年から推進してきた。

宮崎県下に延長7kmの実験線を建設して1977年より走行実験を開始、1979年には517km/hを記録し、高速走行に関するポテンシャルの高さを実証している。

その後、同実験線には有人形の実験車が投入され、さまざまな実験が行われた。

しかし宮崎実験線は、延長が短く単線で、トンネルがなくこう配もほとんどないなど、実用化に必要なデータを取得するには限界があった。一方、国鉄改革後、東海道新幹線の旅客は急増し、リニアモーターカーの早期実用化を望む声が高まった。そこで建設されたのが山梨実験線である。

(1) 山梨実験線 山梨実験線は全長18.4kmで、トンネル区間が16.0kmと大半を占める。一部は複線で営業線を模倣した高速すれ違い走行試験が可能である。

ほぼ中央部の明かり区間に設けた変電所は、受電した電力をインバータで可変電圧・可変周波数の交流に変換して、軌道上のリニアモータに給電する。

車両は、2編成計7両を開発した。車両断面積を極力小さくするため、台車を連結部に配置する低床連接方式を採用している。地上一次リニアモータを採用しているため、積車で新幹線の1/2の約20tと極めて軽量である。超電導磁石を搭載しているため磁界を気にされる方もいるが、山梨実験線車両では磁石直近の座席の座面でも4 Gaussに抑えられている。これはペースメーカー装着者に配慮した病院の基準値5 Gaussをも下回る値である。

(2) 走行実験の経緯 山梨実験線における走行試験は1997年4月に開始した。まず低速車輪走行により、車両、走行路のどちらにも不具合がないことを確認した後、浮上走行に移行し、以後、車両の動きやブレーキ性能を確認しながら順次速度を上げていった。速度向上は非常に順調に進み、同年12月には鉄道の世界最高速度531km/hを有人で記録、さらに無人では山梨実験線の目標最高速度550km/hを達成している。

同年末には第2編成列車が完成し、2列車を同時に運転して、さまざまな試験を行うことが可能となった。待避・追い越し試験、続行運転試験、高速すれ違い試験などである。これまでに相対すれ違い速度1003km/hまで実施し、問題のないことを確認している。

1999年2月、車両を組み替えて5両編成列車を組成した。営業線の列車は長大編成となるため、それに向けての諸特性の確認を行ったのである。5両編成でも問題となるような現象は認められず、同年4月14日には有人で552km/hを達成、わずかながら速度記録を更新している。

5両編成のデータをひととおり取得した後、5月に3両×2編成に戻し、以後、信頼性確認のための高速連続走行試

験を進めた。500km/h台の走行を多い日は1日に44回実施するなど順調に実績をあげている。

2-4 今後の計画

山梨実験線における走行実験は1997～1999年度の3箇年間で計画していた。この間、大したトラブルもなく、最高速度550km/hや相対すれ違い速度1000km/hなど、当初目標としたものはすべて達成した。本システムを技術面から評価する運輸省に設けられた浮上式鉄道実用技術評価委員会においても、「長期耐久性、経済性の一部に引続き検討する課題はあるものの、超高速大量輸送システムとして実用化に向けた技術上のめどは立ったものと考えられる」との評価をいただいている。

今後に向けた課題である、長期耐久性の確認、コスト低減、車両の空力特性の改善については、引続き5年間を目標として、精力的に走行実験・開発を進めることとしている。

2-5 20XX年リニアの旅

20XX年10月、東京駅地下ホームを発車した私の乗る超特急は急こう配を滑るように下ってゆく。リニアモーターカーはこう配を苦しめないで、駅の直前まで大深度地下トンネルでもターミナル駅は地表近くに設けられるのだ。都心の地下深くをトンネルは一直線に貫く。シートに背を押しつけられるような快い加速が続くこと3分、はや列車は500km/hに達している。中央線なら新宿～立川間を3分余りで走り抜けるという猛スピードだ。しかし揺れもほとんどない静かな車内では速度はあまり感じられない。

やがて大トンネルを抜けると、左手に時折富士山が顔をのぞかせるようになる。しかし写真に収めるのは私の腕では難しい。明かり区間に出ると500km/hという高速を実感させられる。ほどなくもとの実験線区間である。かつてはここでリニアの開発が行われていたのだ。先人の努力が今日の日本の大動脈「リニア中央エクスプレス」に結実したのである。しかし過去に想いを馳せる間もなく、列車は中央アルプスを抜け、名古屋に到着する。そして東京発車からわずか1時間後には終着駅大阪の地下ホームに滑り込んだ。素晴らしい乗り心地、1時間で降りねばならないのが残念だ……

2-6 21世紀への飛躍

超電導磁気浮上式鉄道は、超電導磁石を始めパワーエレクトロニクス、通信等の最先端テクノロジーを結集した全く新しい鉄道であり、170年に及ぶ鉄道の歴史始まって以来の大きなシステムチェンジとなる。空気抵抗以外に速度を制約する要因がないことから、将来的には減圧チューブ等と組み合わせさらに飛躍的な速度向上も視野の中に入って来よう。日本の独自技術として世界の注目を浴びつつ、今、21世紀、22世紀をにらんだ夢の超高速鉄道が誕生しようとしている。

(原稿受付 2000年8月4日)