



新幹線は40年でどう変わったか

日本の技術力の象徴とも言われる新幹線が誕生してから、40年が経った。高速で日本の主要都市を結び、経済発展を支えてきた新幹線は、運行の正確さや安全性の点でも、世界に誇る優れた輸送システムである。40年の間に社会や経済は大きく変化し、新幹線は運行網の拡大とともに技術的にもさまざまな進化を遂げ、時代のニーズに応じてきた。

今回は、新幹線の車両技術を中心に、これまでの技術の進化、さらにそれを支えてきた鉄鋼材料について紹介する。

2004年3月に開業した九州新幹線。日本列島を縦断する新幹線網に期待が高まっている。(写真提供:毎日新聞社)

日本の経済成長の象徴——新幹線の誕生

2004年3月15日、九州新幹線「つばめ」の新八代—鹿児島中央が開通した。将来はさらに博多とつないで、山陽新幹線と接続されることが決まっている。これで、全国に延びる新幹線の営業路線は2,338kmとなった(ミニ新幹線除く)。

経済成長期にあった1950年代の日本では、東海道線の輸送力が逼迫し、輸送力増強が必要となり、東京と大阪を結ぶ新幹線の建設が決まった。

わが国初の新幹線である東海道新幹線は、1964年10月に東京—大阪515kmが営業運転を開始した。東海道新幹線は、在来線とは別に線路を敷設したために、路線の多くを200km/hで運転することができ、所要時間4時間に短縮した(翌年から3時間10分)。東京、横浜、名古屋、京都、大阪という大都市を結んだこともあり、営業的にも大成功を収めた。

新幹線は、在来線とさまざまな違いがある。軌道は在来線の狭軌(1,067mm)でなく標準軌(1,435mm)であり、曲線での高速走行がしやすくなった。車体断面も大型化し車体幅は在来線の3.0mから3.4mとなり、室内空間が広がった。また、交流

25kVを電源とした(在来線は直流1500V、交流20kVなどが一般的)ことにより、従来より大きなパワーが得られるようになった。編成では、動力を分散する電車方式とし、線路などへの負担を少なくし、加速・減速性能を向上させた。さらに、高速運転で、高密度の運行を支える制御システムとして、自動列車制御装置ATC(Automatic Train Control)が開発され、また列車位置を中央の指令所で把握する集中列車制御装置CTC(Centralized Traffic Control)が採用された。

東海道新幹線が開通したときの営業車両は0系車両である。白い車体に青い線、先頭車両の丸いデザインは、多くの人々に親しまれ、その後の新幹線車体デザインの基本となった。

速度向上と新幹線網の広がり

東海道新幹線の成功をうけ、1970年には「全国新幹線鉄道整備法」が制定され、基本計画路線12線13区間のうち、優先して建設する新幹線を整備新幹線とした。これにより、東北新幹線、上越新幹線が順次着工され、ともに1982年に開業し、耐雪対策装備を搭載した200系車両が開発された。

これに先立ち、1972年に山陽新幹線が開業した。東海道新幹線との乗り入れも多く、新大阪を境とする輸送量の差に合わせ、16両編成のほか12両、6両などの編成が試みられた。

1987年、国鉄は分割・民営化し、新幹線の開発・建設の主体はJR各社に移った。これによりJR各社のサービス向上、技術向上がいつそう図られるようになり、速度向上も推進された。

1992年、JR東日本は将来の300km/h営業運転の可能性を追求したSTAR21試験車を開発した。ほぼ同時期（1992年）にJR西日本は最高350km/hを目指したWIN350試験車を開発した。

1992年、東海道新幹線に「のぞみ」が登場し、300系車両が使用された。「のぞみ」は270km/hの高速走行をするための車両軽量化や、騒音や振動の対策のための新技術が多く搭載された。

1997年には、WIN350の成果を取り入れた500系車両が300km/hの営業運転を開始した。

300系車両や500系車両などの成果を生かし、高速化と快適性向上を目指して開発されたのが700系車両で、最高速度は東海道区間270km/h、山陽区間285km/hである。現在建設が進められている台湾新幹線車両の設計は700系車両が基本となっている。

新幹線のネットワークを広げるために導入されたのが、車両限界の小さい車両により新幹線と在来線を直通運転する、いわゆる「ミニ新幹線」であり、1992年の山形新幹線、1997年の秋田新幹線で採用された。またミニ新幹線ではないが、同年に北

■新幹線の開業の歴史

- | | | |
|------|----------------------------------|--|
| 1964 | 東海道新幹線（東京—大阪）開業 |  |
| 1972 | 山陽新幹線（新大阪—岡山）開業 |  |
| 1975 | 山陽新幹線（岡山—博多）開業 |  |
| 1982 | 東北新幹線（大宮—盛岡）開業
上越新幹線（大宮—新潟）開業 |  |
| 1985 | 東北新幹線（上野—大宮）開業 |  |
| 1991 | 東北新幹線（東京—上野）開業 |  |
| 1992 | 山形新幹線（福島—山形）開業 |  |
| 1997 | 秋田新幹線（盛岡—秋田）開業
長野新幹線（高崎—長野）開業 |  |
| 1999 | 山形新幹線（山形—新庄）開業 |  |
| 2004 | 九州新幹線（新八代—鹿児島中央）開業 |  |

0系車両

200系車両

100系車両

400系車両

300系車両

E1系車両

E3系車両

E4系車両

ヨーロッパの高速鉄道と新幹線の違い

1950年代、鉄道技術で世界をリードしていたフランスの鉄道の営業最高速度は約160km/hで、将来的には200km/hに達するだろうと考えられていた。1964年に日本で最高速度210km/hの新幹線が登場したことは、フランスを始め世界の人々を驚かせた。さらに営業面でも成功を収めたことから、その後の世界的な列車高速化の先駆けとなった。

フランスの高速鉄道TGVは、1981年の開業時に260km/h、1983年には270km/hの運転を開始し、新幹線に替わり最高速度世界一となり、さらに1989年には300km/h運転を成功させた。またドイツでは、1991年にICEという高速鉄道が開業し、2002年に300km/hを達成した。

日本では、1980年に東北新幹線で240km/h、1989年に270km/h運転を開始した。1997年、山陽新幹線で300km/h運転に成功し、この時点で最高速度はTGVと並んだ。

ヨーロッパと日本の鉄道には、いくつかの違いがある。例えば鉄道の建設地は、日本では山地が多く、地盤が柔らかいのに対し、ヨーロッパでは平地、とくに田園地帯が多く、地盤が固い。そのためヨー



フランスTGV



ドイツICE

ロッパでは、騒音や振動の心配が少ない。また日本の鉄道には駅間距離が短い、運行密度が高いなどの特徴もある。

そこで新幹線では、輸送量を多くでき、地盤が柔らかくても軌道を傷めにくく、加速・減速性能に優れた方式として、動力を各車両に分散した電車方式が採用された。ヨーロッパは以前から機関車方式の列車が多く、TGVやICEでは車両編成の両端に機関車を配した構成であり、中間の客車では比較的騒音や振動が少ない（ただし、最近では一部で電車方式も採用している）。

同じ高速鉄道といっても、開発された環境が違い、特徴もさまざまである。現在、中国などで検討されている高速鉄道計画で、それぞれに特徴のある各方式がどのように評価されるのか、興味深いところである。

陸新幹線(通称長野新幹線)が開業した。これらの開業に合わせ、400系車両、E2系車両、E3系車両が登場した。東北・上越新幹線ではこのほかにもE1系、E4系などの車両が現在使用されており、路線、ダイヤに合わせ、組み合わせて運行されている。これは、山形新幹線や秋田新幹線への直通列車との組み合わせがしやすいように考慮したためである。また1997年には、東北新幹線でE2系車両及びE3系車両により275km/h運転が開始された。

このように新幹線は、速度向上と新幹線網の延伸を続けてきた。それを支えてきたのは、より安全、快適、正確な高速輸送の実現を目指すためのさまざまな技術開発であった。

次に、新幹線を構成する多くの個別技術の中から、とくに車体と台車に注目し、40年間の開発の過程を紹介する。

先鋭化する先頭車両と車体技術

新幹線の車体は、車体幅3.4m、床面高さ1.3mで、車内の気圧変動を防ぐため気密構造になっている。

車両の先頭形状は、走行抵抗を少なくするために流線形として先端を尖らせれば尖らすほど、運転台や客室として使用できるスペースが少なくなる。

0系車両や200系車両では、先端から全断面となるまでの寸法は5m程度であり、TGVやICEも、ほぼ同様の長さである。しかし、新幹線ではトンネルが多く、トンネル通過時の微気圧波の問題(列車がトンネルに入ると、先頭部が空気を圧縮し、圧力波が

発生することにより、出口で音を出す現象)が起こり、この音は高速になるほど大きくなる。微気圧波を少なくするには、先頭形状は先端から全断面に至る部分の断面積変化率を一定とし、変化率をなるべく小さくすることが有効である。

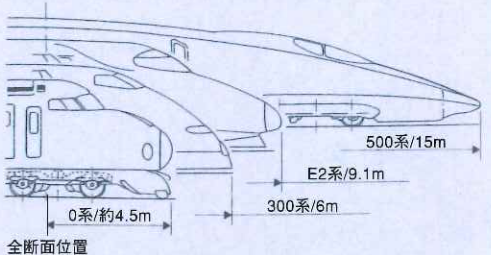
例えば、500系車両は先端から全断面までの長さが15mであり、先頭車両の長さ25mの約5分の3を占めるまでになっている。また700系では、先頭部の気流のシミュレーションなどにに基づき、くちばし状の3次元曲面を持つ形状を採用した。

車体の構造材料には、0系車両、100系車両、400系車両、E1系車両では耐候性鋼板が用いられている。構造は、軽量化を図るため、台枠、側柱、外板、屋根などにも強度を負担させるようになっている。また気密構造とするため、連続溶接により組み立てられている。

200系車両では、東北・上越新幹線の耐雪対策装備による重量増加を抑制するため、車体にアルミニウム合金が用いられた。その後、大幅な高速化を実現した300系車両では、アルミニウム合金の大型押出型材を使用することにより、軽量化とともに溶接工数削減を図っている。700系車両やE2系1000代車両では、中空形状のアルミ大型押出型材を屋根、側壁などに用いて、柱を不要とする「ダブルスキン構造」とし、さらなる軽量化、製造コスト低減を図っている。

このように、軽量化を図ってきた結果、東海道新幹線の16両編成を例にとると、0系車両の編成質量(定員乗車時)が970tであったのに対し、大幅な高速化を実現した300系では710t、500系では688tになっている。

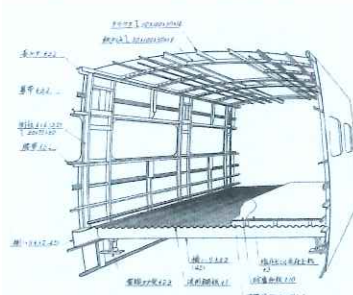
■代表的な新幹線車両の先頭形状



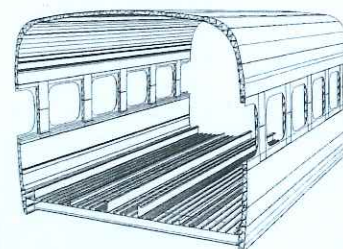
(「新幹線テクノロジー」佐藤芳彦、(株)山海堂より転載(元図より反転))



500系車両は先鋭した先頭形状を持ち、スピード感のあるデザインで人気が高い。



0系車両の車体は鋼板の溶接構造で作られた。
(「新幹線テクノロジー」佐藤芳彦、(株)山海堂より転載)



700系車両の車体はアルミ大型押出型材によるダブルスキン構造となっている。



安全と快適を支える台車の開発

台車は、鉄道車両の安全走行を支える役割を担っている。高速化が進むにつれ、信頼性、安全性の確保は重要であり、万一の事故もあってはならない。また走行時の振動や騒音の低減を始め、快適性を向上させるための技術開発も盛んに行われている。

台車の材料には、安全性、長寿命、経済性などに優れた鉄鋼材料が以前から多く使用されてきた。最近では、新幹線の高速化に対応するため、強度上適用可能な部品に対し、アルミ合金等非鉄金属なども採用されている。

台車は、台車枠、ばね装置、軸箱及び輪軸等で構成されている(下図参照)。これに駆動用の電動機、電動機からの回転力を車軸に伝える駆動装置、ブレーキ等が取り付けられている。

輪軸は、車軸に2枚の車輪を圧入した組立品であり、このうち車輪は一体成形した鍛造圧延品である。車軸には機械構造用炭素鋼が使われているが、車輪圧入部分の疲労強度向上を図るため、高周波焼入れが施されている。この方法は新幹線誕生当時から行われており、現在の車軸は車両耐用年数の間継続して使用される非常に信頼性の高いものとなっている。

ばねには、輪軸と台車枠の間の軸ばねと、台車枠と車体の間の枕ばねとの2つがある。また、輪軸を支えるための軸箱支持装置、車体を支えるための車体支持装置がある。

軸ばねと軸箱支持装置を総称して1次ばね系と呼ぶが、これは、上下方向の荷重を支えて振動を吸収、減衰させ、前後の車

■パンタグラフの形状

高速走行時の騒音対策のため、パンタグラフでは風切り音を低減する形状の開発が行われてきた。0系車両では菱形パンタグラフだったが、500系ではT字型、E3系、700系ではシングルアーム型が使用されている。最近では、パンタグラフ周囲に空気の渦ができるのを防ぎ、騒音を遮断するパンタグラフカバーが用いられている。



700系車両

500系車両

■高強度トロリ線

トロリ線とは、架線のうちパンタグラフが直接ふれる線のことである。高速走行時にはトロリ線に波動が起こり、破断疲労の原因となることもあるため、引張強さの高い材料の開発が進められている。銅覆鋼トロリ線は、長野新幹線や東北新幹線の一部に使用された。(写真提供: (財)鉄道総合技術研究所)

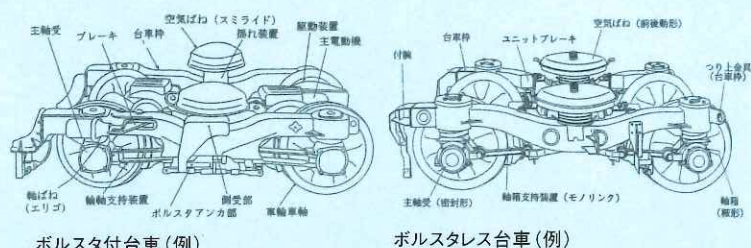


■レール

新幹線のレールは、長さ25mのレールを溶接した約1,500mのロングレールであり、継ぎ目が少ないため、継ぎ目通過時の振動、衝撃、騒音が低減できる。新幹線開業当初は50レール(1m当たり重量50kg)が使われていたが、レール寿命を延ばすため、現在は断面積の大きい60レールが使用されている。(写真提供:西日本旅客鉄道(株)福岡支社HP)



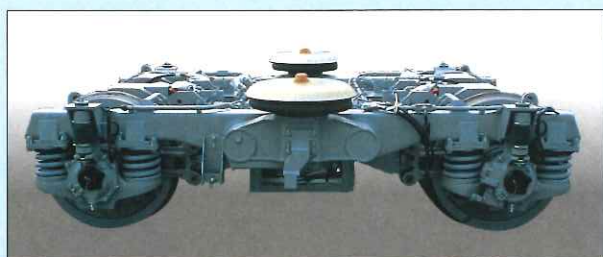
■ボルスタ付台車とボルスタレス台車の比較



ボルスタ付台車(例)

ボルスタレス台車(例)

(「鉄道車両のダイナミクス」日本機械学会編、(株)電気車研究会より転載)

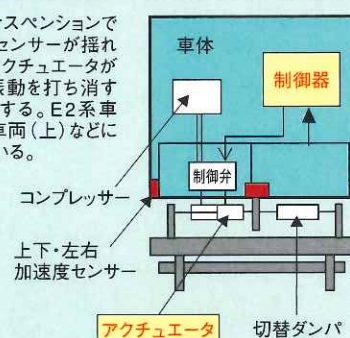


300系車両のボルスタレス台車。ボルスタ省略、高強度鋼材採用などにより大幅な軽量化を実現した。

■アクティブサスペンションの仕組み



アクティブサスペンションでは、加速度センサーが揺れを感じ、アクチュエータが積極的に振動を打ち消すように作動する。E2系車両1000台車両(上)などに採用されている。



次世代の東海道山陽新幹線車両を想定して開発が進んでいるN700車両(イメージ)



軸を平行に保つ機能を持っている。とくに高速走行時に車軸の前後左右の運動を抑制することにより乗り心地をよくする機能を持っている。

一方、枕ばねと車体支持装置を総称して2次ばね系と呼ぶ。2次ばね系は、車体と台車の間にあって、左右、上下、前後、ヨーイング(上下軸回りの回転)及びローリング(前後軸回りの回転)の運動を吸収あるいは減少させる働きをしている。

新幹線の0系車両、200系車両、100系車両の2次ばね系は「ダイレクトマウント式」と呼ばれ、台車枠の上にボルスタ(枕ばり)を載せ、ボルスタの上に枕ばねを配置して車体を支持するようになっている。

大幅な軽量化を図った300系車両では、ボルスタレス台車が導入された。これは、空気ばねの前後方向のたわみで台車の回転方向の変位を吸収し、ボルスタを省略した台車で、これにより大幅な軽量化が可能となった。このほかにも300系車両では、直流モータから交流モータへの変更、台車枠への高強度鋼材(板材SM490YB、鋼管STKM18B)採用などの軽量化対策が施され、1台あたり台車重量は100系車両の約10.1tから300系車両では約6.6tに軽量化した。

ばね部に制御機構を設けて、振動を積極的に抑制する「アクティブサスペンション」も開発され、枕ばねに並列に設けた空圧シリンダ制御等の方式が試みられている。東北新幹線「はやて」のE2系1000代車両は、振動が少ないことで人気を集めているが、これはアクティブサスペンションの採用によるところが大きい。車体の揺れを振動加速度センサーで感知し、台車に取り付けたアクチュエータで車体の振動を積極的に打ち消すことにより、振動は半分以下に抑えられている。

車体のこのほかの箇所、例えばモータや制御装置、集電装置、ブレーキなどの箇所でも、さまざまな技術開発が行われてきた。とくに最近では、振動や騒音対策、乗り心地の向上などのための研究が進められている。

さらなる高速化で日本を駆ける次世代新幹線

現在、JR各社では、次世代新幹線の高速化計画を進めている。

JR東海とJR西日本では、現在次世代車両「N700」の開発を進めており、2004年度に量産試作車を完成する予定である。この車両は700系車両をベースに高速走行での安定性、乗り心地、静粛性、快適性をいっそう高め、さらに環境適合、省エネルギー化を目指したものである。最高速度は、東海道で270km/h、山陽で300km/hである。とくに空気ばねを活用した車体傾斜装置の採用により、現在速度制限をしている曲線部でも270km/h走行が可能となり、これにより東京-大阪間は約5分短縮できるという。先頭車両は最新のシミュレーション技術による



最高速度360km/hを目指して開発されている高速試験電車(イメージ)

空力解析から生まれたデザインで「エアロ・ダブルウイング形」と呼ばれている。

一方、JR東日本では、最高速度360km/hの営業運転を目標とした高速試験電車の製作、試験を実施する。新幹線専用車両と新在直通車両の2編成である。試験電車は、新幹線専用車両は2005年夏、新在直通車両は2006年春の落成予定で、2007年度までに東北新幹線を中心に各種走行試験が実施される予定である。この車両では、小型高出力モータや高速対応ブレーキ、信頼性の高い台車や車体構造、各種の騒音低減対策、台車サスペンションや動揺防止装置、空気ばね使用車体傾斜装置などの新技術が搭載される。この車両を用いて、今後、車両の走行安定性、地上設備や環境に与える影響、車内快適性などを総合的に評価・検証していくとしている。

現在の東北新幹線の最高速度は275km/h(盛岡以北は260km/h)である。最高速度360km/hが実現すれば、現在「はやて」が走る東京-八戸間の時間短縮が図れ、航空機との競争で優位な立場に立つだけでなく、さらに青森や北海道への直通運転への期待も高まる。

新幹線の今後10年、20年先を考えたとき、日本の経済や社会の変化の中で、新幹線の需要はどのくらい増加するのだろうか。航空機や、将来的にはリニア新線など他の交通機関との競争もあるだろうし、役割が変化することなども考えられる。

鉄道は、航空機などに比べ少ないエネルギーで効率よく輸送することができる交通機関である。新幹線は、将来の環境を考える上でも、重要な幹線交通機関の役割を果たしていくことが期待される。私たちにとって安心、便利、快適な交通手段として、幅広く親しまれている新幹線は、さらに人に地球にやさしい技術を搭載して、未来を目指しているのである。(文中敬称略)

●取材協力 東日本旅客鉄道(株)、東海旅客鉄道(株)、西日本旅客鉄道(株)
●取材・文 杉山 香里