

産業界の技術動向**東海道新幹線と700系の開発について**

東海旅客鉄道（株）新幹線鉄道事業本部車両部長
石 津 一 正
RXY00767@nifty.ne.jp

1. はじめに

1999年3月から東京～博多間に東海道・山陽新幹線に投入された電車としては5世代目のモデルとなる700系電車が走り始めた。これは東海道新幹線を運営する当社（JR東海）と山陽新幹線を運営するJR西日本が初めて共同開発したもので、静かな車内や乗り心地の良さ、広い車内空間などが皆様に歓迎されている。

700系を駆動するのは誘導電動機であるが、制御装置に新しく開発された大容量IGBTが使用されている。また制御装置の中核にはマイクロコンピュータやICなどが数多く使用されており、車両のなかに占める電気・電子機器のウエイトはかつてないほど大きくなってきている。

以下、700系の紹介とともに、今後の鉄道技術のあり方について私見を交えて述べてみたい。



図1 新「のぞみ」号用700系新幹線電車

2. 東海道新幹線と300系「のぞみ」の誕生まで

1964年の東海道新幹線の開業は、鉄道の中で欠かすことのできない出来事である。それは世界で初めて200km/h以上の運転を始めたことも特筆すべきことながら、どちらかといえば当時衰退する運命にあると考えられていた鉄道が航空機や自動車とともに現代の交通機関たりうることを改めて証明した点にある。

東海道新幹線は日本経済の高度成長と重なったこともあり、開業以来利用者は増え続け、増発や増結を行なった。また、山陽新幹線への延長（1972年岡山、1975年博多）東北・上越新幹線、さらには長野新幹線の開業など、新幹線の路線は大きく拡大した。東海道新幹線の速度は開業以来210km/hに据え置かれていたが、1986年に220km/hにアップされた。

国鉄の分割・民営化（1987年）の後、東海道新幹線の運営を当社が承継した後の1992年、速度をさ

らに50km/hアップし270km/hで走行する300系「のぞみ」号が誕生した。東海道新幹線は最小曲線半径2500mで建設されており、この曲線で乗り心地を悪化させないで走れる速度は250km/h程度である。このため、あまり高い速度としても時間短縮効果が小さく、次の環境問題を考慮して最高速度は270km/hに設定された。

日本の国土は狭く、鉄道線路沿線にも多くの住宅があり、また地盤も欧州などと比べると脆弱である。このため沿線の騒音や地盤振動は大きな問題になる。300系は速度が50km/h高くなっても既存車の騒音レベル以下に抑えるべく技術開発が進められた。高速時に最も卓越してくるのが先頭部やパンタグラフ部などから発生する空力音である。特徴ある先頭形状やパンタグラフ周りを覆う大きなカバーはこれら空力騒音を低減するために開発されたものである。また地盤振動は車輪一軸当たりの重量（これを「軸重」という）の大きさに依存することから、速度向上に見合う軸重の大幅縮減、すなわち車両の軽量化に力が注がれた。この軽量化を進める上で大きく寄与したのが、「アルミ車体」「ボルスタレス台車」「VVVF制御と回生ブレーキ」の採用である。

「のぞみ」号が1992年に運転開始すると利用者は逐次増加し、東京～新大阪間2往復でスタートしたものが翌年には博多までの1時間毎運転となり、1999年4月現在で1日上り下り合計70本の「のぞみ」号が設定されている。



図2 初代「のぞみ」号用300系新幹線電車

3. 700系の開発

3. 1 700系の開発コンセプト

300系の成功を契機として、JR東日本はSTAR21、JR西日本はWIN350という試験電車を作りそれぞれ更なる技術開発に取り組み始めた。

また当社でも技術開発は間断なく続けていく必要があるとの認識から、300系の営業開始から間もない1995年に300Xという新しい試験電車を作り、環境騒音や地盤振動、乗り心地、集電装置などをテーマに走行試験や技術開発を進めてきた（この車両は1996年7月に443km/hという国内における最高試験速度を記録している）。またJR西日本はWIN350の成果を基に500系を開発し、山陽新幹線で日本で初めての300km/h運転を実現させた（1997年）。

こうした当社の300X技術開発やJR西日本のWIN350や500系の開発で得られた成果をあわせれば、300系よりさらに性能が良く効率的な車両を作ることができるはずである。東海道新幹線と山陽新幹線は直通運転しているので車両は共通に運用できることが望ましいし、何よりも共同開発により開



図3 443km/hという国内最高速度記録を持つ300X試験電車

発コストが節約できる。こうして誕生したのが700系である。700系は1997年秋に量産先行車1編成が完成し、1年半にわたる各種性能試験や42万kmの長期耐久試験を終え、今年3月から営業運転に入った。

先に述べたように軽量化のため「アルミ車体」「ボルスタレス台車」「VVVF制御による回生ブレーキ」を採用したのが300系であった。700系の開発コンセプトはこれらに「乗り心地、静粛性、車内アコモデーションなど居住性と快適性を向上する」「トンネル微気圧波や車外騒音など環境問題に配慮する」「自動検査機能の導入などによる保守省力化をはかる」「300系と共通運用するため各号車毎の定員を等しくする」等の新たなコンセプトが追加された。東海道区間での速度向上は難しいので最高速度は270km/hとし、山陽区間では可能な限りの速度向上をはかることとした（最終的には285km/hとなった）。さらに、新製価格は300系並に抑えることが設計方針とされたのである。

3. 2 300系と700系

300系以前の新幹線の車体が鋼製であったのを300系ではアルミ製とした。700系ではさらに考えをすすめ、骨組みを省略できるパネル方式を採用した。即ち中空式の大型押し出し型材（パネル）を長手方向に連続溶接して組み立てている。新幹線の車体はトンネル突入時などの圧力変化に伴う不快感（耳がツンとするので「耳ツン」と呼んでいる）を防止するため気密構造である。700系の構造は圧力に強く気密もとりやすい。また、部品点数が少なく溶接のロボット化が容易でコスト低減効果も大きい。

台車は300系と基本的に同じ構造としたが、700系では走行安定性と乗り心地の改善のため円錐ころ軸受けを採用した。

300系開発当時、PWMインバータによる誘導電動機駆動は直流方式の国内の地下鉄・私鉄等ですでに使用されていたが、新幹線は交流電気方式を採用しているため300系の制御装置はインバータの前段にPWMコンバータを備えている（コンバータとインバータを合わせて「主変換装置」と呼ぶ）。またそれまでの新幹線がブレーキ時のエネルギーを熱として放散する発電ブレーキであったのに対し、300系では電力回生ブレーキを採用し抵抗器等が不要になった。これらの制御は300系ではGTOサイリスタを使ったため変調周波数は最大420Hzとしたが、700系では変調周波数を高く（1500Hz）できる新開発の大容量IGBTを制御素子として採用、さらに3レベル制御を併用したので、従来耳ざわりであった主変圧器や主電動機からの磁歪音が殆ど聞こえなくなり、静粛な室内を

実現することができた。

3. 3 700系の特徴

700系の主な仕様を表1に示す。

700系の開発コンセプト「快適性向上」のうち、乗り心地改善策として、車体と車体をオイルダンパで連結し相互に振動を抑制する「車体間ダンパ」と、車体と台車を結ぶオイルダンパの減衰定数を制御して軌道からの振動を伝わりにくくする「セミアクティブ制御」を採用した。

車内騒音の低減としては、先に述べたようにIGBTを制御素子として採用し磁歪音の発生を抑えたこと、車体に制振材を詰めた中空型材を採用したこと、全ての電動車に床をゴムで弾性支持する浮き床構造を採用したこと等があげられる。

また冷房能力を1割程度大きくし、空調吹き出し位置を天井から荷棚の高さまで下げダクト損失を低減した（空調機は床下にある）。空調ダクトが無くなったため天井は300系より4～6cm高くなり、ひろびろとした車内空間が得られた。この他照度の向上、腰掛背もたれを高くする等車内環境のきめ細かい改良にも配慮した。

表1. 700系の主な仕様

項目	700系	300系
全体編成	16両 (12M4T)	16両 (10M6T)
電気方式	AC25kV	同左
最高速度	270km/h (山陽285km/h)	270km/h (山陽270km/h)
定員 グリーン席	200名	同左
普通席	1123名	同左
車体構造	アルミ中空押し出し型材	アルミ押し出し型材
長さ (中間)	25,000mm	同左
(先頭)	27,350mm	26,050mm
幅	3,380mm	同左
高さ	3,650mm	同左
床高さ	1,300mm	1,325mm
空調容量 冷房	58,000kcal/h	53,000kcal/h
暖房	34,000kcal/h	同左
集電装置	シングルアーム式	下枠交叉式
力行制御	コンバータインバータ方式によるVVVF制御	同左
ブレーキ方式	回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ	同左
主変圧器	外鉄形 (4,160kVA)	同左 (2,900kVA)
主変換装置	PWM式 (IGBT) 3レベル式 ベクトル制御	PWM式 (GTO) 2レベル式 -
主電動機	三相誘導電動機 (275kW)	同左 (300kW)
振動制御	セミ・アクティブ制御	-
台車 構造	ボルスタレス式	同左
軸距	2,500mm	同左
車輪直径	860mm	同左
歯数比	2.96	同左
動力伝達方式	WNギアカップリング式	同左

「環境問題に対する配慮」としては微気圧波と騒音の低減がある。微気圧波とは列車のトンネル突入時に発生する圧縮空気がトンネル出口で膨張する時に出る破裂音のことで、対策としては車両の先頭形状を長くして尖らせたり、トンネル入り口にスリットの開いたフードを設ける。700系は山陽新幹線での最高速度を285km/hに向上するため、先頭形状の長さを300系の6.0mに対して9.2mと長くした。先頭形状は「エアロストリーム」と呼ぶもので、微気圧波対策と空力騒音低減を考慮したものである。

騒音低減としては先頭形状の改良の他、シンプルな構造のシングルアームパンタグラフと碍子カバーの採用、また車両間をわたる高圧ケーブルヘッドをジョイント・ケーブル化するなど車体外部の凹凸を極力小さくした。

さらに「保守省力化」としては、保守点検を容易な機器構造及び電子機器の自動検査システムを採用し、定期検査要員の縮減をはかった。

3. 4 コストの低減

新製価格を300系並とすることを目標にコスト抑制設計を行なった。コスト抑制に最も効果があったのは、先述したパネル方式車体構造の採用と動力ユニットの削減である。

新幹線車両は架線から電力を採り入れ変圧器、主変換装置により誘導電動機を駆動する。これらの一連の動力システム単位を動力の「ユニット」と呼んでいる。このユニット数を300系の5から700系では4に減らした。1ユニット4両の内電動車は3両である（3両のMotorcarと1両のTrailerなので「3M1T」と呼ぶ）。1編成は16両なので12M4Tとなる。編成での出力は300系が12,000kWに対し700系は285km/h運転のため13,200kWと1割方大きくなっている。

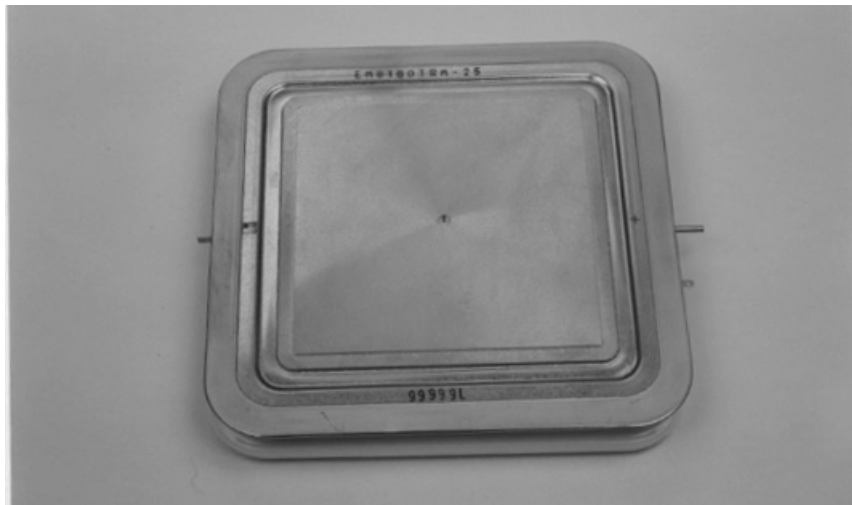


図4 700系に使用されている大容量（2500V-1800A）IGBT

4. 鉄道の技術分野と技術者

電気が鉄道の動力として用いられたのは、1879年にベルリンの博覧会で小型の電気機関車が運転されたのが始まりとされる。その後電気鉄道は今日のように発達を見た。地上の変電設備や車両の動力装置をはじめ、信号、通信等動力以外の分野にも応用範囲がひろがり現在に至っている。特に近年ではVVVF制御などのパワーエレクトロニクス技術やCTCにおける列車制御システム、ダイヤ作成システムや防災システム等のコンピュータ応用技術の発展が著しい。

高速鉄道の分野では、東海道新幹線開業当初の200km/h前後の速度が今日では300km/h程度まで高

くなり、車両の軽量化技術や環境問題の対処に新しい分野の技術が採り入れられるようになった。その最たるものは空気力学等の航空機技術である。空気抵抗は東海道新幹線開発時にも研究され、航空機に似たあの独特の先頭形状が採用されたが、今日では床下形状や屋根上のパンタグラフやパンタグラフカバーの形状にまで研究が及んでいる。またトンネル内の微気圧波や列車のすれ違い現象などはこれまでの航空工学の分野になかった新しい問題である。鉄道車両の技術者は蒸気機関車の時代にはほとんどが機械工学出身であったが、今日では電気工学はもとより電子工学やコンピュータ技術、最近では航空工学出身者までもが加わっている状況である。ちなみに700系は300系に対し15%空気抵抗が低減されている。

国鉄の研究部門であった鉄道技術研究所は、国鉄分割・民営化後は財団法人鉄道総合技術研究所（略称「鉄道総研」）となっている。当社にとって鉄道総研との連携は欠かせないが、鉄道技術のすそ野の広がりに対処するため鉄道総研以外の機関などへの研究委託も実施してきた。鉄道技術に関する国際会議に参加してみると、日本からは鉄道事業者、メーカーが殆どであるが、欧州等では大学からの発表も多い。私見であるが鉄道事業者の情報公開が少ないことと大学等での研究が産業界と距離があることの双方に原因があるように思われる。今後は大学等の公的な研究機関との結びつきをさらに強めていく必要があると考えている。

鉄道には常に最先端の技術が必要とされているわけではなく、むしろ安全で信頼性の高いシステムが望ましい。経営面からは製造コストや保守コストを下げること、省力化等を考慮することが重要である。また軌道や電気設備など境界技術との調和も重要で、鉄道の車両技術者としての要件は、特定の分野に造詣が深いことと同時にこうした幅広い分野にも興味と理解があり、かつマネジメント的センスを持っている人、といったら欲張りすぎだろうか。

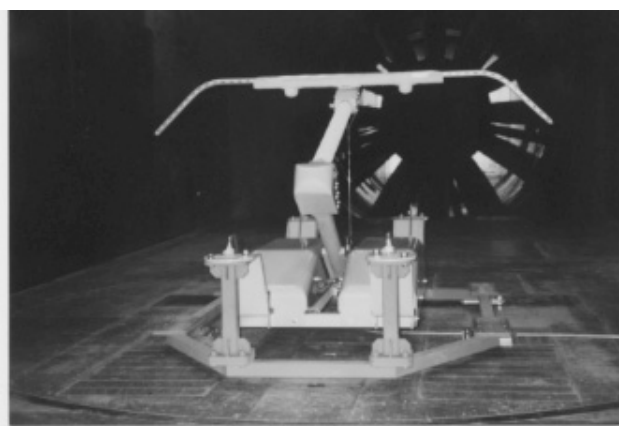


図5 風洞試験中のシングルアーム式パンタグラフ

5. 海外の高速鉄道の動向

東海道新幹線の成功に刺激を受け、1960年代後半頃から欧州でもフランス、ドイツ、イタリア等で鉄道高速化への取り組みが始まる。フランスは新幹線に遅れること17年目の1981年秋にTGV南東線（260km/h、翌年270km/hにアップ）を、1989年にはTGV大西洋線（300km/h）を開業させた。またイタリアでは1988年に、ドイツでは1991年にいずれも最高速度250km/hでの営業運転が始まった。この他スペイン、ベルギー等でも250km/h以上での高速運転が行われている。

また、近年の東アジアの経済発展に伴い、韓国、中国、台湾でも高速鉄道の建設の計画が進められている。韓国ではフランスTGVの技術が導入されることが決まっているが、中国、台湾では欧州また

は日本のいずれの方式を採用するのか検討の段階にあり、当社も微力ながら両国への技術協力に加わっている。これらの比較検討の対象とされているのは、欧州方式がフランス、ドイツで採用されてきた機関車が客車列車を牽引する方式であり、対する日本の新幹線は電動車を多数連結する電車方式である。これらの方式の優劣を詳細に述べるのは別の機会にゆずるとして、鉄道の高速度化においてとりわけ厳しくなる粘着とブレーキの問題について簡単にふれておきたい。

粘着とは車輪からレールに振動力を伝える摩擦のことで、この場合の力と重量の比を粘着係数という。この係数が高いことが車両にとって望ましい訳だが、残念ながら速度にほぼ反比例する傾向があり、降雨時などでは極端に低下する。機関車は駆動軸数が少ないため軸重を大き目にし様々な工夫で粘着性能低下を補っている。しかし空気抵抗は速度の2乗に比例して増加するため、高速では動軸の少ない機関車方式は空転が起き易くなる。

またブレーキでは、機関車列車の客車はディスクなどの機械ブレーキにたよるしかない。停止時に吸収することになる運動エネルギーは速度の2乗に比例するため、車両は対応できるブレーキ容量が必要である。多くの軸でVVVF制御による電力回生ブレーキが使える電車方式の場合、高速化にも対処しやすい。停車駅が多い路線の場合には、機械ブレーキの保守コストの差にも着目する必要がある。

このように、高速鉄道においては電車方式が本質的な優位にあることは明白である。ドイツが3世代目の高速車両として開発したICE 3は、それまでの機関車方式をやめて電車方式を採用したのは注目すべき出来事といえよう。



図6 電車方式を採用したドイツの高速車両ICE 3

6. あとがき

鉄道は航空機や自動車と比較して二酸化炭素排出量が少ない交通機関であり、またエネルギー源も化石燃料以外へと多様化しやすい。特に地球環境問題を考える時このことは重要で、人口密度が高いアジアの交通機関として最も適していると考えられる。欧州方式か日本方式かという問題はさておき、これらアジア隣国で高速鉄道が建設され成功することは、われわれ日本人はもとより地球環境問題にとっても大変望ましいことであると考えますが、いかがであろうか。

〈参考文献〉

1. 「700系新幹線量産車」上林・糸山、鉄道ファン、1999年5月号
2. 「新幹線・高速化の現状と展望」木俣、石津、電気評論、1996年10月号
3. 「欧州の高速車両の動向」石津、平成10年電気学会産業応用部門全国大会、1998年
4. 「TGV列車ファミリー／共通の特徴と仕様」Daniel Brun、電気学会誌、1997年5月号