

新

永瀬唯の
サイエンス・
パースペクティブ



超高速と環境との調和

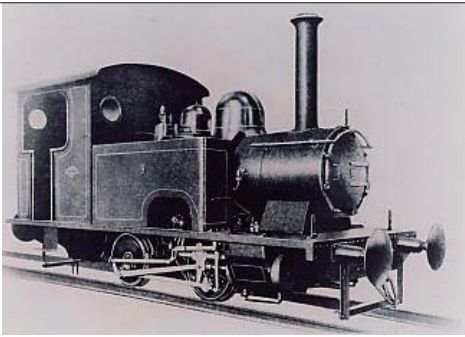
幹

5

線

新幹線車両の張殻内部構造。写真 秋山由樹

永瀬唯(ながせ・ただし)
1952年生まれ。東京都立大学
理学部卒業。理工学系出版
社の編集を経て、科学技術ライター
となる。1987年、サイバーパンク
ムーブメントを契機として、技術文
化史、SF思想史を中心とした評
論活動を開始。明治大学理工学
部講師。著書『宇宙世紀科学読
本 スペース・コロニーとガンダ
ムのできるまで』(角川書店)、『腕
時計の誕生』(廣済堂出版)、『京
極夏彦の世界』(青弓社)、『欲
望の未来 機械じかけの夢の文
化誌』(水声社)ほか。



12tタンク式蒸気機関車(1920年)

鉄道電化とともに動き出した 超高速電車計画

日立製作所・笠戸事業所は、瀬戸内海に面した山口県下松市にある。同事業所は、日立製作所・笠戸工場として、1921(大正10)年に設立された。日立・亀戸の両工場を擁し、株式会社日立製作所が久原鉱業所から独立、発足したのが1920年だから、その翌年のことである。

笠戸工場ではまず、蒸気機関車の製造が始まったが、日立製作所社長の小平浪平が目指したのは、日立創業のきっかけともなった電動機を笠戸でつくった車両にのせ、日本の鉄道の電化を実現することだった。その夢は、1924

年に完成した国産初的大型電気機関車によって最初の

一步を踏み出すことになる。しかし、戦前そして戦中の日本では、小平の夢の到達点である鉄

道の全面電化がなしとげられることはなかった。

電化を推し進めたのは、戦争による荒廃のなかで、日本の鉄道輸送の復興をその中核として支えた国鉄(日本国有鉄道)のちのJRグループと私鉄各社であり、それに協力した日立をはじめとする車両メーカー各社だった。

1970年代初め、最初の世代の新幹線である0系の改良型の開発から携わり、定年を過ぎた今もなお、技術顧問を務める超ベテランである服部守成(電機グループ・交通システム事業部・笠戸交通システム本部・車両システム設計部)は言う。

「鉄道車両の製造は、さまざまな会社、さまざまな工場の協力によってなされます。車体や台車、電気モーター、電装系など多くは別々の会社でつくられるのです。われわれの仕事は、そうしたパーツを組み合わせ、最終的な製品に仕上げることにあります。その点では、多数の会社に発注した部品類を組み立てて製品に仕上げる自動車メーカーによく似ているのですが、鉄道車両の場合には、その開発から運用に至るまで、製造運用の責任主体となるのは事業者です。

新幹線の場合も、開発の目的地となるべき技術的な必然性を決めるのは旧国鉄であつた。現任はJRグループの関係各社です。われわれの役割は、製造を担当する立場からさまざまな可能

性を示し、それを開発計画の主体である事業者へとフィードバックして貢献することなのです」

新幹線の場合も、新型車両の開発には、何社もの車両製造会社がかかわり、量産型の製作も複数の会社によって行われている。JR各社の新幹線以外の車両や、私鉄各社の車両についても、鉄道車両開発の主役はあくまで事業会社なのだ。

とりわけ、新幹線の場合は、その計画の出发点からしても、終始、主役であり続けたのは、戦前から終戦直後まで鉄道省の直轄下に置かれていた国有鉄道と、1949年にその経営部分を分離独立させて創立された公共企業体日本国有鉄道(国鉄)だった。

新幹線建造プロジェクトの技術部門のリーダーとなつたのは、伝説的なエンジニアである島秀雄。戦前にはすでに、傑作といわれている蒸気機関車D51の設計を担当していた彼は、終戦後、研究開発を管轄する工務局長に就任、国有鉄道の主要幹線電化の推進役となつた。

島は、日本の鉄道路線の電化において、鍵となるのは「電気機関車」によって無動力の客車や貨物車を牽引する機関車列車方式ではなく、各車両に動力源のモーターを分散配置する電車列車方式だと考えていた。1950年、東京・沼津間に走った湘南電車を皮切りに、1956年の東海道線全面電化に至るまで、島を

キーマンとして国鉄電化は急速に進められた。

ここで驚くべきは、蒸気機関から電気モーター駆動への転換がようやく実現しつつあったこの時期にすでに、国鉄では、東京・大阪間を広軌(現在の標準軌に相当)の専用路線で結ぶ超高速電車の開発が検討されていたことだ。その研究は、1957年、国鉄における技術研究開発の拠点、鉄道技術研究所により、「超特急列車東京大阪間三時間運転の可能性」と題する一般公開の講演会が開かれたことにより、実現へ向かうことになる。

0系――

航空機の張殻構造、
直流モーター採用による軽量化

世界銀行の融資のもと、東海道新幹線が着工されたのは、それから4年後の1961年のことだった。早速、翌1962年には、A編成2両、B編成4両の試作車両が製作され、小田原の鴨宮に設置されたモデル線区での走行実験が実施された。日立製作所はこの6両のうち2両の車体と台車の製造を担当した。

戦後、日立製作所では、電化の波にこたえ、いち早く、交流方式の電気機関車を開発。新幹線プロジェクトのちようと前には、在来線向けに先進的な交流直流方式の電車列車の製造を開始



0系車両(1964年～)。

していた。その実績にこたえての登用であった。
1964年10月、東海道新幹線は開業の時を迎える。終戦からわずか19年で、日本は世界に前例のない、超高速鉄道を実現したのだ。

その奇跡を実現する鍵になったのは、動力を各車両に分散させる電車列車方式だった。四輪駆動の乗用車が不整地の走行に優れていることからわかるように、電車列車は、カーブにも勾配にも強い。しかし、それには、各車両にきわめて小型かつ軽量の電動機を配置する必要がある。そのために選択されたのは交流を直流に変換、この電流で直流モーターを動かすという方式だった。直流モーターは当時、絶縁材の進歩により軽量化が進んでいたこと、回転速度の増減がきわめてスムーズに行えることなどで優れていた。

ただし、新幹線実現のためには、モーターを軽量化するだけではまだ足りない。東海道新幹線最初の世代となつた0系電車には、かつて

の日本軍の航空機開発から国鉄が学んだ軽量化技術が採用されていた。

初代0系新幹線車両は、そこで、航空機に学んだ張殻構造、軽量の骨皮構造でつくられることとなった。外側を薄い皮、金属の板でつくり、その内側にこれを支える構造材、つまり骨を縦横に配置するのだ。

旅客機で主翼のそばの席にいたなら誰でも気がつくように、飛行機の翼はしなやかな構造になっている。飛行機ではその構造的なしなやかさによって、大気との衝突による衝撃を周囲の空間に逃がしてやっている。0系の骨皮構造は、まさにその発想を、地上を走る鉄道に応用したものだ。

しかし、島らが重視したのは、新幹線と飛行機との間の根本的な違いだった。

離陸時、着陸時を除けば、飛行機は常に開かれた空間にいる。しかし、新幹線車両は、レールの上を走る。車体とレール枕木やバラスト荷重緩衝用の碎石(この狭い空間を大気は通過する。また、狭い間隙をおいて、往路復路2編成の列車がすれ違つたらどうなるのか、モーターや風による車体や台車の振動はどうなのか、航空機開発に学んだ風洞実験、シミュレーション実験を徹底的に行つたうえでさらに、島らは試験車両を使ってモデル線区での運転実験を繰り返し、問題の洗い出しに努めた。

「その島さんのちに、自分がとりこぼした問題が二つあったと語っています。一つは、試験運転で顕在化した、トンネル内を列車が通過

するときに生じる気圧の変動、『耳ツン』と呼ばれた問題でした(服部)

トンネルに突入した列車先端部で圧縮された空気の圧力は音速で前方に伝わり、出口に達すると、今度は逆方向にマインスの圧力、陰圧の波として引き返してゆく。この陰圧の波、負の圧力波が通過することにより、客室車両の中の大気が急激に吸い出されるのが、『耳ツン』の原因だった。問題が明らかとなった時点ですでに車両の建造は始まつており、緊急手段としてとりあえず客室のみの気密化がされることとなったが、一時はトイレの逆流など、深刻な問題も生じた。

結局、『耳ツン』への対策としては、日立製作所・笠戸工場が考案した、トンネル進入を感知して、換気口を締め切るシステムによって、とりあえずの解決をみた。また、1972年に新大阪・岡山間で部分運行を開始した山陽新幹線では、トンネル内の区間が全体の半分以上と長いため、その間も換気を続ける必要がある、吸気と排気、二つの換気口に高圧のブローを設け、車内の圧力の急激な変化をやらわけてやるという方策がとられた。し



新幹線の台車枠(車軸を支える部分)。

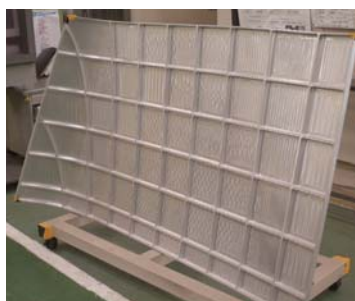
アルミの押し出し成形でつくられる車体の部材。新幹線の場合は長さ24.5mにもなる。



在来線の車体の組み立て工程。写真 秋山由樹

[笠戸事業所]

複雑な曲面をもつ新幹線のノーズ部品。厚さ40mmのアルミ板を金型でプレスして曲面をつくり、裏面を3次元CADデータに従って自動で削り出していく。骨部分以外の板厚はわずか2mmだ。



しかし、この微気圧波問題は、車両の構造強度の劣化など多くの障害を発生させるため、その後も重要な課題であり続けた。

開業後に初めて明らかとなった「目目の問題は、雪だつた。線路に積もった雪が吹き上げられ、車体下部にへばりつき、車両の熱により溶けて雪塊となつて落下、バラストに衝突これを上方にはじき飛ばすのだ。結局、この問題は、徐行運転や、散水で雪を湿らせ、舞い上がりにくくするといった対処療法で先送りされ、1982年に大宮発着の形で運転を開始した上越・東北新幹線の200系電車では、車体の下部をすっぽり覆つたり、バラストに代えてコシクリートのスラブを採用したり、温水で雪を溶かしたりといった対策がとられることになった。

さらに、騒音や振動といった新たな問題も顕在化、国鉄の経営上の問題も手伝て、新造新型の車両こそ投入されたものの、新幹線の最高速度は開業当初の時速200kmから220kmにまで向上したのみという状態が長く続くことになる。



100系車両(1985年～)。

300系—— コバーター・インバーターシステム、 軽量アルミ構造で高速化を実現

こうした一種の行き詰まりを打破するきっかけとなつたのが、1987年に実現した国鉄の民営化にともなう開発が開始され、1992年に東京・新大阪間で運行を開始した、最高速度270kmの300系電車「のぞみ」だ。JR東海によって開発された300系列車の運行は、翌1993年には山陽新幹線の博多まで延伸される。東京から新大阪まで2時間30分、博多まで5時間4分、のぞみによって、新幹線はさらに新しい時代を迎えることになった。

だが、その実現には、きわめて厳しい条件がつけられていた。環境との調和だ。

騒音や振動、トンネル内の微気圧波による強度劣化といった問題は、速度がわずかに上がるだけで、また、重量がわずかに増加するだけで、たちまち跳ね上がる。これを解決する第1の



200系車両(1982年～)。

鍵は重量の減少だ。重量を減らしたうえで速度も増大させる、その矛盾にこたえたのが、新時代のコバーター・インバーターシステムを採用した新システムだ。

初代0系では、単相交流の形で供給された電力を直流に変換、これで小型の直流モーターを駆動させている。ところが、直流モーターではモーター内部の回転部分に電力を供給するため、物理的に接触するブラシを使つており、回転数を上げすぎると、このブラシが焼け切れてしまふ。では、ブラシを用いない誘導方式の単相交流モーターはどうか。こちらは重いうえに、周波数を変え、回転速度を変化させるのがきわめて難しいところだ。'80年代も後半になると、その問題の解決の糸口が見つかる。供給される単相交流の電流をいったん直流に変換、コバーションし、三相交流電流にもう一度逆変換、インバーションしてやる。その原理は家電製品でおなじみのインバーターと同じ。この逆変換の際に、この交流の周波数を変えて、回転速度を自在に変化



300系「のぞみ」車両(1992年～)。

させるのだ。これを実現したのが、大電流を制御できる新方式の半導体スイッチだ。

このシステムではさらに、電力回生ブレーキと、いわゆるメカナムにより、電氣的なブレーキをかけるときに発生する電力を、送電線に逆に返してやることでできた。走る車両がミ発電所にもなる。まさにエコロジー時代にふさわしいシステムだ。

一方、車体の分野で、重量軽減に大きな役割を果たしたのは、車体構造そのものにかわる革新だ。飛行機に似せた薄い皮を構造材で支えたままの従来の張殻構造では、レールにずつしりとのつた鉄道車両に必要な適切な硬さ、剛性を確保できない。

「そこで300系で採用されたのが、この笠戸事業所から提案させていただいた、まったく新しい張殻構造の製造法だ。巨大なプレス機を用いてアルミを一挙に押し出して、張殻内部の骨のうち、縦向きは構造材を皮と一体化させたうえで、つくり出す方法です。重量を軽減

新幹線の車両設計に携わる服部守成(車両システム設計部 技術顧問 右)、茂山正明(同主任技師 左)。





300系「のぞみ」のアルミ
シングルスキン構体。



気密疲労試験装置。直径5m、長さ30mの筒に車体を密封、
気圧変動を繰り返して疲労亀裂を洗い出す(笠戸事業所)。
写真 秋山由樹

化するとともに、適度な強度と剛性を確保するのです(服部)

また、車体にかかわる部分で重量と同様に大きな問題となったのが、先頭と後端の車両の空気力学的な形状だった。意外なことに、乗り心地向上に際して重要なのは先頭よりはむしろ、後端の車両の形状だといふ。列車の外壁にへばりついた空気の流れが後端で列車からはがれてゆき、特有の渦の列ができる。この渦列のバタツキが、動揺を発生させる。そこで、先頭にも使える流線型で、後端に配置されたときも後流のバタツキをできるだけ抑えうるということを採用されたのが、あのクサビ形だったのだ。



500系車両(1997年 ~)。

これら三つの革新に加え、笠戸事業所では、300系の開発から製造に至る過程で、トンネル通過時の微気圧波によって起きる構造強度の劣化をシミュレートする装置も建造した。

「この気密疲労試験装置は直径5m、長さは30mあり、でき上がった車体をまるごと収めて、タンクと車体の間の空気を高速で抜いて真空にし、また外気を注入したりすることもできます。これにより、本物の300系車体を入れて1日15時間装置を動かして3カ月かけて、実際には15年かかる構造の変化を再現しました。コンピュータ技術も進歩していますが、やはりどこかで現物を用いたこうした実証試験が必要とされるのです(服部)」

700系

ダブルスキン構造、

さらに快適な乗り心地へ

300系のぞみによって実現された革新はこ



700系車両(1999年 ~)。

れだけではない。だが、300系は新たな革新の始まりにすぎなかった。そのさらなる革新を実現したのが、東海道・山陽新幹線での100系の後継としてJR東海とJR西日本により共同開発された700系だった。

1999年に先行生産型が運行を開始した700系は、最高速度は300系と同じ時速270kmにとどめつつ、これよりずっと快適な乗り心地となった。

それを可能にした技術革新の第一は、300系よりもさらに進歩したインバーター・コイルのスイッチ機構だった。この方式はシンプルなため、軽量なうえに、電流の開閉を300系よりも高速で行えた。

700系では、これにより実現できた軽量化分を、300系よりもさらに乗り心地のよい「ダブルスキン構造」の実装に充てた。

ダブルスキン構造は、300系の骨皮構造の皮を外側と内側の二重にしたもので、部品数が少なくなるため、製造の手間を省けるうえ、二



700系車両から採用されたダブルスキン構造。これを縫ぎ目の
出ないFSW摩擦攪拌接合で溶接していく。写真 秋山由樹

重構造を生かし、騒音、振動なども軽減できる。また、700系には、あひるのくちばし形キャスプ形)の先頭形状が採用され、これにより、トンネル内の微気圧波の発生もできる限り抑えられるようになった。

こうして新幹線の歴史は新世紀を迎える。事業会社が目指す技術的な方向性を実現するとともに、さらに高い性能への可能性を製造・開発の現場から探り、提示してゆく。鉄道車両開発における、日立製作所・笠戸事業所の仕事は21世紀を迎えた今も、終わることはない。

【参考文献】

『D51から新幹線まで——技術者のみた国鉄』島秀雄 日本経済新聞社へ、超高速に挑む——新幹線開発に賭けた男たち。碓義朗(文藝春秋)。新幹線のぞみ白書。大淵博善(新潮社)。新幹線をつくった男。島秀雄物語。高橋団吉(小学館)。新幹線——高速鉄道の技術のすべて。高速鉄道研究会(山海堂)。新幹線テクノロジー——0系から800系九州新幹線の高速車両技術。佐藤芳彦(山海堂)。新幹線発達史。太平洋(イカロス出版)。『図説 新幹線全史——スーパーエクスプレスへの歴史・形式・メカニズムを徹底詳解!!』。図説 新幹線全史——新幹線の最前線・未来と歴代高速試験車両を徹底詳解!!。(歴史群像 Gakken Railbook)「鉄道車両用構体の変遷」服部守成。『鉄道車両輸出組合報』Jan. 2005 (No.222)。