

新幹線 次世代車両の登場

—WIN 350 試験電車の成果と 500 系営業電車—



夢はバラ色

仲津英治*

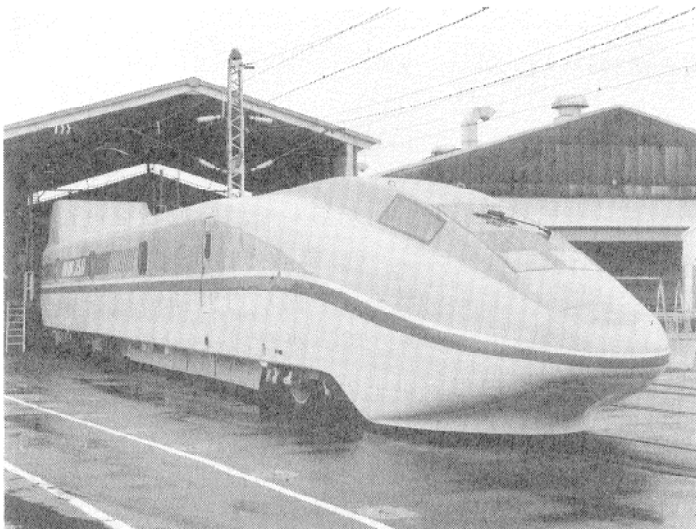


図1 WIN 350の先頭形状(6号車)

1. 高速化の必要性と試験電車 WIN 350 の投入

JR西日本は、旅客と自らの高速化のニーズに答えようと、山陽新幹線において時速350キロ運転を実現するため、WIN 350(図1)と呼ばれる6両編成の試験電車を投入して各種試験を行って来た。特に主要な課題は、鉄道事業者にとって世界一厳しい騒音の環境基準を満たすことであった。筆者は平成元年に技術開発室長を命じられて以来、平成4年から試験実施部長として本年6月まで、合わせて6年3ヶ月にわ

たって新幹線の高速化に取り組んで来た。平成4年のWIN 350の投入以来の走行試験成果を時系列的に記述すると、下記の通りである。

今までの成果と今後の想定

平成4.3(92) 試験実施部、博多に設置

平成4.4(92) 試験電車、WIN 350(6両)投入

平成4.6(92) 走行試験開始(主に山陽新幹線徳山～新下関間)

平成4.8.8.(92) 当時本邦最高記録時速350.4キロ達成

(世界記録; フランス TGV515.3km/h, 日本記録; JR東日本 STAR21 425km/h)

平成5.4.14.(93) ロングスローパンタカバーにより、300km/hにおいて、軌道中心より25m地点での騒音75ホン(環境庁要請値)以下達成

平成5.7.(93) 世界初、超300km/hにおいて翼型パンタグラフによる集電走行成功

平成5.10(93) 車両揺れの削減対策、アクティヴサスペンションによる320km/h走行試験成功
(93) 営業用新車計画発表

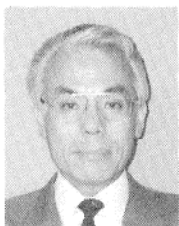
平成6.7.14.(94) 実用型翼型パンタグラフにて320km/h集電走行成功

平成6.9.(94) 実用化台車による試験開始、台車のロングラン

平成6.12.(94) 翼型パンタグラフによる本格的走行試験開始

平成7.4.22.(95) 翼型パンタグラフ2基によ

* Eigi NAKATSU
1944年11月16日生
昭和43年(1968年)大阪大学工学部機械工学科卒業
現在、ジョイアール西日本メンテック、企画調整、部長、常務取締役、学士、鉄道運転工学、鉄道静穏化技術
TEL 06-305-8258
FAX 06-305-2839



- る 320 km 集電走行成功
 平成 7. 6. ～(95) 本格的長期走行試験開始
 (車体, 集電, 台車等の耐久試験)
 平成 7. 9. 29. (95) 500 系列電車設計概要プレス発表
 平成 8 年度 (96) 500 系電車による時速 300
 キロの営業運転開始の見込み

ここで特に翼型パンタグラフによる集電走行試験の成功の意義は大きい。これにより、世界一静かな低騒音の新幹線電車の実用化が可能になったからである。続いて課題の克服の歴史を簡単に述べよう。

2. 高速化の必要性

過去の経験から、高速化等により主要都市間の到着時間の短縮を図ると、着実に利用客は増加している。交通機関間のシェアも上がるのみならず、トータルとしての旅客の数も増えている。誘発効果があるからである。したがって鉄道会社は、自らの経営基盤の強化のために速度向上等に力を注ぐ。これはお客様の増加にもつながり、結果として便利さの向上となり、社会・経済の発展にも高速化は寄与していると言える。計画経済社会ではないので、鉄道を利用せよと強制する訳には行かない。到達時間等の短縮、列車増発等のサービス改善により、ご利用願えるよう自ら努力しなければならない。

また、鉄道は、自動車、航空機等の交通機関に比べ、少ないエネルギーで旅客、貨物を運べる(平成 5 年度運輸白書によると東京、大阪間で自動車、航空機は新幹線に比べ、3～4 倍のエネルギーを消費)。さらに発生炭素ガス量も鉄道は、自動車、航空機に比べ、5～6 分の 1 で済む(同)。昨今、その重要性が認識され始めている地球環境保全の課題にも、鉄道は大いに貢献するはずで、我々鉄道会社社員はそうした信念と自負をもって高速化に取り組んでいる。

安全性も重要な視点である。新幹線は昭和 39 年(1964)の東海道新幹線の開業以来、お客様の死傷者を出していない。道路交通事故では毎

年、1 万 1 千人を越える犠牲者(欧米流に事故後 1 ヶ月の死者数を含めると 1 万 4 千人を越える)を出しているのに比べると、大変な安全度を保っている。社会的にも貢献していると言える。もっとも阪神大震災では高架橋の落下等が発生し、大事故につながる可能性が出て来た。JR 西日本を始め、鉄道各社は、震災区間はさらに強度を増して復旧し、その他の区間においても耐震強度の向上のための補強工事を行い、安全性の維持向上に務めようとしている。

3. 時間短縮効果

当初、時速 350 キロを目指していたが、走行試験を通じて騒音トンネル微気圧波等に課題があることが判明し、当面時速 300 キロの営業運転を目指すこととなった。これによる時間短縮効果は、新大阪～博多間で現行時速 270 キロの“のぞみ”の 2 時間 32 分から 2 時間 19 分と 13 分短縮となる。JR 西日本では東京までの乗り入れを望んでおり、これが実現すれば、東京～博多間は現在の 5 時間 04 分から 4 時間 50 分前後に短縮されるはずである。

4. 高速化の課題と WIN 350 による主要な成果

(1) 低騒音化と翼型パンタグラフ

時速 200 キロを越える列車の高速化においては、列車速度の 6 乗以上に比例する空力騒音の克服が主要な課題となる。超指向性集音マイクの測定結果によるものと、主要な音源は先頭車、集電系のパンタグラフ、そして車両間である。先頭車からの空力音は、車両の流線形化により、WIN 350 では十分に下がった。車両間もそれほど深刻ではなく、残るはパンタグラフである。試験開始当初、各種パンタカバーの空気流跳ね上げによる騒音低減の試みを行い、冒頭記述した通り、平成 5 年 4 月、長さが一車両分にも相当するロングスロープパンタカバーにより、在来型パンタグラフをもって、遂に時速 300 キロにおいて 25 メートルでの騒音を 75 ホン以下にすることができた。この間在来型パンタグラフではパンタカバーの空気流跳ね上げ部の無い場合、時速 270 キロ程度以上になるとトンネル内でパンタグラフに揚力が生じ、架線を押し上げ

過ぎることが分かった。在来型パンタグラフでは騒音の点からも集電性能の点からも、時速300キロ以上の高速化には限界があることが判明した事になる。なお、トンネル内では空気流速は列車速度の1.2～1.25倍になることも分かって来た。

またパンタカバーは、重量増加を伴い、高速域ではその自身音源となり、さらにはトンネル内では圧力波を生じ、車内騒音、振動の増加にもつながることも分かって来た。予定通り翼型パンタグラフの本格的開発に取り掛かった。

在来型パンタグラフは50ミリの角材が2本並んで空気中を突っ切っているようなもので、この集電舟体の翼型化を図った。揚力があまり出ないような翼型の舟体の形状、工夫が、社員

によって各種試みられた。そして航空機の専門家の提言を得つつ、他機関の協力も得て、風洞等を借りながら、実験、試験を重ねて、最適形状の舟体が創り出された。低騒音性能と揚力の調和の結果である。さらに困難な課題は、舟体の支持機構である。図2に示す翼型パンタグラフは、垂直上下機構をもって架線と接触し、使用しないときは一旦降下して、続いて倒れて架線から一定距離離して固定する構造となっている。制御は圧力空気によって行なわれる。なかなかデリケートな装置で、これはオートバイのサスペンションメーカーの協力を得て、実用化にこぎつけた。平成7年4月、2基の翼型パンタグラフによる時速320キロ運転に成功した。騒音も時速300キロで現行車両並以下となり、しかもトンネル出入りによるパンタグラフの上下振動も少なく、在来型パンタグラフよりも集電性能は良いようだ。架線にも優しい。現在長期耐久試験に入っている。

車体、特に屋根の平滑化は低騒音化に貢献する。パンタカバーは、絶縁碍子を覆う程度のカバーとなり、(碍子カバーと呼ぶ)従来の物よりは大幅にダウンサイズに成功した。また屋根上のブス(母線)引き通し用のケーブルヘッドも直ジョイント方式のものが開発され、更なる低騒音化が図れた。WIN 350の技術開発の成果を500系車両にまとめたものを図3に示す。

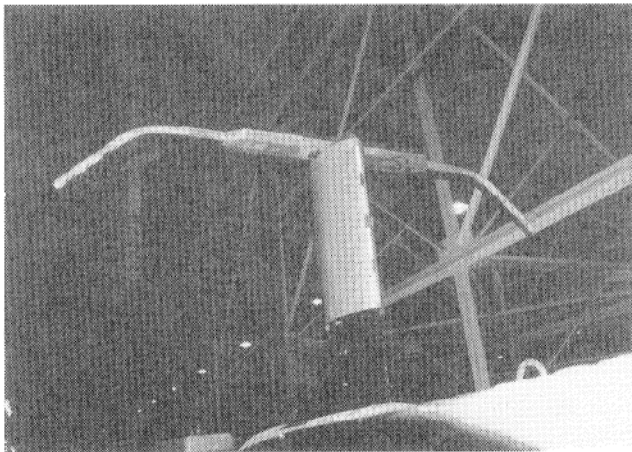


図2 翼型パンタグラフ

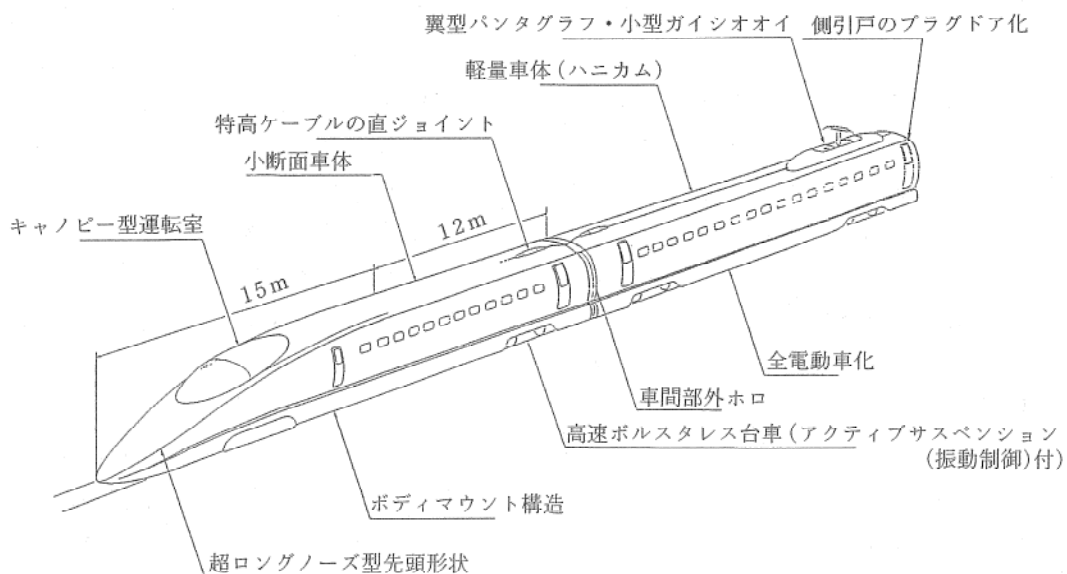


図3 500系車両の高速化技術

(2) トンネル微気圧波と先頭形状

WIN 350の走行テストを通じて、経験して分かって来たことは数多い。その中の重要なポイントとしてトンネル微気圧波と車両の先頭形状の関係が上げられよう。結論から言うと高速車両の先頭形状は、走行抵抗、空力騒音から決まるのではなく、トンネル微気圧波対策で決まると言う事である。

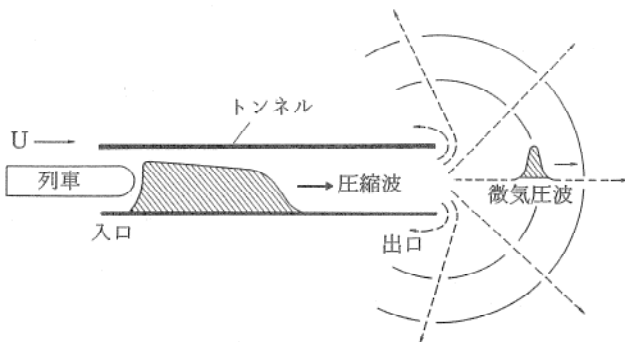


図4 トンネル微気圧波の発生原理

トンネル微気圧波の原理は図4に示す通りである。列車等がトンネルの様な狭い空間に突入すると圧力波が生じ、音速で進行しながら、成長し、トンネル出口で一部圧力波を放出し、また戻ってくる。出口の一部圧力波は大気圧の1%程度の圧力なので、トンネル微気圧波と呼ばれる。パカーンと大きな音が伴い、付近の方に迷惑をかける。今回のWIN 350の走行試験でも時速300キロを越えると一部トンネルで問題となった。トンネル入り口にトンネル緩衝坑を設ける方法も有効であるが、工事費も時間もかかる。勢い、車両側で対策が求められ、小断面

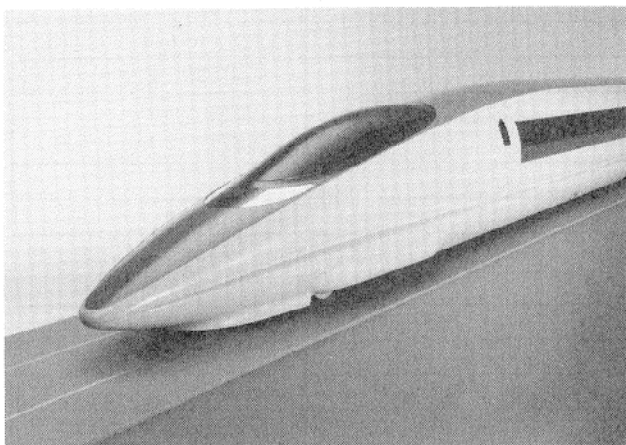


図5 500系営業電車イメージ模型

化と先頭形状の先鋭化が図られることになった。鉄道総合技術研究所の実験結果から先頭形状は回転放物面体かくさび型が良いことが分かってきていた。図5に500系量産先行車のイメージ図を示す。先頭車両は通常25メートルの所、27メートルとし、断面変化部も15メートルとなる。WIN 350でも変化部はせいぜい7メートルであったから、かなりのロングノーズ化である。山陽新幹線は50%以上がトンネルであり、営業中の新幹線ではトンネル割合が飛び抜けて高い。現在、全国的に新幹線が工事中のところ、トンネル割合はさらに山陽新幹線以上となるようだ。トンネルが大きければ良いことは分かっているが、工事費の関係でトンネル断面(新幹線で60m²強)は拡張できない。したがって今後の全国新幹線用の車両にはJR西日本の経験が生かされよう。

(3) 高速用台車と乗り心地改善、サスペンション方式の技術開発

高速用台車として3メーカーの軸箱支持方式のテストを行った。性能上の比較と、保守の簡易さを検討して、軸梁式を採用することとした。

台車の使命は走行安定性と乗り心地である。走行安定性はベンチテストでは時速500キロまで問題なく、実走行テストでも、時速350キロまで全く問題がなかった。乗り心地は、当初4000メートルのカーブ上を時速320キロ以上で通過することを検討していたので、カント不足に対応するため、WIN 350では空気バネによる強制車体傾斜方式を2種類テストし、いずれも一定の成果を得た。しかし、営業速度は時速300キロを選択することとなり、車体傾斜方式は不要となった。

◎アクティブサスペンション

乗り心地改善の焦点は、車体の揺れを減らすことに移った。アクティブサスペンションとして、2メーカーによる2種類の方式をテストした。一方は油圧式、他方は圧力空気式である。性能上には大差がなく、鉄道車両には従来から、圧力空気を使用しており、部品点数、後々の保守の事を考慮して圧力空気式を採用することとした。ただし、中間車はそう大きな揺れが生じないので、揺れの大きい、最後尾車(先頭車)

に採用することを検討している。また中間車にはダンパー定数を数段階に変化させる事ができる新型タンパーが開発されて来たので、それを応用したセミアクティブサスペンションを中間車に採用する。全体として従来車に比べ、かなり乗り心地の改善が期待できる。また併せ、これらアクティブサスペンション方式を台車に採用することにより、レール側への水平力が低減できることも分かって来た。軌道にも優しいわけである。

(4) 車体

従来の新幹線のアルミ車体は、アルミ大型押し出し材が使用されて来た(東北・上越新幹線の200系、東海道・山陽の300系のぞみ、WIN 350等)。今回、メーカーの尽力により、アルミハニカムの新技术が鉄道車両に使用され得ることが可能となり、500系車両には側構体と床構体にはアルミハニカム、屋根構体にはアルミ押し出し材を使用して軽量化を図ることとした。

車体断面は、小断面化と強度を増すため、かなり円形に近い形となる。また車内騒音も重要

な課題で、新しい構体技術と各種試験成果を踏まえ、低減策が取られる。

◎防音スカートと床下平滑化

WIN 350には車外騒音の低減の目的で床下に防音スカートを取り付けて、走行試験を行った。残念ながらその方面では、ほとんど効果はなかったが(地上側でほとんどの区間で防音壁を設置しており、差が出なかったとも考えられる)、空気の整流効果があることが分かった。他の車両に比し、軌道上のバラスト飛散が極めて少なかったのである。空気抵抗の低減にもプラスになるので床下はボディマウント構造とし、床下機器類は側(がわ)点検方式を採用することとした。ただし台車部は同構造で被うと保守が行いにくくなり、また台車による床下空気気流の乱れも工夫によりかなり克服できるので、取り付けないこととした。またボディマウントの取り付け金具も新型金具が開発でき、かなりのボルトレス化に成功している。表1に500系営業用車両の主要諸元を示す。

表1 500系新幹線電車量産先行車の主要諸元

| | 500系 | 300系 | |
|----------------|--|------------------------------|-------------------------|
| 基本編成 | ○16両編成 電動車：16両 定員 55 100 90 100 95 100 75 88 84 88 83 100 95 100 85 65 | ○16両編成 電動車：10両 付随車：6両 | |
| 編成定員(名) | ○普通車 1, 123 グリーン車 200 計 1, 323 | ○同左 | |
| 最高営業運転速度(km/h) | ○300 | ○270 | |
| 編成出力(KW) | ○18, 240 | ○12, 000 | |
| 重量(トン) | ○1両平均 約43 | ○1両平均 約44 | |
| 車体主要寸法 | 最大長さ(mm) | ○中間車：25, 000 ○先頭車：27, 000 | ○中間車：同左 ○先頭車：26, 050 |
| | 最大幅(mm) | ○最大幅 3, 380 | ○同左 |
| | 屋根高さ(mm) | ○3, 690 | ○3, 650 |
| 車体構造 | ○アルミニウム合金製「ロー付けハニカム+押し出し型材」溶接構造 | ○アルミニウム合金製大型押し出し型材溶接構造 | |
| 台車方式 | ○高速ボルスタレス台車(アクティブサスペンション(振動制御)付) | ○高速ボルスタレス台車 | |
| 主回路システム | ○VVVF制御による誘導電動機駆動 | ○同左 | |
| ブレーキシステム | ○交流回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ(応荷重装置付) | ○同左 | |
| パンタグラフ | ○翼形パンタグラフ | ○下枠交差型パンタグラフ | |
| 空調方式 | ○セバレート方式 | ○集中式 | |

(5) 地上設備

高速化は、車両のみでは達成されない。JR西日本の山陽新幹線での今回の高速化のために地上側の設備改良は次の通りである。

◇曲線通過速度の向上のために軌道のカントの向上。

◇高速化に伴う、速度段階が増加に対応するためのATC(自動列車制御装置)の2周波化工事(既実施)。

◇強化銅のトロリー線への張り替えと架線の張力上昇

TA(鉄・アルミ)トロリー、CS(銅・鉄)トロリーの2種類の高速対応架線の試験を重ねて来たが、時速300キロまでならば、強化銅トロリーの張力上昇で対応可能と判断できた。

3. 時速300キロの本格化と将来のスピードアップ

JR西日本は、WIN350の試験成果を踏まえ、いよいよ500系新幹線電車を1編成製作し、平成8年度から日本国内で初めて時速300キロの営業運転に入る。当初は1編成しか無いので、臨時列車サービスとなるだろうが、いずれ本格的なサービスを提供できるようになるだろう。

その後の展開の見通しであるが、筆者は今後、これ以上の速度向上は簡単では無いと見ている。と言うのは、だんだん高速化に伴う、時間短縮効果はだんだん飽和してくるからである。例として山陽新幹線で時速350キロが実現できても、新大阪～博多間で時速300キロ運転の場合の2時間19分に比べて数分しか縮まらない。次いで技術的な理由としては既述のトンネルの課題が挙げられる。トンネル微気圧波による騒音の問題が有り、自分自身のみならず対向列車に圧力波による影響を与える。これは車両の寿命に効いて来る。トンネル断面積が変わらないのであるから、車両の断面積を減ずる対策は有効である。これからできる新幹線はそう多くの旅客が期待できる区間は無いので、3～4列座席の(さらには2～3列)小断面車両にすれば、更なる高速化は可能であろう。しかし、日本国内では地形による線形の制約もあり、エネルギー消費の問題もある。あとせいぜい時速数十キロ

の速度向上が限界かなという印象を、この6年間の経験で持つに至った。バラ色の夢でなくて申し訳ないが。

4. 自然からのヒント

WIN350に伴う各種実験、試験の中で自然にあるものから、少なからず、ヒントを受けた。いかに例を挙げる。

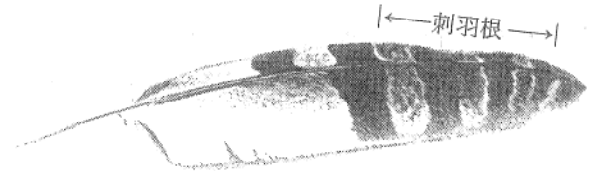


図6 フクロウの刺羽根(ヴォルテックスジェネレーター)

◎フクロウ(梟)の羽根の消音装置(図6)

フクロウの初列風切り(外側の羽根)の2枚に刺状の短い羽根が数十ミリにわたって出ており、これは他の鳥には無いものである。フクロウの低騒音飛行に役立っていると言われ、小さなヴォルテックスジェネレーターの機能を果たしているようだ。筆者らもこのフクロウの羽根の原理を応用できないかと種々実験・試験を重ねて来て、翼型パンタグラフの支柱部にこのヴォルテックスジェネレーターの原理を生かすことができた。翼型舟体に加え、さらに集電系からの騒音低下に貢献した。他、舟体ホーン部の穴空けによっても騒音低減に成功している。

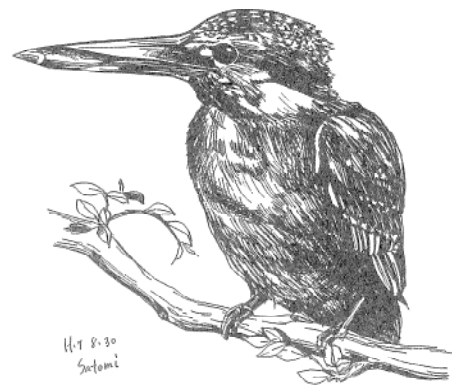


図7 カワセミ(翡翠)

◎カワセミ(翡翠)のくちばし頭部の形状(図7)

空気中より水中へ魚を捕食するためジャンピ

ソグフライトする鳥としてカワセミがいる(海鳥ではアジサシ)。筆者は抵抗が大幅にかつ急激に変化する空中から水中に飛び込む、カワセミのクチバシから頭部にかけての形状はまさにトンネルに突入する新幹線電車が見習うべきものと考えていた。実際の500系電車はカワセミそっくりとなってきたと言えるのではないか。

◎血管等生体構成物の強さ

新幹線電車のトンネル突入に伴い、発生する圧力波(圧縮波, 膨脹波, 対向列車のある場合を含む)により, 車内外に圧力差が生じる。

WIN 350の測定結果ではその圧力差は最大値で約700ミリAqで大気圧の7%程度であった。ところが, 人間の血管は70~150ミリHgと大気圧の20%近くの圧力変動を一分間に80回位経験している。そして人間は, 80年間生きれる。新幹線車両はせいぜい25年位しか持たないのであるから, 自然が与えてくれたものは, あるいは生命体は長持ちすることを強く印象づけられた。

以上

