

新幹線を実現したキーテクノロジーと今後の研究開発



高井 秀之
Hideyuki Takai
理事

はじめに

1964年10月、東海道新幹線は世界で初めて最高速度210km/hの高速鉄道として開業しました。当時は「これからは航空機と自動車の時代」といわれる鉄道斜陽の風潮の中で、東海道新幹線は技術的にも営業的にも大成功を収め、近年の世界的な高速鉄道ブームの先駆けとなりました。

2014年10月に新幹線は開業50周年の節目を迎えました。RRR誌本号では「特集：新幹線50周年」として、新幹線を実現し、そして現在に至る新幹線の速度向上などの高機能化を実現したキーテクノロジーについて紹介します。

新幹線を実現したキーテクノロジー

新幹線開発の歴史を語る際に最初に

取り上げられるのが、1957年5月に銀座ヤマハホールで鉄道総研の前身である鉄道技研がその創立50周年を記念して開催した講演会「東京－大阪間3時間への可能性」です(図1)。この講演会では篠原所長の挨拶に続いて、4人の研究室長が車両、線路、乗り心地と安全、信号保安について講演しました。この当時の構想は実際に採用された規格とは異なるところもありますが、東海道新幹線の実現への大きなきっかけとなりました。

東海道新幹線は画期的な鉄道システムですが、個々の技術についてみると実績のある既存技術のシステム化であったといわれます。建設当時の国鉄・島秀雄技師長の示したコンセプトは「3Sと3C」即ち「Safe安全、Speedy迅速、Sure确实」と「Cheap廉価、

Comfortable快適、Carefree心配のない」という明確なものであり、決して肩に力が入ったものではありませんでした。

東海道新幹線の成功の鍵は、高速大量輸送に適した標準軌(左右のレール間隔が1,435mm)を採用したこと、既存の東海道本線とは別線として主要都市では在来線と接続したこと、道路との平面交差をなくしたこと、新幹線特例法により線路立ち入りを法的に禁止したことなどが挙げられます。また、将来の速度向上を考慮して設計最高速度250km/hとして曲線半径などの建設基準を決めたことも卓見でした。

技術的な面から東海道新幹線を実現したキーテクノロジーとしては以下が挙げられます。

(1) 動力分散方式

日本の軟弱な地盤上に敷設された軌



図1 鉄道技術研究所創立50周年記念講演会

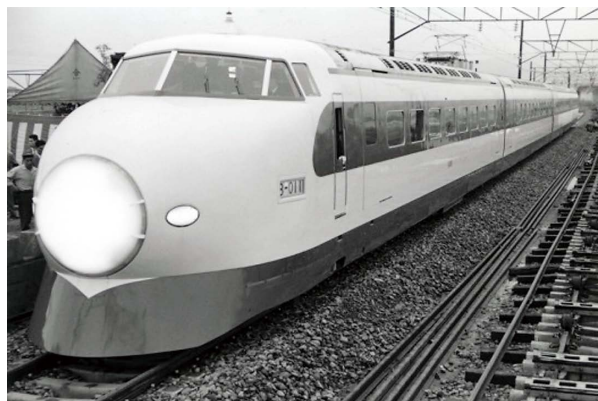


図2 鴨宮モデル線の1000形新幹線電車B編成(256km/h)



図3 山陽新幹線の951形新幹線電車(286km/h)



図4 小山試験線の961形新幹線電車(319km/h)

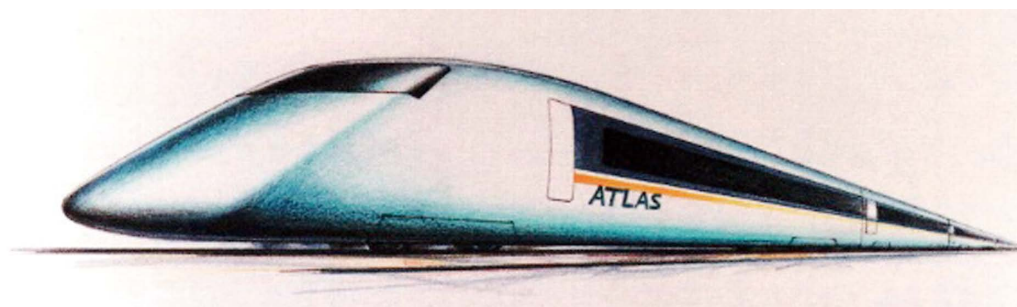


図5 次世代超高速低騒音新幹線「ATLAS」

道への負担を軽減するために、小型軽量モーターを各車両に配置する動力分散方式の電車列車とされました。この方式では動力多重化による信頼性向上、高加減速の実現、摩耗のない電気ブレーキ利用などのメリットが得られました。

(2) 高速台車

走行安定性については未知の速度領域であることから十分な研究が行われました。1959年には車両試験台が完成し、適切な設計により250km/hまでなら「台車だ行動」（台車が高速になると突然振動し始める危険な現象）が抑えられることを示しました。1963年3月30日、走行試験のために先行して整備された鴨宮モデル線で、1000形新幹線電車B編成が当時の電車世界最高速度記録である256km/hを達成しました(図2)。

(3) 軌道破壊理論

高速走行では軌道に対する衝撃的な荷重が大きくなることから、200km/h以上の高速運転はバラスト軌道では不

可能というのが鉄道界の常識でした。これに対して、軌道構造と列車荷重から軌道の変形状態を推定する軌道破壊理論を構築し、保守基準を含めてバラスト軌道で240km/h以上の高速運転が可能であることを示しました。また、軌道検測車で測定した結果に基づいて補修箇所を抽出し、補修作業後の仕上がりの状態も軌道検測結果で評価するという「指示・検収方式」を採用したことも重要な技術トピックでした。

新幹線の高速走行試験

1972年2月24日、開業前の山陽新幹線・西明石～姫路間で、951形新幹線電車が当時の鉄道日本最高速度記録である286km/hを達成しました(図3)。現在、この車両は鉄道総研の隣にある国分寺市・ひかりプラザに保存展示されています。

1970年には全国新幹線鉄道整備法が制定され、最高速度260km/hの新幹線鉄道網を全国に拡げることが決

定されました。この計画に対応して1973年には新幹線961形電車が製作され、1979年12月7日、開業前の東北新幹線・小山試験線で当時の電車世界最高速度記録である319km/hを達成しました(図4)。

鉄道技研では、1981年から高速化に向けた全所的な研究プロジェクトとして「SUS (Speed Up of Shinkansen) 計画を開始しました。さらに、1990年代に入って、鉄道総研は次世代の超高速低騒音新幹線をイメージしたATLAS計画に取り組み、「環境との調和」「車輪／レールシステムの速度限界の向上」「高速走行安定性と乗心地向上」「高速集電」「保安システム」「車両の軽量化」を重点的な柱として、各々についてターゲットを設けて研究開発を推進しました(図5)。

同じ時期に新幹線を運行するJR各社で速度向上の機運が高まり、相次いで高速試験車が製作されました。これらの高速試験車は、速度向上のための

貴重なデータを残してその役割を終え、現在は米原駅近くにある鉄道総研・風洞技術センターの隣に保存展示されています(図6)。

新幹線の高機能化を実現したキーテクノロジー

新幹線は、速度向上をはじめとする機能向上に常に取り組んできました。その中から代表的なものを以下に示します。

(1) 軽量化と乗り心地向上

初代の0系新幹線電車は、設計最高速度が220km/hで軸重が16tでした。300系新幹線電車の開発に当たっては、270km/h走行時で0系220km/h走行時と同等以下の騒音・振動に抑えるために軸重11.3t以下を目標に設計されました。

300系新幹線電車の台車は、鉄道総研が開発した9023EF台車をベースとした新幹線初のボルスタレス台車です。軸箱支持方式は270km/h走行時の安定性を高めるために円筒積層ゴム併用方式を採用しました。軽量化のために車輪径が910mmから860mmに縮小され、車軸も中空式となったほか、台車枠端ばりの廃止、台車枠に高張力鋼が、軸箱・歯車箱にアルミニウム合金が採用されました。また、左右動揺の低減を図るため、左右動ダンパーとヨーダンパーが装備されました。

(2) 環境対策

新幹線から発生する音を発生部位別に見ると図7のように分類されます。最初は防音壁が設置されておらず、沿線騒音は転動音が主体でした。防音壁が設置され車輪踏面状態が改善されると、転動音とパンタグラフのスパーク音の比率が大きくなりました。それらの低減のためにレール削正によるレール凹凸除去と複数パンタグラフの電氣的接続が進むと、パンタグラフを含



図6 鉄道総研・風洞技術センターに集う新幹線高速試験車
(手前から)・JR西日本 WIN 350：1992年8月8日に山陽新幹線で350km/h。
・JR東日本 STAR 21：1993年12月21日に上越新幹線で425km/h。
・JR東海 300X：1996年7月26日に東海道新幹線で443km/h。

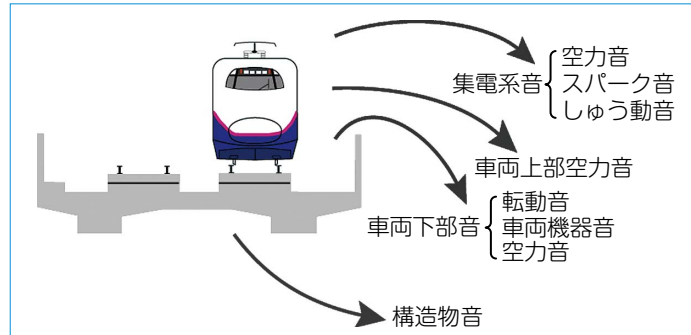


図7 新幹線鉄道騒音の音源

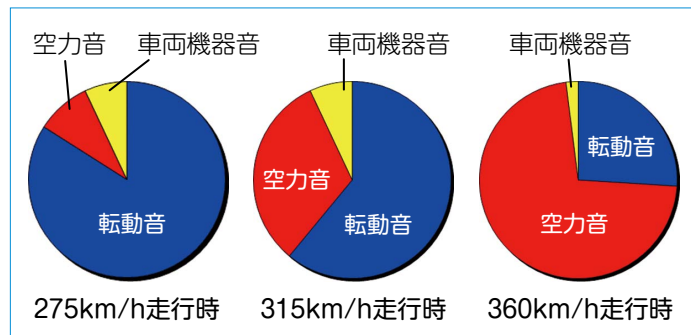


図8 車両下部音に対する寄与度

む車両上部からの空力音の占める割合が多くなりました。その後の速度向上により空力音の寄与度はますます高まりましたが、240km/hを超える高速走行車両では、車両上部の平滑化による空力音の低減や低騒音パンタグラフの開発などにより、騒音低減を実現しています。さらに360km/h領域まで高速化すると、車両下部音についても空力音が支配的になると推定されます(図8)。

(3) 軌道検測

列車の走行安全性を確保するためには軌道が適切に整備されていなければ

なりません。東海新幹線の開業当時は、動力を持たない軌道検測車をディーゼル機関車でけん引していたので最高速度160km/hであり、営業運転が終わった夜間に測定していました。

1974年に営業列車と同じ最高速度210km/hで測定可能な電気軌道総合試験車が登場して、営業時間帯の走行が可能となりました。東海道新幹線は1986年に220km/hに、1992年に270km/hに速度向上されましたが、軌道検測車は中間台車の走行安全性の低さから210km/hのままでした。1997年に東北・上越新幹線に偏心矢

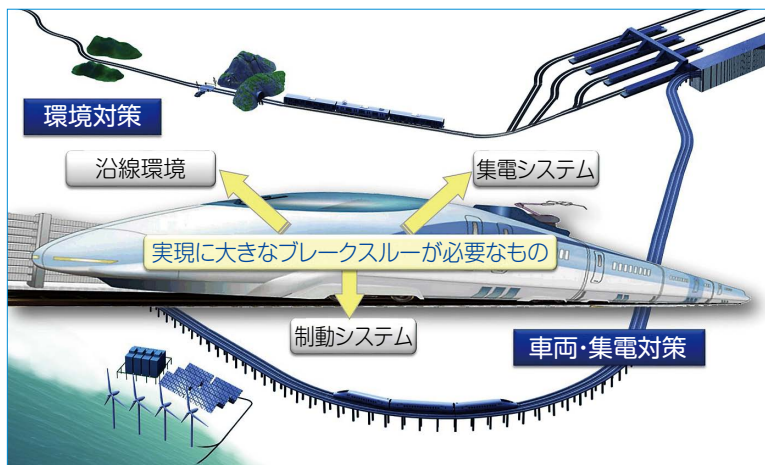


図9 高速化および速達化のための研究開発項目

図10 スーパーコンピュータ「究」
(処理能力=114.7 TFlops)

方式の2台車検測車が導入され、営業列車と同等の速度での走行が可能となりました。さらに、2009年には九州新幹線の営業車両に慣性正矢式の軌道検測装置が組み込まれ、営業列車による高頻度軌道検測が実現しました。

(4) 地震対策

1995年兵庫県南部地震では構造物が壊滅的な被害を受け、それまでの耐震設計が全面的に見直されることになりました。鉄道では1999年に耐震標準が見直され、この中でL1地震とL2地震を対象とする2段階設計法が採用されました。その後10年を経て、国際標準対応や性能規定化などを盛り込んだ設計標準の刊行目前の2011年3月に東北地方太平洋沖地震が発生しました。これまでの設計地震動をはるかに上回る地震であったことから再検討が行われ、2012年9月に改訂・耐震標準が刊行されました。

もう一つのキーテクノロジーが早期地震警報システムです。このシステムは地震動の初期微動から震源位置と地震規模(マグニチュード)を推定し、鉄道に対する影響範囲を推定し、主要動が到達する前に列車に警報を発するものです。現在ではすべての新幹線に導入され、地震による被害の未然防止あるいは低減に貢献しています。

これからの研究開発

2009年10月、鉄道総研は得意分野を活かせる技術として取り組む研究開発項目として「RTRIリサーチマップ～20年後を見通した研究開発～」をまとめました。その中で「高速化(速達化)」では、新しい制動技術および揺れにくくする乗り心地に優れた車両・軌道を開発するとともに、沿線環境の騒音・振動低減技術を開発することにより新幹線の高速化および速達化を目指すことを掲げました。そのための研究開発項目を図9に示します。

このような研究開発を進めるに当たって、シミュレーション技術は大変有効なツールです。鉄道総研では、各種のシミュレーション技術の高度化に対応するため、これまでの約10倍に相当する114.7 TFlops(テラフロップス)の処理能力をもつスーパーコンピュータ「究」を導入し、鉄道に関わるさまざまな現象の解明に活用しています(図10)。

おわりに

日本で生まれた「新幹線」は、英語圏でもそのまま「Shinkansen」で通じるまでに成長しました。日本国内でも、整備新幹線は函館へ、長崎へ、敦賀へと路線を伸ばしつつあります。それに伴っ

て寒冷地での車両・施設の保守体制など新たな課題に向けて研究開発を継続してきました。また、長崎新幹線、北陸新幹線では標準軌の新幹線と狭軌の在来線を直通できる軌間可変電車(通称「フリーゲージトレイン」=FGT)など、全く新しいシステムの導入が予定されています。このような新幹線のさらなる機能向上に向けて、鉄道総研は研究開発を進めていきます。RRR

文献

- 1) 国鉄・鉄道技術研究所：創立50周年記念講演「東京－大阪間3時間への可能性」, 1957
- 2) 鉄道技術研究所：新幹線速度向上の研究 PHASE I－350km/h試験電車の構想－, 鉄道技術研究報告, 1982
- 3) 鉄道技術研究所：新幹線速度向上の研究 PHASE II－試験電車SUSの検討－, 鉄道技術研究所速報, 1985
- 4) 田中眞一：鉄道高速化の技術と基本的課題, 第4回鉄道総研講演会, 1991
- 5) 大山忠夫：新幹線高速化のための研究開発(鉄道総研), JREA, 1993
- 6) 佐々木敏明：新幹線システムの特徴と今後の技術開発, 第7回鉄道総研講演会, 1994
- 7) 鉄道総合技術研究所：RTRIリサーチマップ～20年後を見通した研究開発～, 2009