

世界のビジネスモデルとなった 新幹線システムのさらなる進化

熊谷 則道
(財)鉄道総合技術研究所(理事)



くまがい のりみち

はじめに

最近の高速鉄道への関心が世界各地で高まっています。地球環境を保全するための世界規模での取り組みと、経済不況からの脱却のための雇用の確保と景気浮揚策としてのインフラ整備などに、公共機関としての高速鉄道の新設の効果が高いと認識されたと見ることができます。このような世界の高速鉄道のもとをたどると、日本の新幹線システムに行きつきます。

新幹線システムは今や、世界の高速鉄道のビジネスモデルになっているといっても過言ではありません。日本の新幹線の開発と運営に当たっては第一に「安全の確保」に注力し、必要な時間をかけて安全のチェックを行い、公共交通機関として社会から信頼を得ています。日本から発信され、欧州で発展し、世界に拡がりつつある高速鉄道の原点としての新幹線の特質をあらためて確認しつつ、新幹線の技術開発の持続的発展のために挑む研究開発について概観します。

1. 新幹線は世界の高速鉄道の出発点

国際鉄道連盟(UIC)が主催し、政府、公的機関、学界、鉄道事業者、産業界など各界の鉄道関係者が集って各国の高速鉄道がもたらす社会・経済的影響、高速鉄道の技術の



図1 第7回世界高速鉄道会議
ラウンドテーブル2(2010年12月)

進歩などについて紹介し、意見を交換することを目的とする世界高速鉄道会議(通称、HIGH SPEED RAIL)がほぼ三年おきに開催されてきました。第一回目の会議は

1992年にブリュッセルで、以降、リール、ベルリン、マドリッド、ミラノ、アムステルダムで開催され、各開催国における新しい高速鉄道の力のこもった紹介がされてきました。

第七回会議は「グリーンで最先端の交通機関としての高速鉄道の使命」をテーマに2010年12月に北京で開催されました。会議では、日本、欧州、米国など各国代表のスピーチ、鉄道関係者による2つのラウンドテーブル(図1)、技術講演が行われました。開催国からは中国政府要人による高速鉄道網の建設と調和を意味する「和諧号」と名付けられた最高速度380km/hの高速車両のPRに力が込められていました。

筆者は機会を得て第三回会議から参加をしており、各回の開催国関係者が特段の思いを込めて行う会議の特色

に触れてきました。それらの共通的な話題として、自国の高速鉄道の歴史的な展開が紹介されますが、高速鉄道のルーツとして、例外なく1964年の東海道新幹線の開業が紹介されるのです。ニュアンスにこそ差があるとは言え、日本の新幹線から始まった高速鉄道が世界へ伝わったとの趣旨の紹介が必ず述べられます。新幹線が世界の高速鉄道の原点であることを高速鉄道の国際会議が教えてくれるのです。新幹線が称賛される理由は、単に他国に先駆けて早い時期に高速鉄道を

表1 高速鉄道の線路延長(km)

	営業線	建設中	計画
ヨーロッパ			
ベルギー	209	0	0
フランス	1896	210	2616
ドイツ	1285	378	670
イタリア	923	0	395
オランダ	120	0	0
ポーランド	0	0	712
ポルトガル	0	0	1006
ロシア	0	0	650
スペイン	2056	1767	1702
スウェーデン	0	0	750
スイス	35	72	0
イギリス	113	0	204
ヨーロッパ合計	6637	2427	8705
アジア			
中国	4079	6154	2901
台湾	345	0	0
インド	0	0	495
イラン	0	0	475
日本	2534	508	583
サウジアラビア	0	0	550
韓国	412	0	0
トルコ	235	510	1679
アジア合計	7605	7172	6683
その他の国			
モロッコ	0	200	480
アルゼンチン	0	0	315
ブラジル	0	0	511
アメリカ合衆国	362	0	900
その他の国合計	362	200	2206
世界の合計	14604	9799	17594

速度200km/h以上の走行線路延長を表記(UICホームページ <http://www.uic.org>, High speed lines in the world から引用 2010.12.19)



図2 東海道新幹線開業前の試験電車から300km/h運転の新幹線電車へ

開業したということではありません。新しい高速鉄道としてのコンセプトを提案し、それらに基づいて新幹線を建設し、安全な運行を継続して、鉄道事業として成功し、社会・経済の発展に貢献してきたという鉄道のビジネスモデルを創造したからです。

2. 世界規模で伝わる高速鉄道の波

表1は世界の高速鉄道の営業線区、建設中の線区、計画中の線区に分類された線路延長を、UICが発表したものです。高速鉄道の営業中および建設中の線路延長は、新幹線開業以降46年を経た現時点で約24400kmです。中国の営業・建設中の線路延長が世界の約45%を占めています。また、計画路線を含めると実現性については不透明な面も多々あると思われませんが、線路延長は約42000kmと示されています。エネルギー効率が良い交通機関としてますます導入されていく高速鉄道の展開の歴史には、三つの波がみられると思います。

第一の波は、1964年の速度210km/h（開業当初は最高速度200km/h）での日本の新幹線の開業と欧州での展開です。ここから高速鉄道時代が幕を開けました。第二の波は、1989年のフランスのTGVによる速度300km/hの営業運転で幕を開けた300km/h高速鉄道の展開の状況です。安全性の維持のためのシステム、高速域の空力音発生の抑制、コンピュータが多用された機械におけるリスク評価など速度200km/h台とは異なった技術が必要な速度領域に踏みこみました（図2）。第三の波は、中国が先陣となる目標営業運転速度380km/hの高速鉄道の展開と、ヨーロッパ、英国、アジア、ロシア、北・南アメリカと全世界の地域への高速鉄道の広範な展開を予測させる現在の状況です。

高速鉄道の営業運転速度はどこまで高くできるかが、今回の世界高速鉄道会議で筆者が参加したラウンドテーブル2で話題になりました。中国からは速度500km/hを目標に、試験を予定しているとの意見でした。一方、筆者からは車輪・レールによる粘着方式の高速鉄道の営業運転速度は、車両の走行抵抗の低減によって粘着限界を高めて、400km/h程度も可能であるが、安全の維持のための設備投資、保守コスト、エネルギー消費など運営コストの増加

が予測されるため、むしろ質的な向上が大事である旨の意見を述べました。さらに、日本で技術開発を行っている超電導リニア方式の新幹線は、保守コストの抑制と地震などに対する安全性の確保の観点、関係地域の経済効果などから500km/h領域の高速鉄道として有効であることも紹介しました。

3. 新幹線の技術的コンセプトと先見性

世界の高速鉄道のモデルとなった新幹線の技術的コンセプトについて考えてみます。東海道新幹線は、高度成長期の東京、名古屋、大阪間に帯状に点在する都市間の旅客輸送能力の大幅な増強を目的とした路線です。都市間高速列車としての新幹線の走行路線は日本の都市の立地に合わせるため、既存の駅の近辺では住宅密集地を通過させるため曲線区間が多くなり、住宅に近接して敷設せざるを得なくなります。従って、列車は加減速性能を高めること、騒音・振動防止に配慮することなどの必要がありました。新幹線の特徴を顕在化するために、当時、国鉄の技師長で新幹線建設のリーダーであった島秀雄氏が著作で述べられているなかから、東海道新幹線の主なコンセプトを筆者が次のように引用してみました。

①旅客列車の専用線である。②列車形態は、駆動電動機を全車両に搭載した軽軸重、動力分散方式の電車列車である。③供給電源は高速大容量集電に適した高電圧交流電力である。④自動列車制御方式（ATC）などの運転保安装置を具備する、⑤踏切を排除する。

これらの技術上のコンセプトは、新幹線というシステムの機能上の発展を阻害しないことが特徴です。①は低速の貨物列車と共有しないことにより列車種別を簡素にして、多くの高速列車本数を設定できること、さらなる速度向上を目指すことを可能にします。②は、高加速、高減速で、さらに電気ブレーキの使用が可能で機械ブレーキの保守の低減に有用であること、機関車牽引列車に比較し車両重量を軽量化することが可能で、軌道の保守低減に有効であること、列車の座席数を多くすることができるなどの利点に結びついています。特にブレーキ時の発電エネルギーは電力回生エネルギーとして再利用が可能で、CO₂排出量

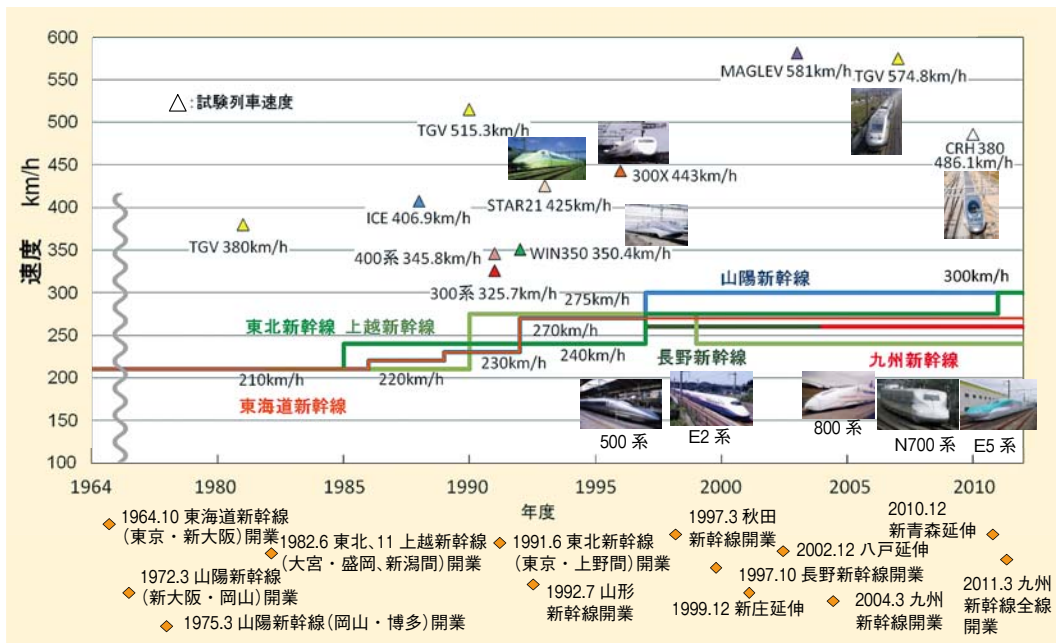


図3 新幹線最高速度(営業列車速度と試験列車速度)

を削減し、グリーンな交通機関として地球環境の保全に貢献できます。電力回生ブレーキ方式は300系新幹線車両で実現しました。③は架線とパンタグラフ間に流れる電流を低減でき、離線時の放電アークの減少に効果があります。④、⑤は事故を防止し、安全を確保するために不可欠であり、さらに高密度運転を可能にします。

新幹線電車の動力分散方式列車と異なり、欧州の高速鉄道ではTGV、ICE1のように旅客列車は先頭部および最後部に連結された電気機関車(動力集中方式)により牽引されてきました。ところが近年では、ICE3のような電車列車による高速列車が登場してきています。さらなる高速化には車両の軽量化が必要であり、座席数を多くとり経済的な輸送を行うことが可能な動力分散方式列車の有利性に欧州も着目し始めたと言えるでしょう。電力回生ブレーキを活用可能なグリーンな特性に加え、コストパフォーマンスの点からも、電車列車の新幹線のシステムの先見性が認められたといえます。

4. 東海道新幹線開業時の技術の特徴

短期間で大規模プロジェクトを成功させた要因の一つは、「それまでに蓄積・実証された技術を検討して、それらをシステムチックに組み上げたこと」と島秀雄氏は述べています。確かに新幹線には実証された最先端の技術が導入されました。それらを例示すると、台車蛇行動を防止し安定性の高い板ばねによる車軸軸箱支持方式(IS式)のボギー台車、空気ばねによる車体支持、小型化された油圧式ディスクブレーキ、車輪フラットを防止する車輪滑走防止装置、軽量化と強度向上を両立させる気密・張殻構造

分岐器など数多くの先端技術でした。

しかし、当時、世界に類例を見ない新しいタイプの鉄道には最先端技術を単に集積したわけではありません。新幹線の成功は、開発のコンセプトに基づいて必要不可欠の先端技術を選択し、それらを緻密に組み上げたシステムであり、技術の調和が図られていたことがキーポイントであると思うのです。鉄道総研の前身である国鉄鉄道技術研究所が1957年5月に開催した「東京-大阪間3時間の可能性」と題した講演会での車両、軌道、信号などに関する内容は、世論の強い関心を湧き立たせるとともに新幹線の技術的バックボーンとなりました。

5. 新幹線の速度向上と技術革新へのチャレンジ

東海道新幹線開業の後、山陽新幹線、東北・上越新幹線が、さらに長野新幹線、九州新幹線の一部が順次、開業しました。図3に新幹線路線の営業運転最高速度の向上の変遷と日本および海外の試験列車による最高速度の記録を示しました。東海道新幹線では、旧国鉄からJR東海に引き継がれて開発された300系車両により、270km/h営業運転が1992年に開始されました。当該車両は0系新幹線に比べて約27%の質量の軽量化を実現し、騒音、振動、消費エネルギーなどを従前と同様のレベルに抑えることに成功した画期的な車両です。山陽新幹線区間では500系車両により300km/h営業運転が1997年に開始されました。同時期に東北新幹線ではE2系、E3系車両が登場し、275km/h営業運転が開始されました。JR東日本は、営業運転速度360km/hを技術目標とした新幹線高速試験車FASTECH360Sおよび360Zの2編成を製作するとともに、

車体、強化前面ガラス、風洞実験により決定された流線型先頭形状、車両用シリコンダイオード整流器、小型パンタグラフ、25kV高圧集電、ダンパー付き防振架線、ノイズ防止吸上き電方法、ATC、列車無線、長距離CTC(集中列車制御)、1.5kmロングレール、マンガン製

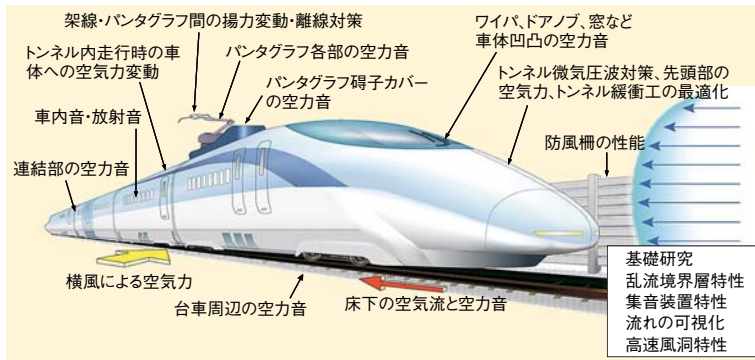


図4 空力現象に関わる車両、電車線、構造物の研究開発課題例

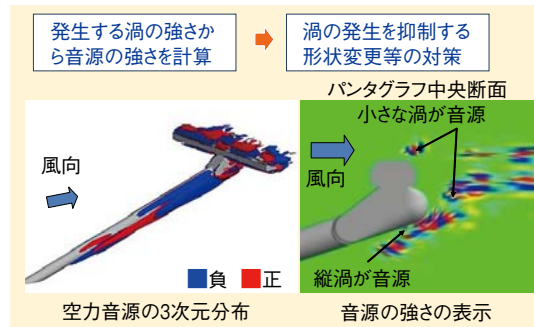


図5 パンタグラフ空力音の数値シミュレーションの例(速度300km/h想定)

地上設備を改良して実用技術開発に取り組みました。これらの成果をE5系新幹線電車の製作に反映させて、2012年度末に東北新幹線で320km/hの営業運転を行うことを発表しています。

試験列車の速度記録はそれぞれの試験目的に沿った仕様で製作された車両によるものであり、数値の高低をもって性能の良否を判定することはできませんが、各国鉄道事業者あるいはメーカーが新しい車両やシステムの開発に果敢に挑戦する姿勢が感じられます。技術目標を高く掲げたチャレンジのなかから、高速営業運転に耐える信頼性の高いシステムが誕生していることも事実です。日本の新幹線の速度向上に長い時間がかけられているように思われますが、これは未知の速度域で安全な高速運転を実行するために、着実に緻密な開発に必要な時間であると言えます。こうしたパイオニアとしての努力により、国民から信頼される新幹線鉄道があるといつて過言ではないと思います。

6. 鉄道総研の研究開発と

高度コンピュータシミュレーションの適用

鉄道総研は国鉄民営化後、高速台車、ブレーキ制御方法、軌道管理、電車線構造、ATC方式、空力特性などの安全性評価、改良など速度向上のための研究開発に鋭意、取り組んできました。路線の延伸が予定されていたJR東日本は高速化技術の確立を目指して、2002年に新幹線高速化推進プロジェクトを立ち上げました。時を同じくしてJR東日本から鉄道総研にプロジェクトへの連携の呼びかけがあり、鉄道総研はプロジェクトに参画して、蓄積してきた知識、解析・実験手法を活用することとしました。両者は合同で「高速化研究開発検討会」を設置し、環境、架線・パンタ、快適性、粘着についてワーキングチームにより効率的に研究開発を進めました。多岐に及ぶ共同での技術開発課題を実施したプロジェクトの成果は新形式車両に反映され、また、最高速度360km/hへむけて、空力音の低減などの課題に引き続き取り組むことが了解されました。

騒音低減に関しては、沿線の騒音レベルを環境基準の

75dB以下にするため、エネルギーが速度の6乗で増大する空力音の音源の緻密な探索と対策の実施を行う必要があります。図4に高速化に立ちはだかる数多くの空力現象の課題を例示しました。これまでもパンタグラフからの騒音低減、車両間から発生する騒音対策、車両下部から発生する空力騒音対策などの課題には、実際の車両による走行試験でのデータの取得、模型による風洞試験、数値解析(図5)で対策を探索してきました。複雑な問題の解決には、高度コンピュータシミュレーションが有効であり、今後、広い領域で高い計算精度の空力音数値解析の活用に取り組む予定です。

また、大規模地震に対する安全性の確保に関しては、国土交通省が主催し、鉄道・運輸機構、鉄道事業者、鉄道総研による新幹線脱線対策協議会における技術検討により、車両の脱線防止対策、車両逸脱防止対策、ブレーキ動作時間の短縮などが提言されました。関係鉄道事業者は、すでに車両側、軌道側、構造物側、早期地震警報などにおいて対策を講じつつあります。自然災害への備えとして、360km/hへの速度向上に向けて列車をいち早く停止させるためのブレーキ力の増強、制御方式の改良などが有効と考えられます。

新幹線は巨大なシステムとして運用され、安全性、定時性が確保されています。今後のさらなる高速化に対しては、既知の課題以外に新たな課題が現出する可能性もあります。鉄道総研は鉄道事業者に技術的な支援を継続して、目標達成のためのイノベーションに向け研究開発にチャレンジ精神を発揮し、新幹線のシステムを進化させてまいりたいと思います。関係各位のご指導、ご助言を賜りますようお願いいたします。RRR

主な文献

D51から新幹線まで：島秀雄，日本経済新聞社，1977年
 詳解新幹線：社団法人日本鉄道運転協会，1975年
 JR East Technical Review：JR東日本，No.31，Spring 2010年
 佐藤彦彦：図解・TGVvs.新幹線，講談社，2008年