

インフラ体力診断 (新幹線 WG)

1. 高速鉄道の計画目標とその意味
2. 計画目標の達成度
3. 整備水準の国際比較
4. 総合アセスメント

資料編の構成

- 海外の高速鉄道計画 編
- 内外比較トピックと日本方式の評価 編
- 高速鉄道を支える日本の技術 編
- 高速鉄道の老舗である日本の新幹線の進化 編

1. 高速鉄道の計画目標とその意味

(1) 日本の新幹線鉄道

■全国新幹線鉄道整備法と新幹線計画

新幹線は我が国の重要なインフラであり、日本経済、国民生活に寄与している。世界に先駆けて開業させた東海道新幹線は、世界に高速鉄道の可能性と効果を知らしめ、各国で高速鉄道が整備されるきっかけとなった。

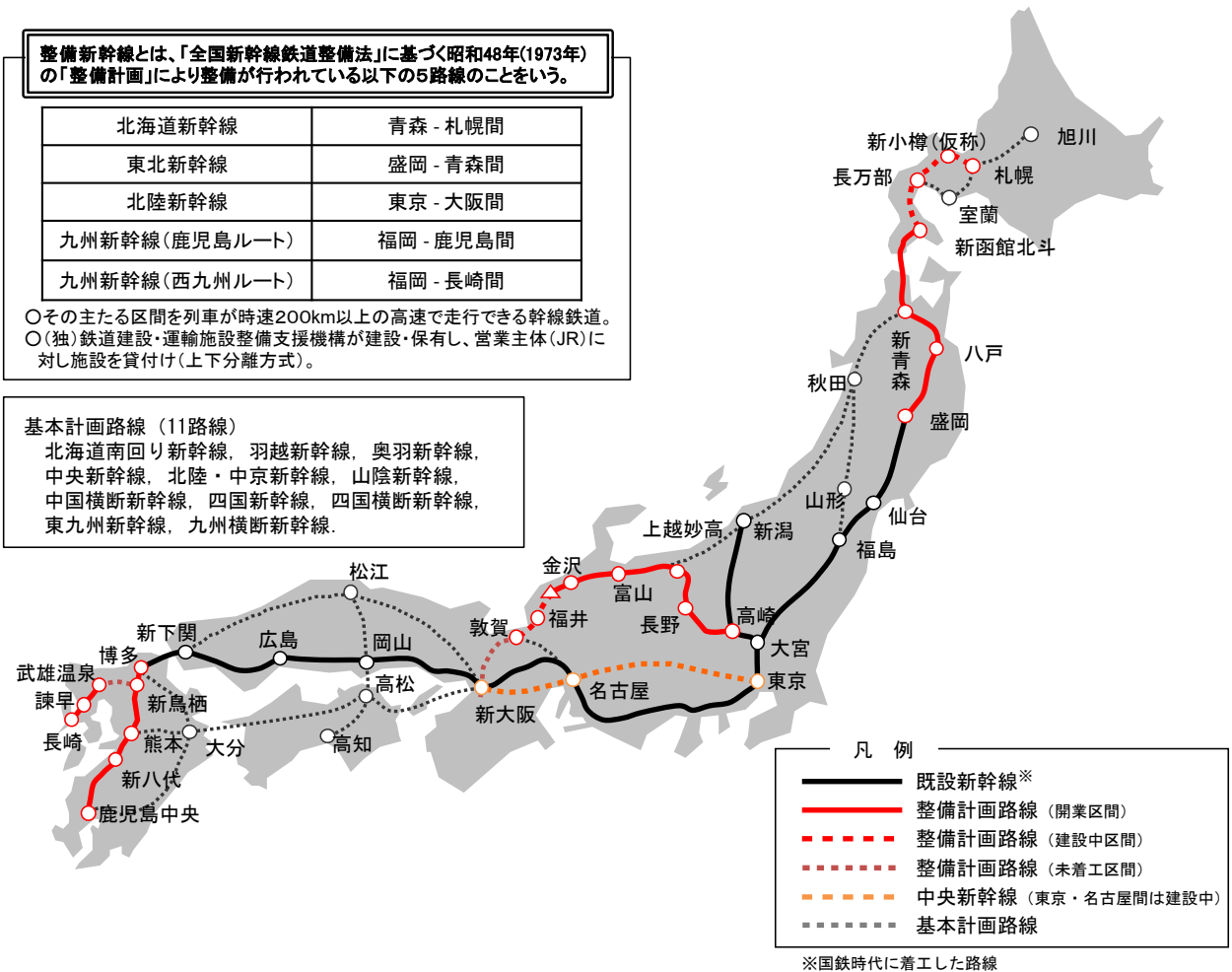


図 1-1 全国の新幹線鉄道網の計画

出典:国土交通省 HP をもとに加筆

現在、日本の新幹線計画は、1970年に公布された全国新幹線鉄道整備法に基づき、基本計画と、整備計画が決定されている。全国新幹線鉄道整備法は、「新幹線鉄道による全国的な鉄道網の整備を図り、もって国民経済の発展及び国民生活領域の拡大並びに地域の振興に資することを目的」としている法律である。同法において、新幹線とは、その主たる区間を列車が200km/h以上の高速度で走行できる幹線鉄道であり、その路線は全国的な幹線鉄道網を形成するに足るものであるとともに、全国の中核都市を有機的かつ効率的に連結するものであって、同法の目的を達成しうるものとされている。

なお、東海道新幹線、山陽新幹線、東北新幹線(東京・盛岡間)、上越新幹線の4路線は、国鉄時代に着工した路線で整備新幹線ではない。これらの路線の着工後、全国新幹線鉄道整備法(1973年)が施行され、整備新幹線の計画が決定し、国鉄改革時に整備が凍結されたが、上下分離方式の導入(1989年)や公共事業関係費の投入(1989年)といった政策がなされ、今日の形態で整備が進められることとなったのが、整備新幹線である。

全国新幹線鉄道整備法の基本計画とは、全国新幹線鉄道整備法第4条(基本計画)に基づき、国土交通大臣

(当時は運輸大臣)が定め公示した「建設を開始すべき新幹線鉄道の路線を定める基本計画」のことである。基本計画では、路線名と、起点・終点、主要な経過地が定められており、1973年に四国新幹線、四国横断新幹線等の計11路線が基本計画路線に位置づけられている。そのうち、2011年に中央新幹線の整備計画が決定された。

また、全国新幹線鉄道整備法の整備計画とは、基本計画で公示された路線のうち、調査の上(第5条)、国土交通大臣(当時は運輸大臣)が整備計画を決定して(第7条)、建設を指示(第8条)した計画のことである。走行方式や最高設計速度、建設費の概算等を定めるものであり、国土交通大臣が、事前に営業主、建設主体の同意を得て決定する。1973年に北海道新幹線、東北新幹線(盛岡・新青森間)、北陸新幹線、九州新幹線(鹿児島ルート)・(西九州ルート)が整備計画決定され、これらの5路線が整備新幹線と呼ばれる。2023年5月時点で、北陸新幹線(金沢・敦賀間)、北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)が建設中であり、北陸新幹線(敦賀・新大阪間)、九州新幹線(西九州ルート:新鳥栖・武雄温泉間)は未着工となっている。なお、政府の方針として、着工に当たっては、「安定的な財源見通しの確保」、「収支採算性」、「投資効果」、「営業主としてのJRの同意」、「並行在来線の経営分離についての沿線自治体の同意」といった基本的な条件(着工5条件)を確認した上で、着工するものとされている。

■新幹線の規格

新幹線は、その主たる区間を列車が200km/h以上の高速度で走行できる幹線鉄道と定義され、在来線と異なる規格となっている。高速鉄道システムの機能が十分に発揮されるよう、全線立体交差とし、軌間は1,435mmの標準軌(国際標準軌)を採用、車両や施設の大きさを制限する車両限界や建築限界は在来線のそれより大きく設定されている。最小曲線半径は、都市部以外の主要区間において、東海道新幹線では2,500m、それ以降の新幹線では、4,000m、最急勾配は、基本的に15‰の縦断線形としている。

設計最高速度は、開業後において向上させる取り組みが行われてきており、現在、東海道新幹線では、285km/h、山陽新幹線では300km/h、東北新幹線の一部区間で320km/hとなっている。また、整備新幹線は、260km/hとなっている。

■(参考)整備新幹線の整備方式

整備新幹線では、建設主体と営業主が国土交通大臣によって指名される。上下分離方式により整備・運営され、公的建設主体である独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構(以降、鉄道・運輸機構)が公的資金によって鉄道施設を建設し、開業後は施設を保有するとともに営業主となったJRに貸し付ける。貸付料は、運行により得られる受益の範囲内の額とされているため、営業主には経営上の負担が生じないよう制度設計されている。整備財源は、営業主であるJR各社からの貸付料等の一部を充てた後、国が3分の2、地方自治体が3分の1を負担する構成となっている。(図1-2)。

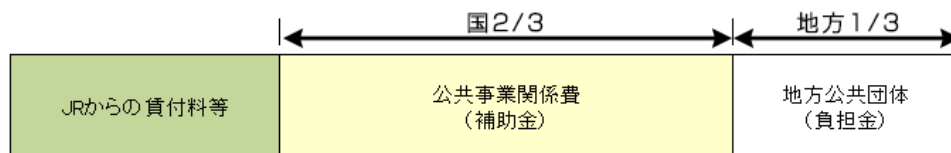


図1-2 整備新幹線の財源構成

出典:鉄道・運輸機構 HP

◎ミニコラム：並行在来線と貨物鉄道

整備新幹線と並行している在来鉄道（いわゆる並行在来線）は、新幹線開業後の取り扱いについて、国、沿線地方自治体、営業主体の3者で協議が行われる。新幹線の営業主体が引き続き並行在来線を運行することを決定すれば、その路線は新幹線と一体で運行されることになる。一方で営業主体が経営分離を決定した場合は、沿線地方自治体により協議会等が設置され、地域交通として並行在来線のあり方等について検討される。

並行在来線は、新幹線整備を進めるにあたって地域が在来線の経営を引き受けるとの流れから、ネガティブな印象を持たれることがあるが、地域にとって、鉄道事業者への要望という形態ではなく、自らが地域の足としての利便性を高めることができるため、プラスに捉えることができる。その成功事例として、北陸新幹線の開業に伴ってJR北陸本線の一部を引き継いだ第三セクター事業者の「あいの風とやま鉄道」が挙げられる。当該鉄道は、新駅の設置や運行本数の増加、ダイヤ設定の工夫などの利便性向上の取組みを進め、第三セクター化される以前に想定されていた予測より利用者数が増加し、地域の活性化に貢献している。

一方で、我が国の鉄道事業は、JR 各社、民鉄事業者、第三セクター事業者等により、営利事業という前提で運営されてきているが、沿線人口の減少や少子化の進行、特に地方部におけるモータリゼーションの進展などによって、鉄道利用者が減少し、経費削減策としての運行頻度減等の利便性低下が更に利用者の減少を招く負のスパイラルも見られるなか、全国の鉄道利用者は大幅に減少している。更に、新型コロナウイルスの影響による外出自粛や生活様式の変化により、鉄道事業者の経営環境は一段と厳しさを増し、地方路線の存続が危ぶまれる状況にある。

その様ななか、北海道新幹線（新函館北斗・札幌間）の整備に伴い JR から経営分離される函館線の函館・長万部間は、新幹線開業後の運営のあり方について、また、貨物路線のあり方について関係者の議論が進められている。並行在来線の運営は、これまで自治体により対応されてきたが、地域公共交通のシェアが厳しくなってきたなか、鉄道貨物の維持も含め、重要な課題となっている。

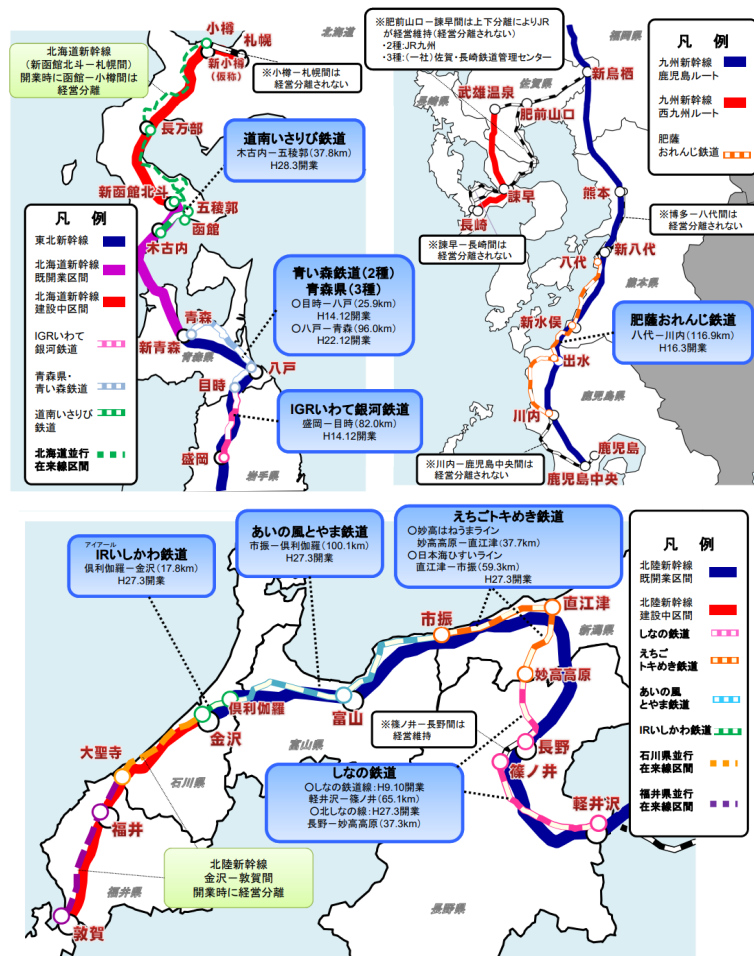


図 1-3 整備新幹線の並行在来線区間（未開業区間を含む）

出典：国土交通省 HP

(2) 国際比較(海外の高速鉄道との比較)

1960年代当時、自動車や航空の普及が進みつつあり、海外では鉄道は斜陽産業としてみなされるようになっていた。そうしたなか、日本は、世界で初めて高速鉄道(東海道新幹線)を実現させ、世界に高速鉄道の可能性を示したが、海外で鉄道の新たな可能性にいち早く気づいたのは欧州諸国であった。1970年代からフランスや西ドイツで高速鉄道整備が始まり、1980年代以降、各国で最初の高速鉄道が開業した。1990年代以降はEUによる欧州統合が進み、高速鉄道は国際高速交通網としての性格も帯びるようになった。2000年代以降のEUの東方拡大を経てその性格はより強くなるとともに、ベルギーやオーストリアのような小国や、ポーランドなど東欧の国でも整備が進む。また2000年代以降、経済発展を背景に中国が広大な国土を網羅する高速鉄道整備を急速に進めている。欧州の主な国と中国の高速鉄道計画は、概略を本節後半に、詳しくは資料編「海外の高速鉄道計画編」にまとめた。

欧州各国の交通インフラ整備に対する考え方は国ごとに少しばかり相違が見られ、例として、フランスでは交通権・連帯(地域間の均衡や地球環境など)、ドイツでは「インフラと移動の可能性(モビリティ)は成長とQOL(Quality of Life)、仕事の基礎をなす」、「モビリティが実現しないと繁栄はない」といったことが計画文書で示されている。しかし欧州全体に共通して、当初は鉄道のスピードアップに主眼が置かれていた高速鉄道の位置づけが、時代とともに大きく変わってきている点は共通する。現在では、高速鉄道が得意とする200~800kmの距離帯を主な狙いとして、使いやすい高水準のサービスの提供によって、自動車や航空機といった環境負荷の高い他の交通手段からの転移を促し脱炭素に行動変容を通して貢献することや、低炭素の交通機関である鉄道によって二地域居住を可能として環境負荷の抑制とQOL向上を両立させることといった、より大きな文脈の中に高速鉄道が位置づけられるようになっている。

■TEN-T

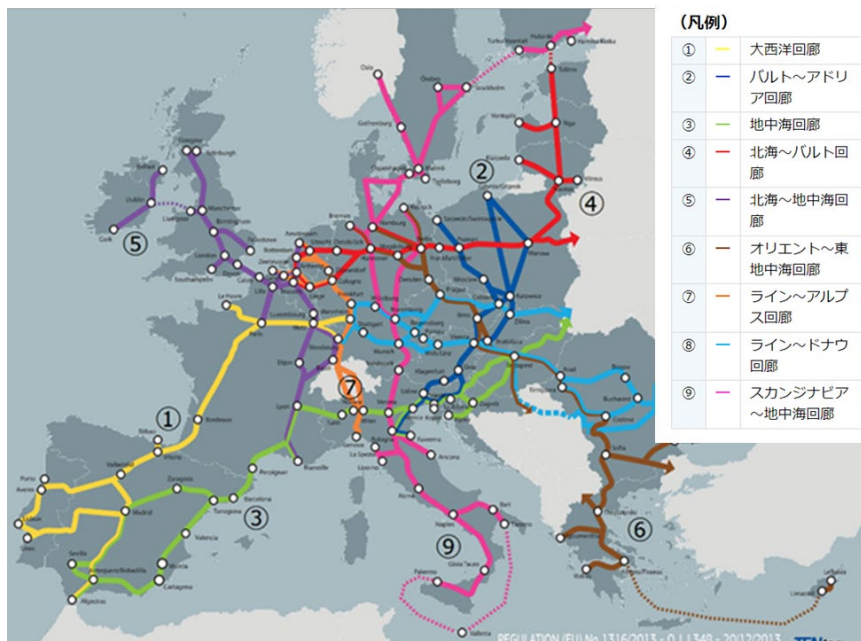


図 1-5 EU の鉄道計画

出典:日本貿易機構(JETRO)

欧州では、各国の計画を統合する形で、EUによるTEN-T(Trans-European Network - Transport)として欧州全域の交通網整備が取りまとめられている。上図は、TEN-Tにおける欧州全体の鉄道計画を示したものである。TEN-Tは、鉄道、内陸水路、道路、港湾、空港に関するEU全体の交通路整備の計画であり、回廊(Corridor)でEU全域をカバーすることを基本とする。鉄道は、かなりの重点を置かれ、高速鉄道の整備は、新線

建設及び(250km/h までの)在来線高速化改良・乗り入れ、新線建設及び(従来から最高速度 160km/h 以下の)在来線改良・乗り入れて構成される。また、2023 年現在、欧州議会で審議中の改正案では、SUMP(「持続可能な都市モビリティ計画」)を通して TEN-T 沿い主要都市における公共交通の改善も TEN-T の枠組みとセットにする方向で議論が進む。なお、欧州は5、10 万人程度の小さな都市であっても公共交通のサービスレベルは総じて高く、ここでの「改善」は、それを更に向上させるものとなる。また、TEN-T では、具体的な整備時期の目標が明記されており、コアネットワークは 2030 年、拡張コアネットワークは 2040 年、包括ネットワークは 2050 年が目標とされている。

■海外の高速鉄道計画

表1-1に、欧州各国、中国、さらに比較のため日本の高速鉄道計画について、概略をまとめた。さらなる詳細は資料編「海外の高速鉄道計画編」を参照されたい。

表 1-1 欧州各国、中国、日本の高速鉄道計画

国	整備方法	貨物列車	計画上の特色
日本	新設	旅客専用	細長い国土を背景に、主要都市を一直線上に結ぶ主軸を本州の太平洋側を中心にしながら構成。需要の大きな東京を起点とし、延伸または分岐する形でネットワーク機能を拡充。初期は輸送力増強に主眼が置かれたが、その後国土計画的な側面が加わる。
フランス	新設	旅客専用	需要の大きなパリからの放射状に主要都市に向かう路線を中心に構成。計画の初期は輸送力増強に主眼が置かれたが、1991 年の計画で国土計画的な要素が強まる。1991 年の計画に示された路線の多くは既に完成するか整備の方向性の目途が立ち、国境を越えたネットワーク構成部分など限られた「残り」区間の整備に現在は重きを置いている。
ドイツ	新設 & 在来線改良	貨客兼用	線形の良い在来線を大規模に線増・改良して高速化する方式と、高速新線の新設を当初から組み合わせた整備方式が特徴。各所に分散して立地する主要都市をネットワーク状に結ぶ。東西ドイツ再統一にあたっては東西の鉄道による接続強化も担う。2016 年の計画以降はスイス・オーストリアと同じくインテグラル・タクトダイヤ形成(Web 版 資料編参照)を主眼に置いている。
スイス	要所での新設	貨客兼用	インテグラル・タクトダイヤによるネットワーク形成を主眼とし、要所で路線の新設や在来線の改良をし、ITF ノードになる主要都市間の所要時間を 30 分もしくは 60 分となるよう指向。またアルプスを南北に縦貫する回廊を新設。新設区間は 250km/h で高速走行可能。
オーストリア	新設 & 在来線改良	貨客兼用	スイスと同じくインテグラル・タクトダイヤによるネットワーク形成を主眼とする。乗り換えノードとなる都市が分散する国土構造を背景に、停車駅間の距離が比較的短くなる傾向があり、結果として長距離の連続高速走行箇所が少なく、営業最高速度は他国より抑制し 230km/h。
スペイン	新設	旅客専用	広軌である在来線の近代化が他国と比べて大幅に遅れたことを背景に、1980 年代末からの線形改良と輸送力増強にあたって標準軌の高速新線を選択。マドリッドから放射状に海岸方面の主要都市に向かう路線を中心に構成。
イタリア	新設	貨客兼用	細長い国土を背景に、ローマやミラノ、ナポリやヴェネチアなどの主要都市を一直線上に結ぶ T 時型的主軸を構成するように整備。軸上から外れる都市も在来線への乗り入れによりカバー。
中国	新設	旅客専用	急速な経済発展を背景に鉄道の近代化を行う中で、輸送力の増強と速達性の実現を指向した高速鉄道整備を開始。のちに西部や北部などの国土開発の要素が高速鉄道に加わる。

出典：筆者作成

ネットワークの姿は、国土の形状、都市の規模、配置に応じて、各国において合理的なものになっていると言える。日本の国土の形状はイタリアに近く、都市の配置は大都市（首都）を中心に地方に伸びるフランスに近いと言える。なお、日本で「大都市」と言うとまず東京都市圏や京阪神都市圏が思い浮かぶが、これらは世界の中でも特に巨大なものであり（ミニコラム：都市圏人口の内外比較 参照）、欧州での「大都市」とは、特に大きなものでも、日本の名古屋を中心とする中京圏の規模である。

さて、ネットワークの形は、概ね下記の3通りに大別できる。図1-6にはそれぞれのタイプを模式的に示した。

- ・ 中心都市から放射状にネットワークし、2地点間の速達性を重視するもの（ポイント・タワー・ポイント型）：フランス、スペイン
- ・ 都市間を面的にネットワーク化し、ノードとなる駅での乗り継ぎも含め全体の速達性を重視するもの（タクトダイヤ・ネットワーク型）：ドイツ、スイス、オーストリア
- ・ 国土の軸線上の主要都市を数珠つなぎに結ぶもの（数珠型）：イタリア、日本

なお中国の高速鉄道は単純に分類できないが、広大な国土と巨大な人口を背景に、この3要素のいずれをも備えているといえる。

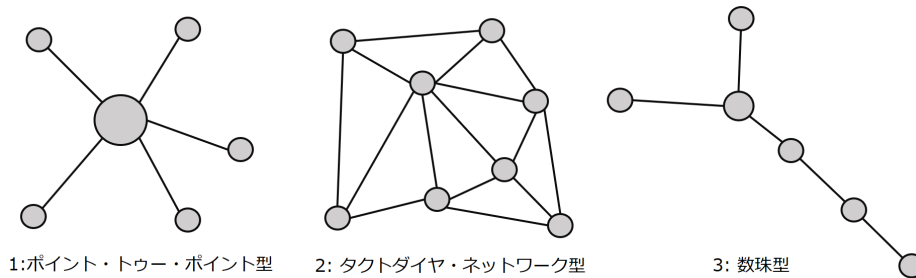


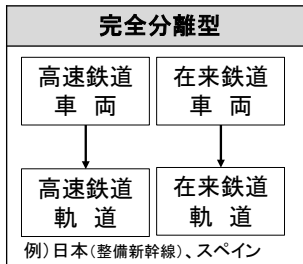
図1-6 高速鉄道網の類型

◎ミニコラム:整備形態の相違

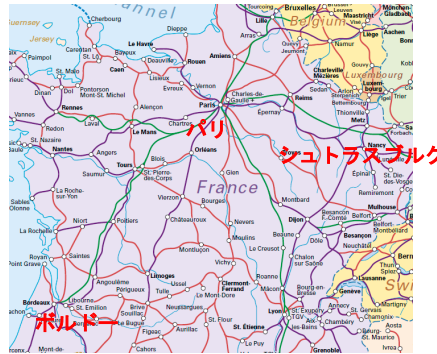
欧州の高速鉄道整備は、大きく3つの形態に分類できる。スペインは、日本と同様、高速鉄道と在来鉄道の軌間(左右のレールの離隔)に相違があるために車両の直通運行に課題があり、日本と同様に高速鉄道と在来鉄道を完全分離した専用線形態を基本に高速鉄道の整備を進め、在来線への直通は一部において行われている。他の国々は、高速鉄道と在来鉄道の軌間が同じであり(標準軌)、在来線の線形等の品質も総じて良いため(東海道新幹線並みに曲線半径が大きい等)、在来鉄道を高速走行用に改良し、高速鉄道を建設するとともに車両を直通運行させる整備が行われている。また、逆に、高速鉄道軌道に在来鉄道車両を乗り入れさせることで在来鉄道の利便性も高める完全乗り入れ型も見られる。



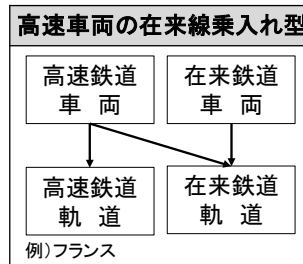
Spain
 在来線:広軌,
 高速鉄道:標準軌
 高速鉄道専用線を整備



※在来鉄道には貨物車両も対象となる。



France
 在来線・高速鉄道:標準軌
 高速鉄道専用線を整備しつつ、
 都市部・地方部路線へ乗入を実施



Germany
 在来線・高速鉄道:標準軌
 高速鉄道専用線がほとんどない

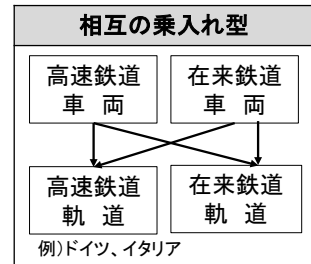


図 1-7 高速鉄道の整備形態

出典:OECD ITF / 運輸総合研究所

在来鉄道を含めた鉄道の総営業キロは、日本は欧州主要国と比べて平均的なレベルで、面積(平方キロ)当たりでも同様である。一方、国民千人当たりで見ると短く、フランスやドイツの半分程度となっている(図 1-7)。

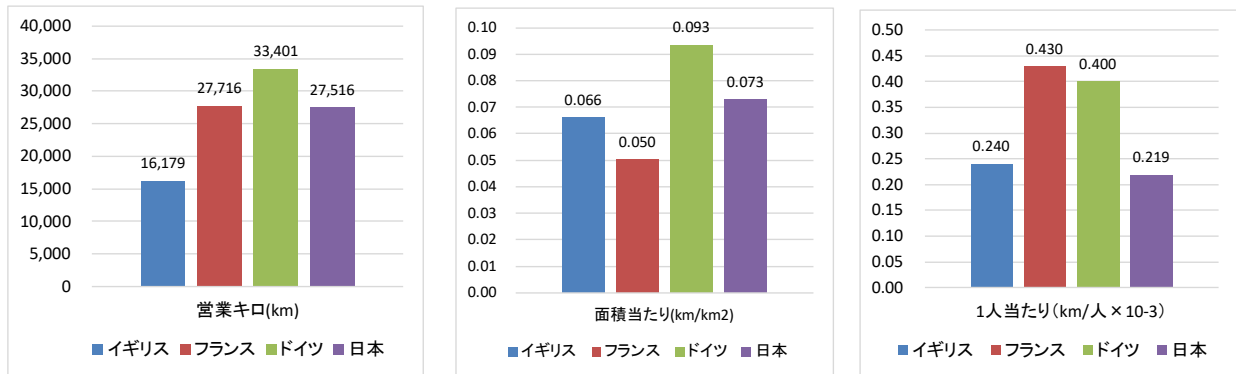


図 1-8 鉄道の整備レベル(幹線系 高速鉄道+在来鉄道)

出典:面積・人口:世界の統計 2023,総務省統計局

営業キロ:The World Bank, Rail lines(total route-km), (イギリス、フランス、ドイツ)、鉄道輸送統計調査,総務省統計局(日本)
 輸送量:The World Bank, Railways, passengers carried (million passenger-km)

◎ミニコラム:都市圏人口の内外比較

日本の大都市である東京圏は、世界で突出して人口が多く、大阪圏も世界的な巨大都市(世界 10 位)となっている。

表 1-2 から、東海道新幹線は、人口が突出して多い世界 1 位の都市(東京圏)と世界 10 位の都市(大阪圏)を結ぶ大動脈であることがわかり(ロンドンと同規模の名古屋圏も経由)、需要追従型の路線であり事業性も高く、大都市の更なる発展にも寄与している。他方、海外では、総じてネットワーク形成型(後述)となっていることが伺える。

表 1-2 都市圏人口の日欧比較

国	圏域	都市圏人口(千人)
日本	東京	37,468
	大阪	19,281
	名古屋	9,507
イギリス	ロンドン	9,046
	マンチェスター	2,690
フランス	パリ	10,901
	リヨン	1,690
ドイツ	ベルリン	3,552
	ハンブルグ	1,793
イタリア	ミラノ	3,132
	ローマ	4,210
スペイン	マドリッド	6,497
	バルセロナ	5,494
スイス	チューリッヒ	1,371
オランダ	アムステルダム	1,132
	ロッテルダム	1,008
オーストリア	ウィーン	1,901

注)都市圏人口の世界順位は、1位:東京(日本)37,468 千人、2位:デリー(インド)28,514 千人、3位:上海(中国)25,582 千人、4 位: サンパウロ(ブラジル)21,650 千人、5 位:メキシコシティ(メキシコ)21,581 千人、6 位:カイロ(エジプト)20,076 千人、7 位:ムンバイ(インド)19,980 千人、8 位:北京(中国)19,618 千人、9 位:ダッカ(バングラディシュ)19,578 千人、10 位:大阪(日本)19,281 千人
なおここでいう都市圏とは国連による定義であり、OECD-EU が定義する Functional Urban Area などと共通の考え方である。

出典:The World's Cities in 2018 (United Nations)

◎ミニコラム:高速鉄道の技術基準比較

各国の高速鉄道の技術基準を比較する。設計最高速度は、日本の整備新幹線は260km/hであるが、海外では300km/h以上が一般的で、380km/hの国もある。この相違は、主として最小曲線半径の相違に起因し、日本(整備新幹線)では4,000mであるが、海外ではそれより大きい4,670m~9,000mも見られる。

なお、設計最高速度は、東海道新幹線は、開業時の210km/hから現在は285km/hになっており、また、東北新幹線は、東京・盛岡間が開業時の260km/hから現在は320km/hに向上され、盛岡・新青森間も同様の高速化を進めているなど、開業後に環境対策を含む速度向上施策によって向上されてきている。

表 1-3 設計基準の比較表

	日本	フランス	ドイツ	スペイン	韓国	中国
路線	整備新幹線	高速新線(LGV)	新設線(NBS)	高速新線(LAV)	高速線	高速旅客専用線
設計最高速度	260km/h	300-350km/h	300-330km/h	300km/h	350km/h	380km/h
最小曲線半径	4,000m	4,000~6,250m	4,000~4,670m	4,000m	7,000m	7,000~9,000m
軌道規格	1435mm	1435mm	1435mm	1435mm	1435mm	1435mm
線路乗入	新幹線専用	都市部乗入	在来併用 貨物併用	高速専用	在来併用	高速専用
軌道中心間隔	4.3m	4.2~4.8m	4.5、4.7m	4.3m	5.0m	5.0m
施工基面幅	11.2m	13.6~14.2m	12.1、13.7m	13.3m	14.0m	13.8m
軌道構造	スラブ	バラスト	バラスト/ スラブ	バラスト	スラブ/ バラスト	主にスラブ (96%)

出典:新幹線と世界の高速鉄道 2014(社団法人海外鉄道技術協力協会)

2. 計画目標の達成度

(1) 日本の新幹線鉄道

■計画の達成度

全国新幹線鉄道整備法に基づき、1973年に「整備計画」とされた5路線(整備新幹線)を対象に今日まで建設が進められてきている。そこで、整備計画路線を「計画」として達成度を示すこととする。2023年4月1日現在、995kmが開業しており達成度は66%となる。2024年春に北陸新幹線(金沢・敦賀間)が開業すると、1121kmとなり達成度は74%に拡大する。

なお、基本計画路線の取り扱いは今後の議論となるため参考程度となるが、仮に基本計画路線も「計画」に含めると達成度は25%となる。

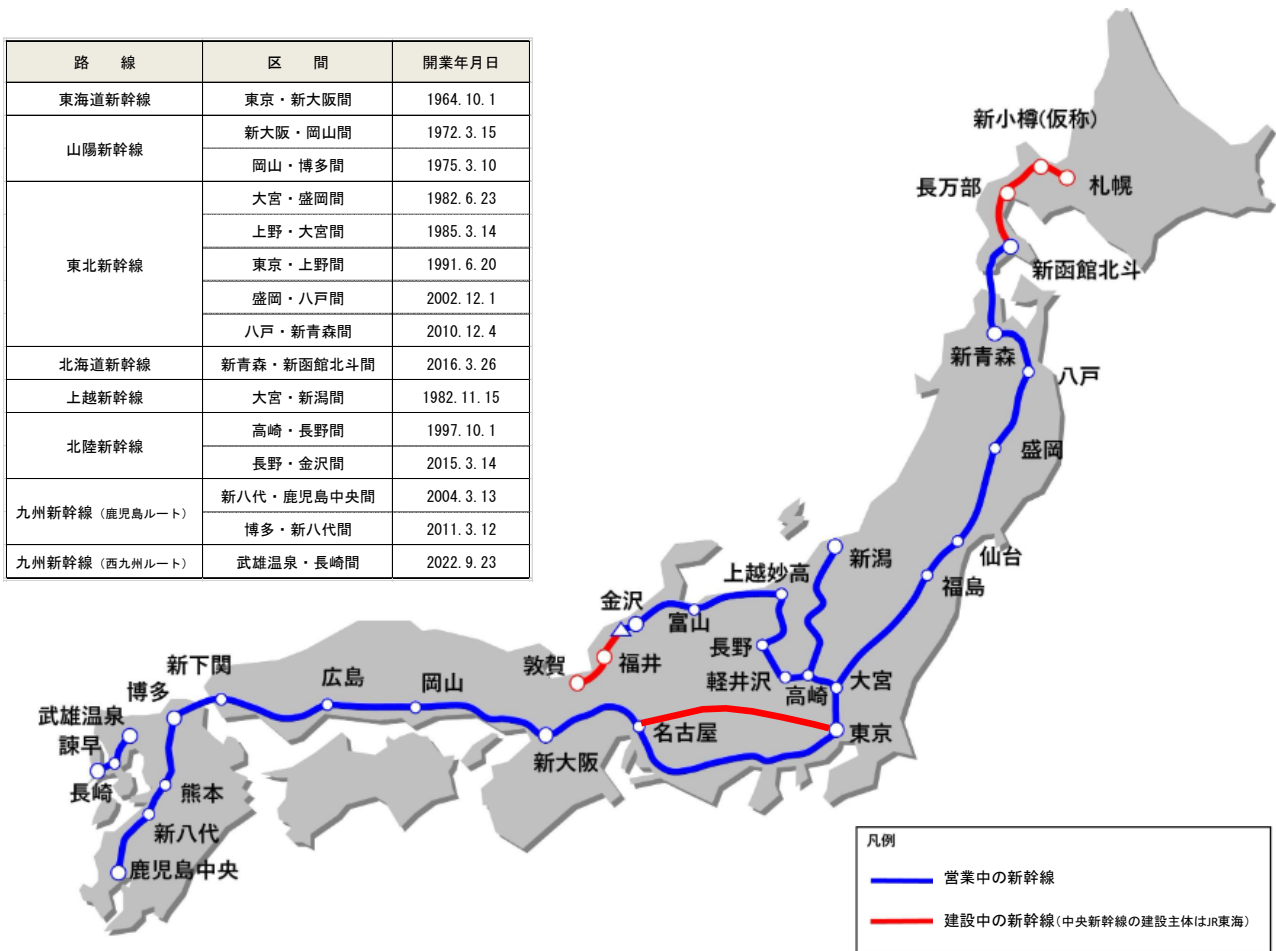


図 2-1 全国の新幹線鉄道網の現状

出典:鉄道・運輸機構HPをもとに加筆

◎ミニコラム:新幹線の輸送密度と運行本数

図 2-2 のように、各新幹線路線の輸送密度を比較すると、東海道新幹線は突出して高く、山陽、東北(盛岡以南)、上越の各新幹線もいずれも高い。これらは需要型新幹線と言えるが、いずれも日本国有鉄道が存在していた時代に建設されたもので既設新幹線といわれる。一方、整備新幹線である、東北(盛岡以北)、北陸、九州、北海道の各新幹線は、上述した需要型新幹線を延伸し、または、太平洋側路線に対して日本海側を経由するもので、ネットワーク形成型と言える。

整備新幹線の各路線は、それまでに建設された新幹線と異なり、新たな需要を創出したり、交通機関の分担に変化をもたらしたり、地域経済の活性化に寄与したりといった新たな効果や影響を期待するものであり、輸送密度の規模の視点では欧州の高速鉄道整備と同様の性格といえる。なお、全国新幹線鉄道整備法では、「新幹線鉄道による全国的な鉄道網の整備を図り、もって国民経済の発展及び国民生活領域の拡大並びに地域の振興に資すること」を目的とし、その目的を達しうるものとして新幹線鉄道は、「全国的な幹線鉄道網を形成するに足るものであるとともに、全国の中核都市を有機的かつ効率的に連結するもの」とされている。

また、図 2-3 には、各路線の平均的な運行本数を示した。これを見ると、東海道・山陽新幹線の本数がずば抜けて多いことが分かる。また、東北新幹線(盛岡以南)は、山陽新幹線と輸送密度は概ね同等であるが、運行本数は少ない。東北、上越、北陸の3新幹線は(山形、秋田新幹線をカウントすると 5 新幹線になる)、東京・大宮間の線路を共用しているため、各々の新幹線にとっては運行できる本数に物理的な制約があることが、要因のひとつとなっている。

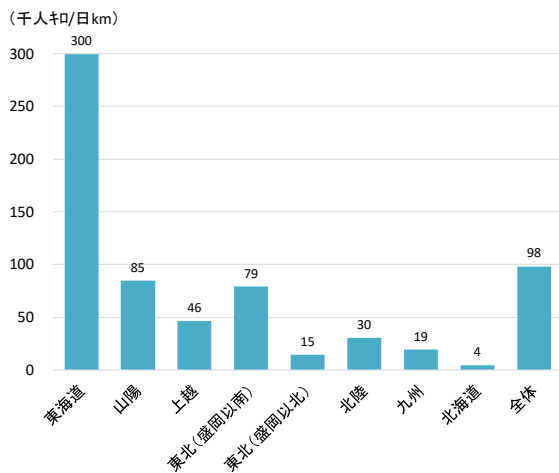


図 2-2 輸送密度(人キロ/日・km)

出典: 数字で見る鉄道 2020 より作成 (2018 年度輸送人員)
鉄道輸送統計年報 2018 年度分

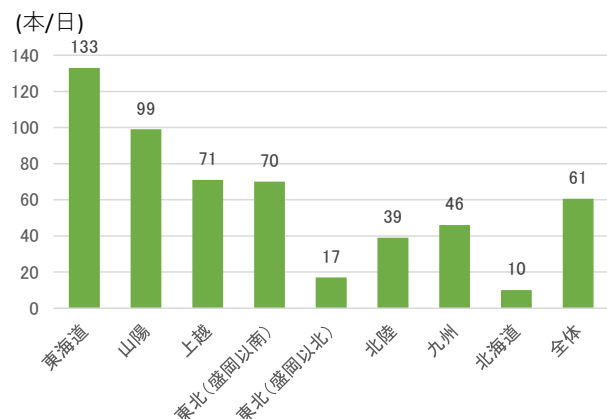


図 2-3 運行本数(本/片側/日)

出典: JR時刻表 2022 年より作成

(2) 国際比較(海外の高速鉄道との比較)

■計画目標の達成度

日本の計画目標の達成度は、海外と比較すると平均的である(日本の計画は整備計画路線)。欧州では、鉄道の整備が、道路等と同様の位置づけで公的になされているが、日本は、鉄道がそうした位置づけではないなか、着実に整備を進めてきたと言える。

また、計画目標の延長(開業済みを含む全体延長)は国により大きく相違があり、中国が突出して長く、アメリカ、スペイン、日本が続いている。スペインやフランスは、これまで積極的に整備を進めてきているが、現在も、各々863km,702kmの計画を有している。特に、スペインは政策的に高速鉄道ネットワークの整備を強力に進めている。

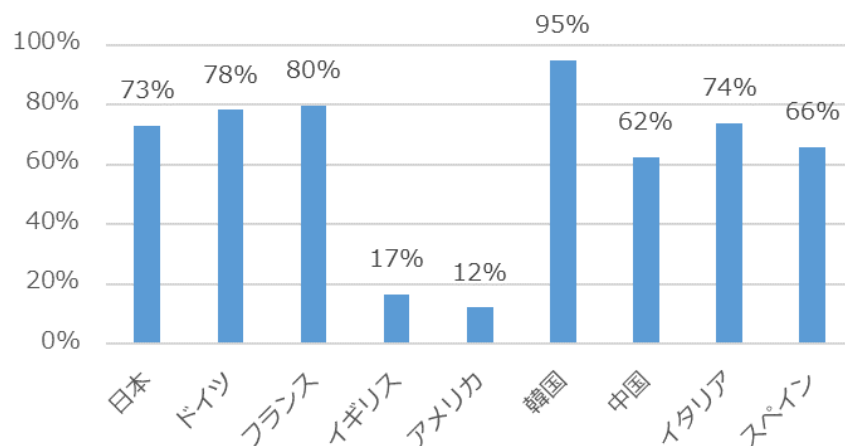


図 2-4 計画目標の達成度図

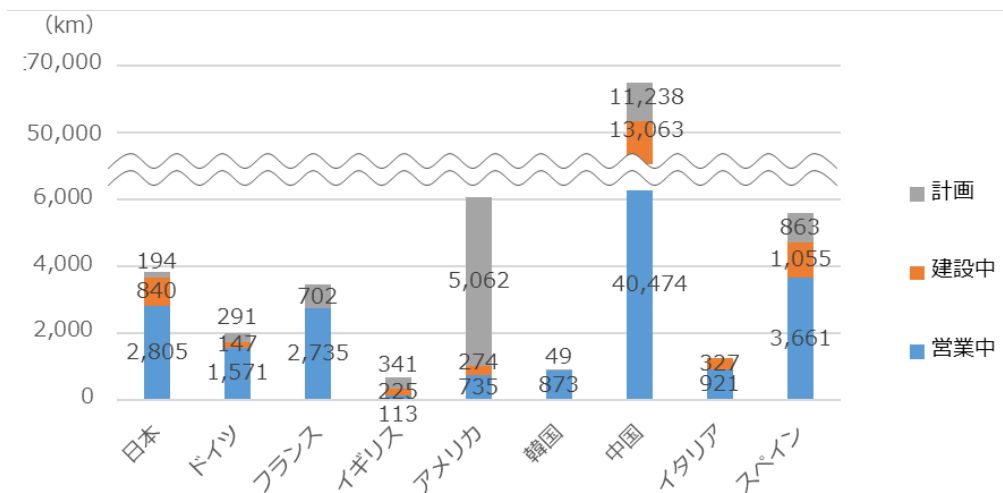


図 2-5 計画目標と営業区間の延長

出典: UIC ATLAS High-Speed Rail 2022 より作成

※達成度 = 開業済延長 / 合計延長(開業済, 建設中, 認可済み計画, 未認可計画)

※日本の場合, 整備計画は認可済み計画, 未認可計画はなし。(基本計画は考慮していない)

※日本については山形新幹線, 秋田新幹線を除き, リニア中央新幹線を含む。

営業区間は東海道新幹線など整備新幹線でない路線を含む。

※フランスの計画路線は, モビリティ基本法(2019年)などに記載された長期計画の内容に沿っている。

表 2-1 各国の営業路線、建設中、計画路線の延長(km)

整備延長 (km)	日本	EU	フランス	ドイツ	スペイン	韓国	中国
営業路線	2,805	11,701	2,735	1,571	3,661	873	40,474
建設中	840	2,103	-	147	1,055	-	13,063
計画路線	194	6,798	702	291	863	49	11,238
合計	3,839	20,602	3,437	2,009	5,579	922	64,775

出典: UIC ATLAS High-Speed Rail 2022 より作成

※計画路線は認可済の未着工計画(Planned: It is approved but not start constructing)と

未認可の計画(Long-term Planning: It is not approved, just planned)の合計

※200km/h以上で営業走行する路線を表示

※フランスの計画路線は、モビリティ基本法(2019年)などに記載された長期計画の内容に沿っている。

※EUの数値は、27ある加盟国の合計である。営業路線には、オーストリアやベルギーの新線や、スウェーデンなど北欧諸国の在来線の高速鉄道への改良が含まれる。計画路線には、ポーランドやチェコなど1000km程度の長期計画をしている国のものも含む。

◎ミニコラム:騒音基準の内外比較

諸外国と新幹線騒音基準との比較を表 2-2 に示す。外国の基準の性格は推奨基準であったり規制基準であったりするので注意が必要であるが、ドイツなどでは在来鉄道騒音に対する社会反応が他の交通機関よりも緩いという調査結果に基づき、在来鉄道の騒音については道路交通騒音を基準として 5dB の緩和処置(いわゆる「鉄道ボーナス」)を設けている。また、欧州の騒音基準が昼間に対して 55~69dB であるのに対して、わが国の新幹線騒音の基準は 46~ 59dB に相当し、諸外国と比べて厳しい水準にある。

表 2-2:欧州の住居および住商混在地の鉄道騒音基準と我が国の新幹線騒音の比較

国名	法令等	L_{Aeq} 値	備考 (区間)
イギリス	住宅開発に際しての推奨区分(L_{Aeq})	55-66(07-23h)	計画条件付承認
ドイツ	イミッション防止法(道路+5dB ボーナス)	64-69(06-22h)	新設, 大規模改造
フランス	騒音に係る法律(1992)	60-65(08-22h)	TGV の要対策
日本	環境基準(70-75dB)から L_{Aeq} 換算値	54-59(07-22h)	(東京-三島)
		52-57(07-22h)	(新大阪-岡山)
		51-56(07-22h)	(大宮-那須塩原)
		50-55(07-22h)	(広島-小倉)
		50-55(07-22h)	(大宮-高崎)
		46-51(07-22h)	(越後湯沢-新潟)

(注:表中のイミッションは immission の意。最近はアイミッションと読むことが多い)

なお、高速走行のための騒音対策やその技術の詳細については資料編を参照されたい。

3. 整備水準の国際比較

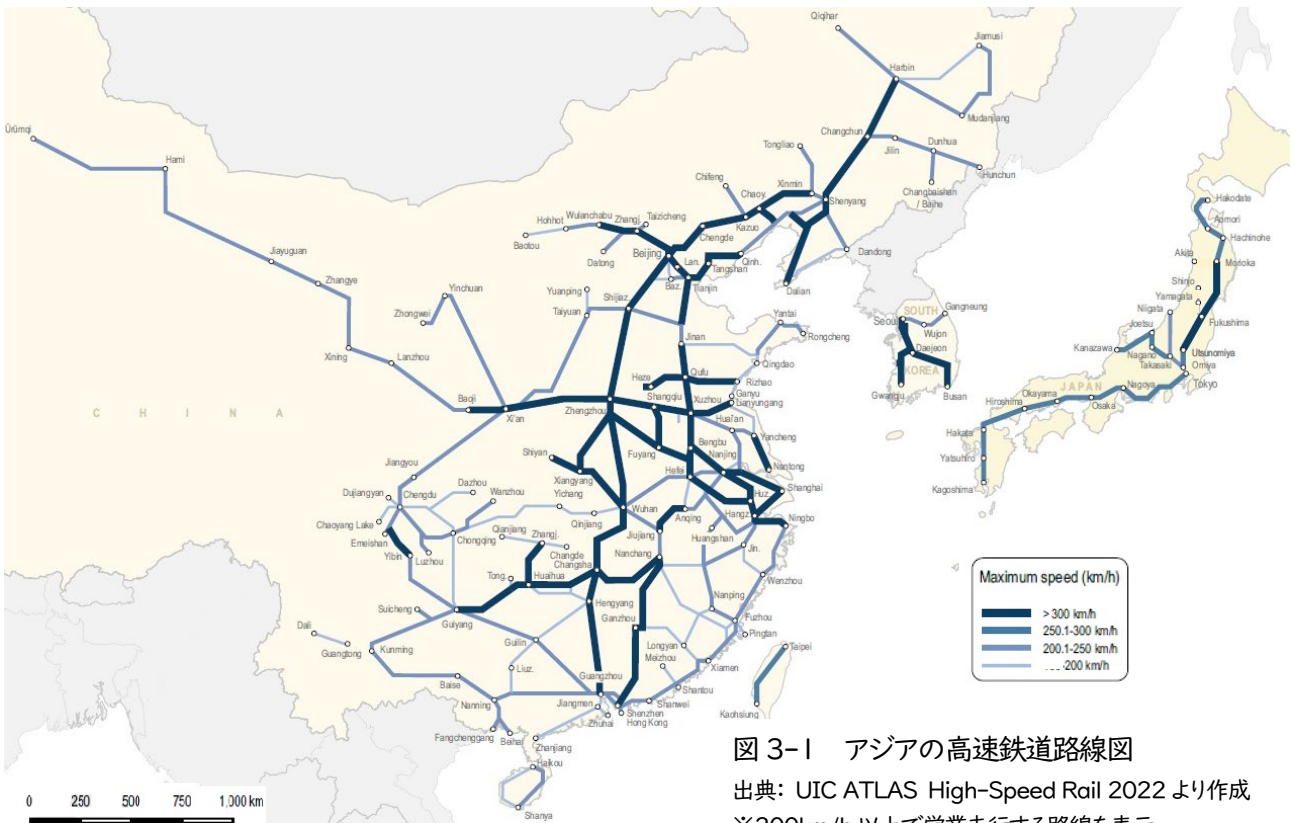


図 3-1 アジアの高速鉄道路線図

出典: UIC ATLAS High-Speed Rail 2022 より作成

※200km/h 以上で営業走行する路線を表示

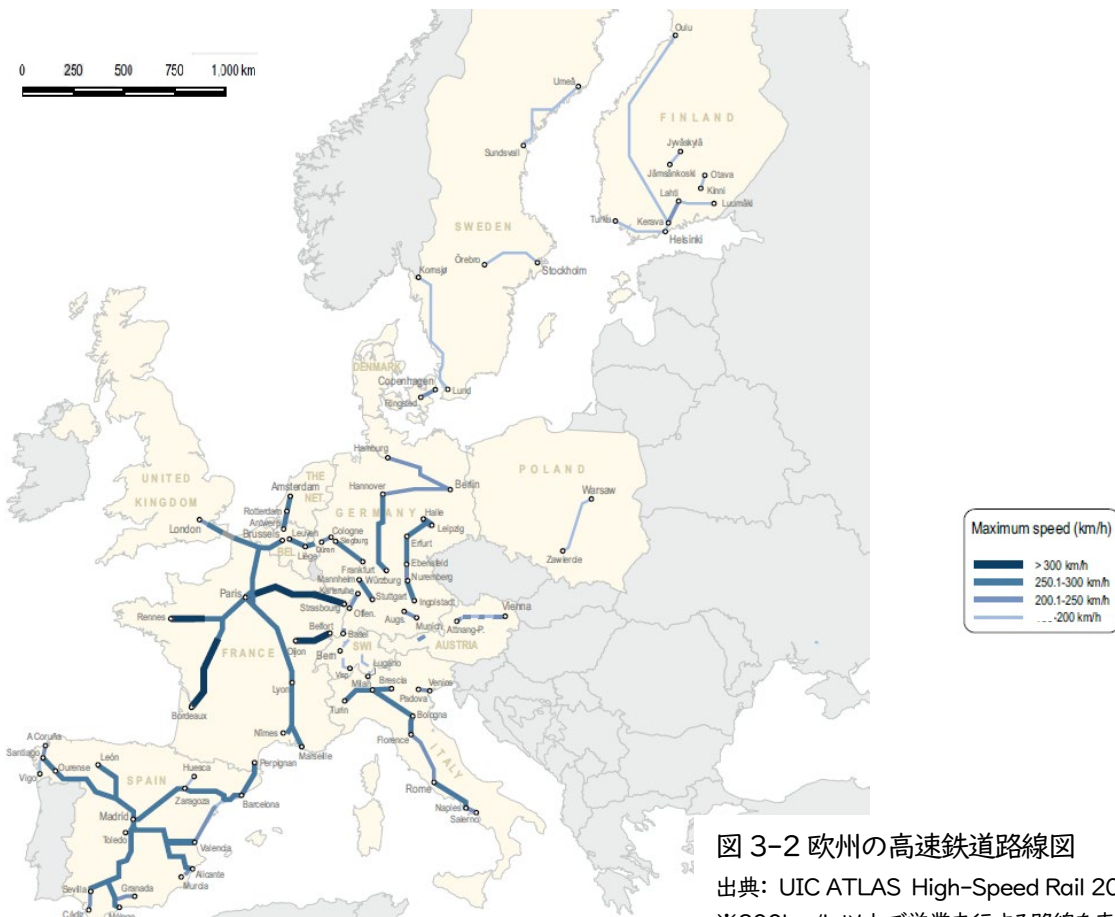


図 3-2 欧州の高速鉄道路線図

出典: UIC ATLAS High-Speed Rail 2022 より作成

※200km/h 以上で営業走行する路線を表示

(1) 整備延長

日本の新幹線に触発される形で、当初は西ヨーロッパの諸国、その後はさらに多くの国で、高速鉄道が計画され、建設されてきた。国際鉄道連合 UIC の資料によると、2021 年現在では日本を含む 20 か国で高速鉄道が供用され、約 5 万 9 千キロの路線が営業中である。このうち約 4 万キロは中国であり、スペイン(約 3600km)、日本(約 2800km)、フランス(約 2700km)、ドイツ(約 1600km)、イタリア(約 900km)、韓国(同)などが続く。またトルコ(約 1100km)やサウジアラビア(約 400km)などの国々も高速走行可能な新線を擁する。規模の小さな国でも、オーストリア(約 300km)やベルギー(約 200km)、スイス(同)が国の規模に比して比較的長大な高速鉄道路線を擁している。またフィンランド(約 1100km)やスウェーデン(約 860km)のように、在来線を大幅に改良することで高速走行に対応した路線網を広範に持つ国も存在する。このほかに現在約 2 万キロの高速鉄道路線が建設中であり(うち中国が 1 万 3 千 km)、さらに約 2 万キロ(うち中国は 4000km)が建設を見据えた具体的な計画として進行中である。

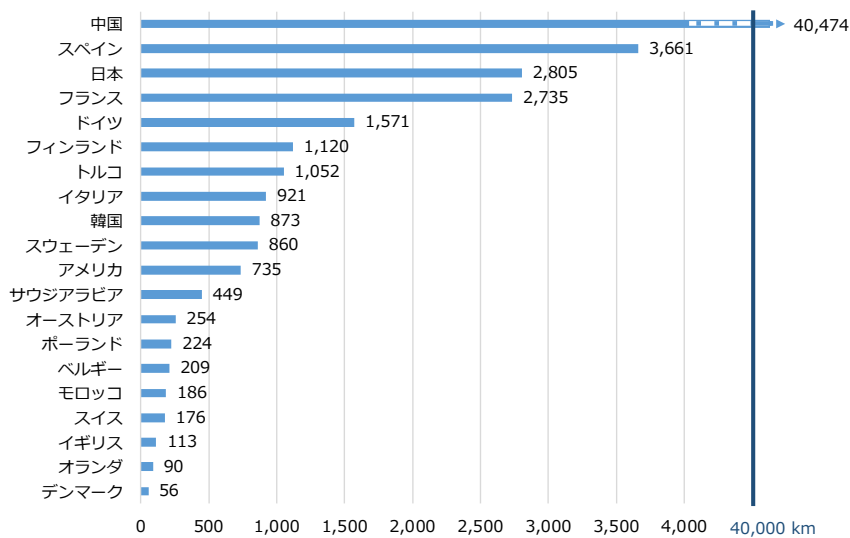


図 3-3 営業中の高速鉄道延長

出典: ATLAS High-Speed Rail 2022 より作成

※日本については山形新幹線、秋田新幹線を除いた

※高速鉄道:200km/h 以上で商業的に走行可能な列車

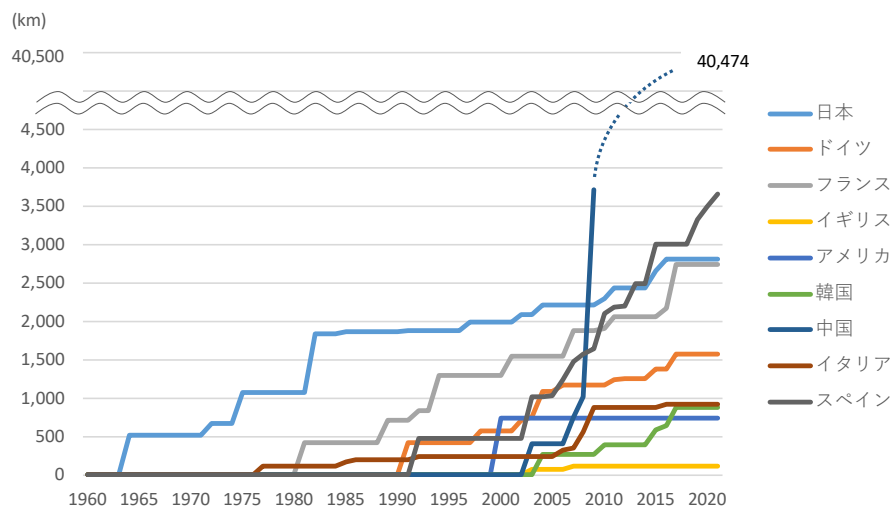


図 3-4 営業中の高速鉄道延長の推移

出典: ATLAS High-Speed Rail 2022 より作成

※日本については山形新幹線、秋田新幹線を除いた

■海外における在来線の高速鉄道化

我が国の新幹線は在来線鉄道とは別の新線として建設される。山形新幹線と秋田新幹線はサービス名としては新幹線を名乗るが、福島～山形～新庄の区間、盛岡～大曲～秋田の区間はいずれも在来線を 1,067mm の狭軌から 1,435mm の標準軌に改軌したものであり、最高速度は 130km/h で踏切もあり、法律上の位置づけもあくまで在来線である。

高速鉄道と在来線鉄道の軌間や車両限界などが共通化されている欧州や中国大陸では、在来線を大幅に改良することで高速鉄道に改良する例がある。欧州では、ドイツやオーストリアが鉄道の高速化にあたってこの方法を新線 (Neubaustrecke, NBS) 建設と組み合わせながら多用しており、改良線 (Ausbaustrecke, ABS) と呼ばれる。ABS の対象となるのは基本的に平たんで曲線半径が $R=2000$ ないし $R=2500$ 程度以上、すなわち在来線でありながら東海道新幹線と同程度の線形の区間である。大陸欧州には 19 世紀に建設された鉄道でもこういった線形の良い区間が多数ある。これよりも急な曲線が多い区間や急こう配のある区間では新線建設 (NBS) が選択される。また、既存の複線をそのまま ABS とすることもあるが、多くの場合は腹付け線増による複々線化を行いながら ABS の整備を行っている。この場合、既存の複線は低速の各駅停車などローカル輸送用の列車と貨物列車が、高速走行用の複線には長距離旅客列車が走るのが基本であり、新幹線と在来線の関係と変わらない。なお深夜など長距離旅客列車がなく線路容量に空きがある場合に、貨物列車が高速走行用の複線を使用することもある。図 3-5 に、オーストリア¹ のウィーンからリンツまでの 188km 区間の NBS と ABS による高速鉄道整備を模式的に示した。

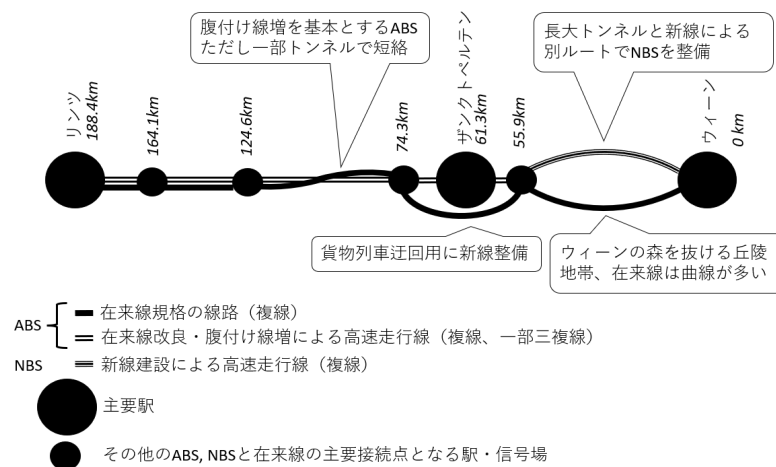


図 3-5 ウィーン～リンツ間の ABS と NBS の組み合わせによる高速化

また、大都市近郊だから NBS、地方部は ABS というような分けではなく、大都市近郊でも ABS による改良がしばしば行われる。一例として図 2 にドイツ南部バイエルン州のミュンヘンとその北西部の鉄道網とその中の ABS を示す。ABS 化にあたっての主な改良点は、「踏切の除去」「高速走行用の信号保安装置への更新」「駅の改良」「騒音対策」の 4 点である。また、図 3-6 中に矢印で示した、ミュンヘン～アウグスブルク間の幹線上にある中間駅である Mering 駅周辺の拡大を図 3-7 に示す。Mering 駅はこの ABS 区間の中で唯一ローカル線が分岐する駅であるが、ABS 化で追加された高速走行用の複線はその分岐方向とは反対側に敷設されており、在来線とローカル線の接続が保たれている。改良に際してはかつて駅舎側にあったホーム 1 面を撤去して、駅構内での高速走行用通過線の空間を確保している。踏切はすべて除去されており立体交差化されている。また、この駅では低速走行用の線路と高速走行用の線路は接続していないが、この約 40km の ABS 区間では、全線を通じて高速走行用の線路と低速走行用の線路の間に渡り線は一切ない。

¹ なお厳密には NBS、ABS の名称はドイツとスイスのみで公式に用いられオーストリアでは使用されないが、本稿では便宜的に使用している。

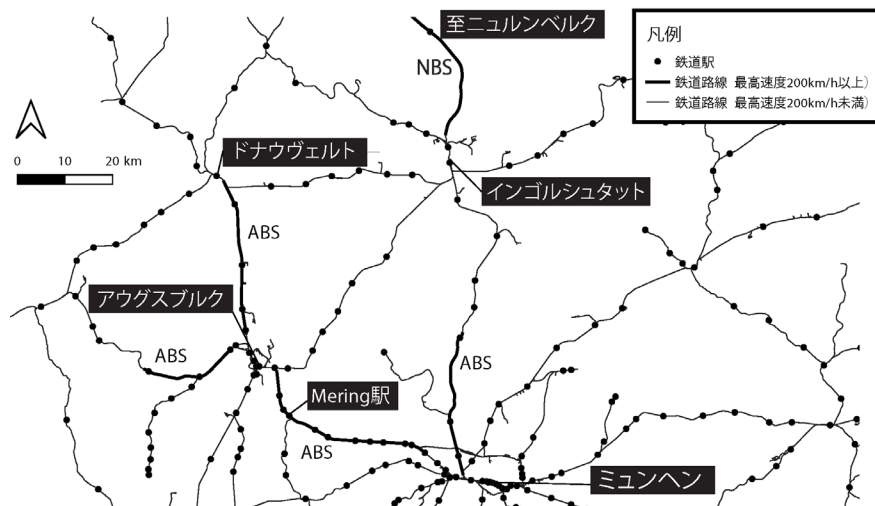


図 3-6 バイエルン州南部の鉄道網と ABS

出典:OpenStreetMap より筆者作成

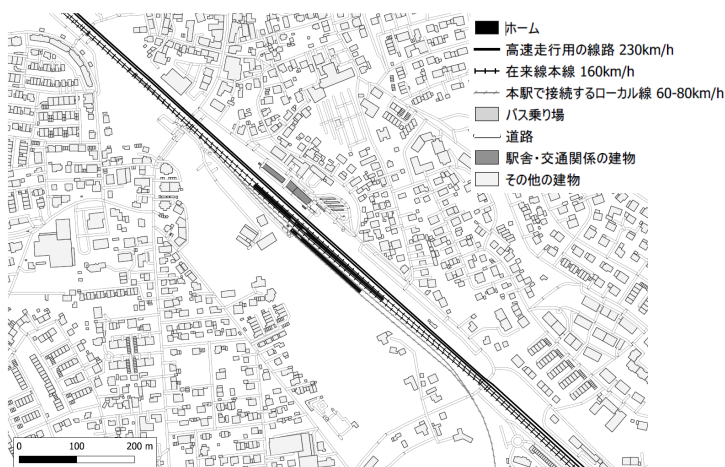


図 3-7 Mering 駅周辺の拡大図

出典:OpenStreetMap より筆者作成

また、「腹付け線増」による複雑線の ABS において、線増した高速走行用の複線が必ずしも全区間で在来の複線にぴったり併設されているとも限らない。特に、(1) 川沿いなど平たんではあるが部分的に急曲線がある区間や、(2) 密集市街地を通る箇所では、在来の複線はそのままに、線増の高速走行用の複線のみ別経路やトンネルによるショートカットが選択されることもしばしばある。図 3-8 にその一例を示す。A 地点は高速鉄道は停車しない市街地近傍を避けるため外側に迂回、B 地点は小河川沿いの曲線の多い区間を避けトンネルで通過、C 区間は曲線半径を大きくするために在来線からカーブ内側に少し離れ短いトンネルで短絡する。C 地点から東側は在来の複線と並んでいる。

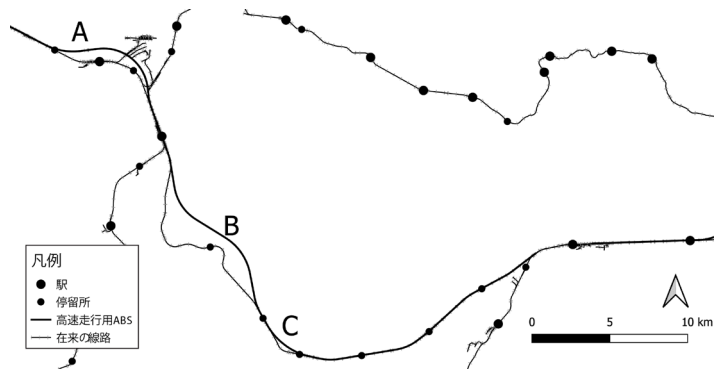


図 3-8 ABS が在来線から離れる例

出典:OpenStreetMap より筆者作成

■国土係数・GDPで基準化した整備延長

交通ネットワークの相対的な充実度を判断する指標として、道路事業では「国土係数」が用いられることがある。国土係数(\sqrt{PA})は、人口(P)と面積(A)で表現される。

国土係数(\sqrt{PA})で基準化した高速鉄道整備延長の国際比較を図3-9に示す。また、経済規模を表すGDPを用いて基準化した国際比較を図3-10に示す。

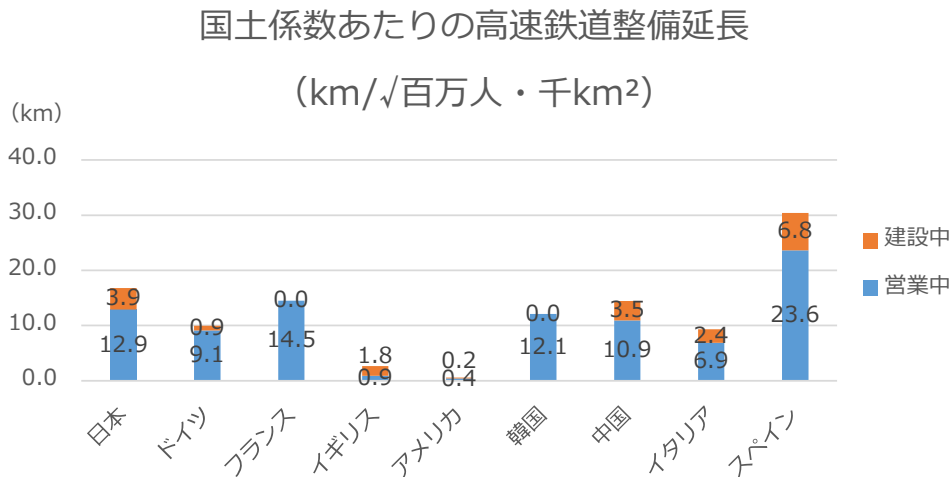
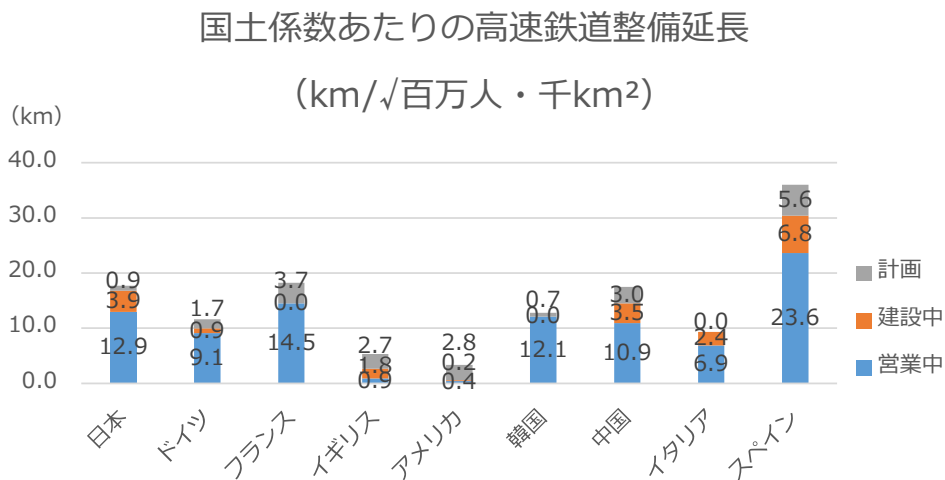


図3-9 国土係数あたりの高速鉄道整備延長



(参考) 国土係数あたりの高速鉄道整備延長(計画を含む)

出典: 高速鉄道整備延長: ATLAS High-Speed Rail 2022

人口: 国際連合 (UN) World Population Prospects の推計値 (2021年6月の値)

面積: 国連人口統計年鑑 (Demographic Yearbook) (2020年時点)

GDP: 国際連合 (UN) National Accounts - Analysis of Main Aggregates (AMA) (2020年名目GDP(米ドル表示))

※日本の高速鉄道には山形新幹線・秋田新幹線を除き、リニア中央新幹線を加えている。

※計画路線は認可済の未着工計画 (Planned: It is approved but not start construction) と未認可の計画 (Long-term Planning: It is not approved, just planned/Line under study: Similar to "long-term planning" status) の合計

※フランスの計画路線は、モビリティ基本法(2019年)などに記載された長期計画の内容に沿っている。

この比較において、日本は国土係数あたりの整備延長は、突出して高いスペイン(30.4km \sqrt 百万人 \cdot 千km 2)、低いアメリカ(0.6km \sqrt 百万人 \cdot 千km 2)、イギリス(2.7km \sqrt 百万人 \cdot 千km 2)を除く中間的なグループ(9~17km \sqrt 百万人 \cdot 千km 2)にあり、その中で上位となっている。計画延長を含めても同様であるが、フランスが日本を上回り、中国が日本に近づくなどの変化は見られる。

GDPあたりの延長は、突出して高いスペインと中国(3.6~3.7km/10億ドル)、極めて低いアメリカとイギリス(0~0.1km/10億ドル)を除くグループ(0.4~1.0km/10億ドル)にあり、その中で標準的レベルにある。計画延長を含めても同様であるが、中国とスペインは更に増加し、フランスが日本を上回るなどの変化は見られる。

欧州諸国は総じてネットワーク形成型と言えるが、特にスペインでは、在来線と高速鉄道の軌間が異なるうえ、在来線の品質(単線、曲線等)に課題があるため、高速鉄道ネットワークの整備を強力に進める考え(政策)があり、国土係数やGDPに比して、このような高い値になっているものと考えられる。

GDPあたりの高速鉄道整備延長

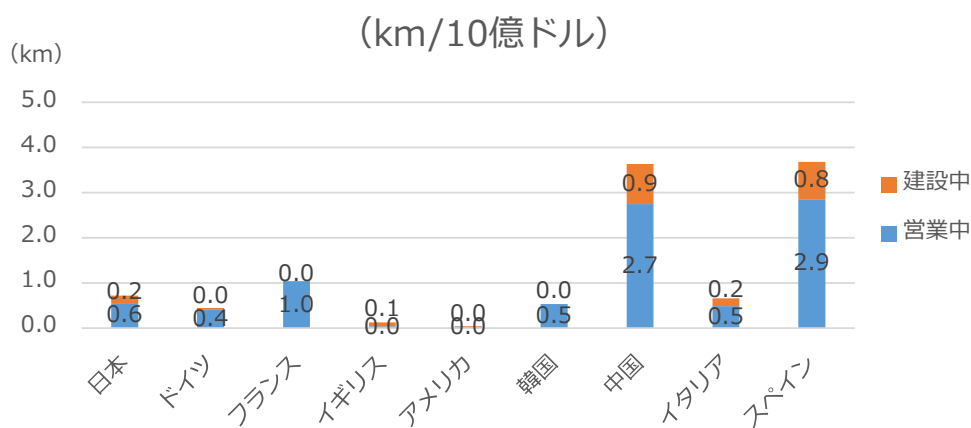
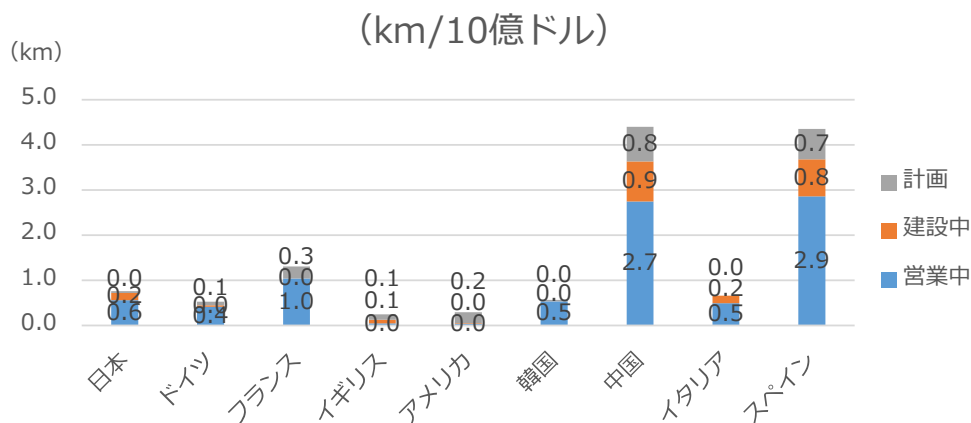


図 3-10 GDP あたりの高速鉄道整備延長

GDPあたりの高速鉄道整備延長



(参考) GDP あたりの高速鉄道整備延長(計画を含む)

出典:高速鉄道整備延長:ATLAS High-Speed Rail 2022

人口:国際連合(UN)World Population Prospects の推計値(2021年6月の値)

面積:国連人口統計年鑑(Demographic Yearbook)(2020年時点)

GDP:国際連合(UN)National Accounts - Analysis of Main Aggregates (AMA)(2020年名目GDP(米ドル表示))

※日本の高速鉄道には山形新幹線・秋田新幹線を除き、リニア中央新幹線を加えている。

※計画路線は認可済の未着工計画(Planned:It is approved but not start construction)と未認可の計画(Long-term Planning:It is not approved, just planned/Line under study:Similar to "long-term planning" status)の合計

※フランスの計画路線は、モビリティ基本法(2019年)などに記載された長期計画の内容に沿っている。

(2) 沿線人口と輸送人員

■沿線人口

日本と欧州(ドイツ、フランス)について、高速鉄道の沿線主要都市の立地(距離)と人口規模を比較する(図3-11)。東海道新幹線、山陽新幹線は、人口規模が大きな連担する都市を結んでいる一方、東北新幹線、上越新幹線、北陸新幹線(以下、3新幹線)は、上記新幹線より人口規模の小さい連担する都市を結んでいる。そのため、国内では、3新幹線は沿線人口が少ない都市を結んでいると思われるが、東海道・山陽新幹線が、東京圏や大阪圏はじめ世界的に見て巨大な都市を結んでいるためにそう見えやすく、むしろ3新幹線の方が欧州並みである。世界的には、高速鉄道の整備は、需要追従型というより、むしろ都市や国土のあり方に関わるネットワーク形成型として進められてきており、高速鉄道をこうした視点で捉えることが重要と言える。

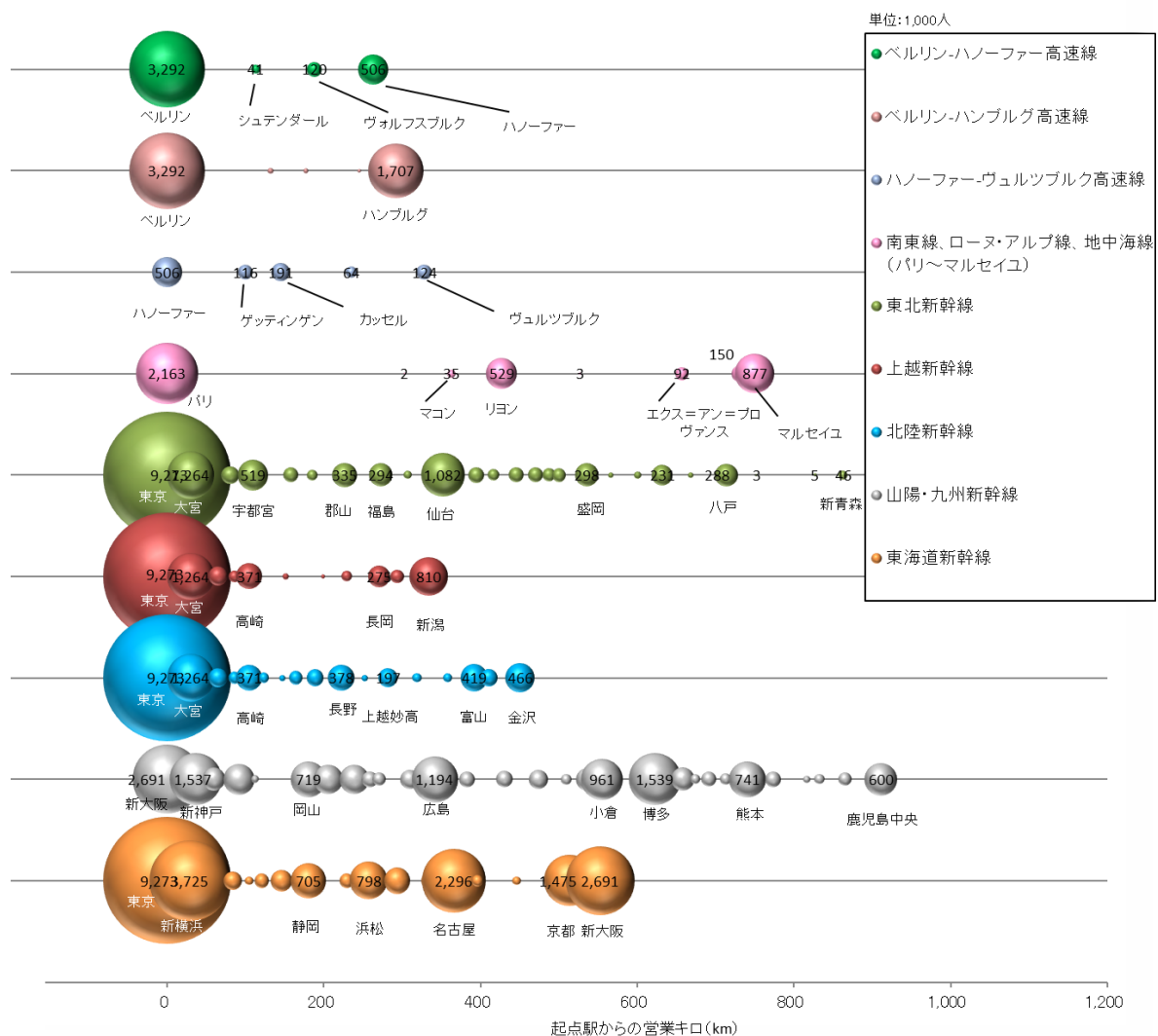


図 3-11 沿線主要都市の人口分布

出典:人口:Insee, Recensement de la population 2020, Znsus2011
 営業キロ:『ヨーロッパ鉄道時刻表 日本語解説版(2017年7月5日発行)』
 ※フランス、ドイツについては人口の多い都市を沿線を含む路線を選定した。
 ※各都市は高速鉄道駅の所在している市町村の人口。
 ※東京は特別区部の人口。
 ※パリは20区の人口。

■都市人口と高速鉄道ネットワークの整備状況

図 3-12 は、都市人口と高速鉄道ネットワーク（最高速度 200km/h 以上）の整備状況を、日本とフランス、ドイツ、スペイン、イタリアについて整理したものである。40 万人都市のカバー率は、日本が 50%、海外は60~88%、30 万人都市では、日本が 40%、海外は 47~77%、20 万人都市では、日本は 35%、海外は 41~73%である。

日本は、高速鉄道の都市カバー率でみると低めであり、海外平均の 65~69%となっている。

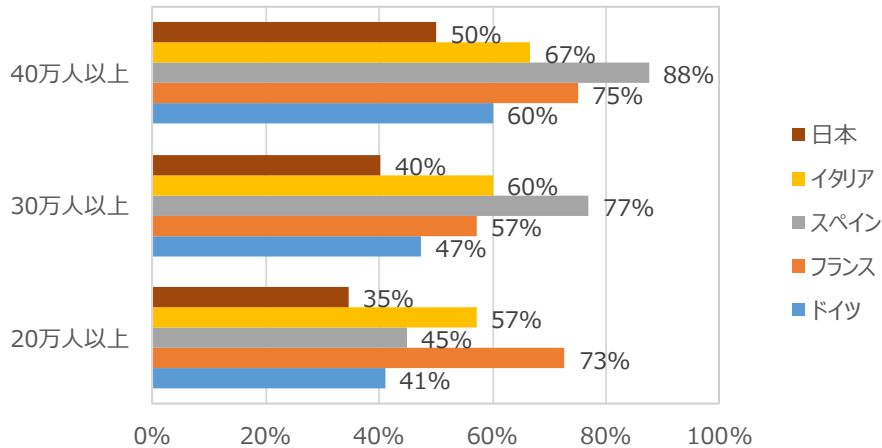


図 3-12 都市人口と高速鉄道ネットワークの状況（在来線高速鉄道化・直通区間含む）（200km/h 以上）

出典：人口 日本：国勢調査（2020）、イタリア：Population Housing Census 2011、スペイン：Censos de Población y Viviendas 2011、フランス：Insee, Recensement de la population 2020、ドイツ：Zensus2011
高速鉄道駅の有無については地図等により確認（2022 時点）

■在来線乗り入れ（非高速）も含めた達成度

在来線（非高速走行）も含めた高速鉄道直通乗り入れネットワークの人口規模別の都市カバー率を図 3-13 に示す。30 万人以上と 40 万人以上の都市でみると、フランス、ドイツはいずれも 100%、イタリア、スペインが 67~88%、日本は各 43%と 52%、20 万人以上の都市でみるとフランスは 100%、ドイツは 77%で、イタリア、スペインが各 71%、66%、日本は 37%である。日本は、高速鉄道（新幹線）と在来線で軌間が異なるため在来線乗り入れによる手法が限定的とならざるをえないことも影響している。

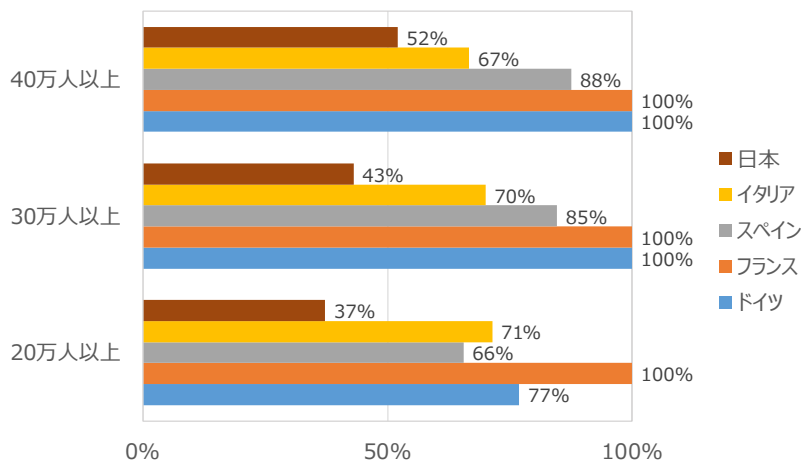


図 3-13 都市人口と高速鉄道ネットワークの状況（在来線直通区間（非高速）含む）

出典：人口 日本：国勢調査（2020）、イタリア：Population Housing Census 2011、スペイン：Censos de Población y Viviendas 2011、フランス：Insee, Recensement de la population 2020、ドイツ：Zensus2011
高速鉄道駅の有無については地図等により確認（2022 時点）

■輸送人員

日本は路線延長当りの輸送人員は比較的高い方(イタリアに次ぐ)であり、日本に比して、ドイツは7割程度、フランスは約半分、スペインは約1割以下である。一見すると、日本は効率的で、欧州は日本より非効率であることを示していると思われやすいが、視点を変えれば、日本は大きな輸送需要を背景に需要追従型の整備が進められてきた歴史がある一方、欧州は小さな輸送需要でもネットワーク形成型の整備が進められてきたことを示していると言える。(図3-14)

また、人口当たりの輸送人員は、日本が最も多く、次いで中国、イタリア、フランスの順となっており、日本はそれらの国の1.14~1.20倍となっている。海外諸国と比べ、日本は高速鉄道(新幹線)がよく利用されている国であることが言える。(図3-15)

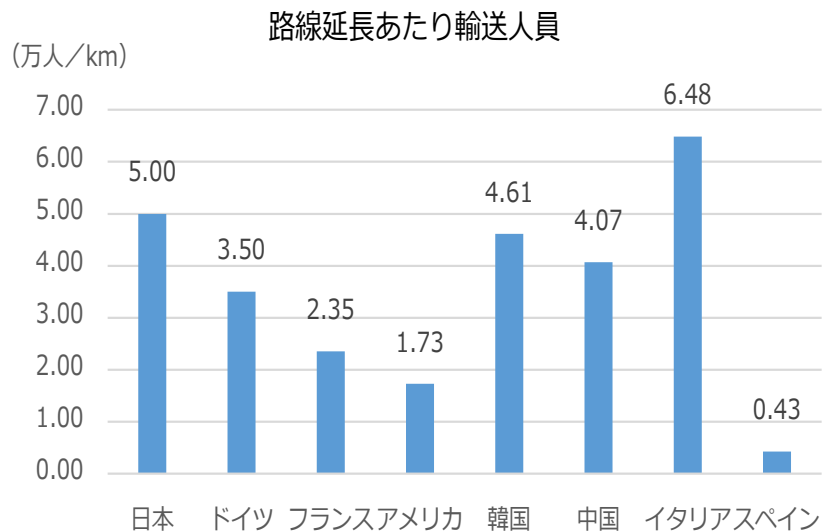


図3-14 路線延長あたり輸送人員(万人/年/km)

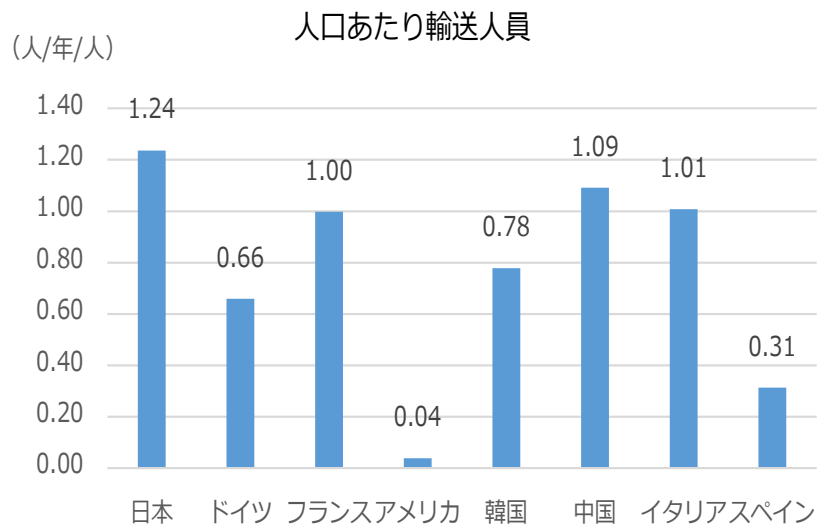


図3-15 人口あたり輸送人員(人/年/人)

出典: 輸送人員:ATLAS High-Speed Rail 2022

人口:国際連合(UN)World Population Prospectsの推計値(2021年6月の値)より作成

※日本は山形新幹線、秋田新幹線を含まず。

(3) 速度

■新幹線と世界の高速度鉄道の最高速度

日本の新幹線は、営業開始後において、技術開発と環境対策を含む速度向上施策によって最高速度を向上させてきた。世界に先駆けて開業した東海道新幹線は最高速度 210km/h であったが、現在は 285km/h となっている。また、東北新幹線（東京・盛岡間）は 210km/h から 320km/h となり既設新幹線では最高速度となっている。整備新幹線は 260km/h で設計されているが、東北新幹線（盛岡・新青森間）は 320km/h にする施策が進められている。

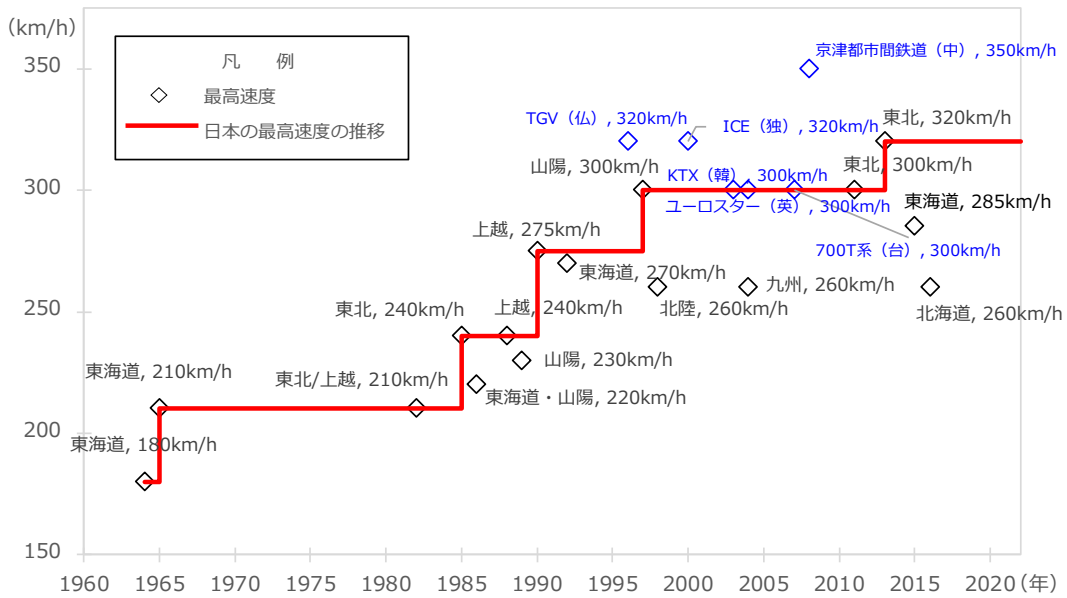
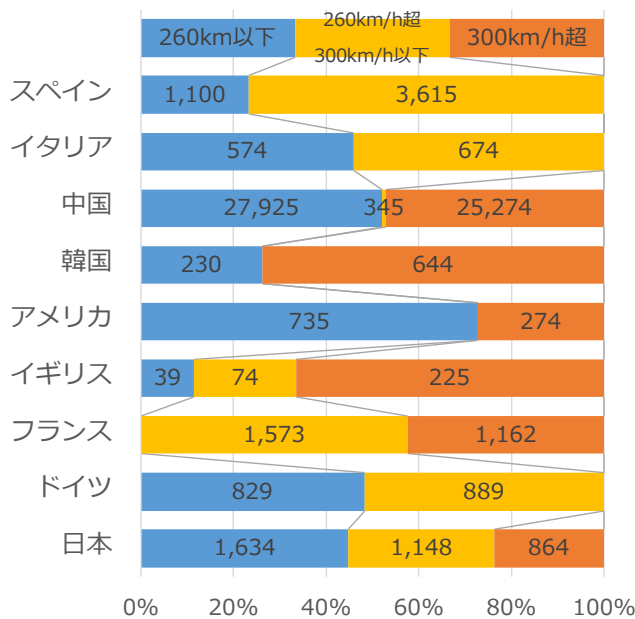


図 3-16 高速鉄道の営業最高速度の変遷

出典:2011 年度再評価資料 付属資料(鉄道・運輸機構)をもとに一部更新

世界の高速度鉄道において今後開通する路線の多くは最高速度 300km/h 以上となっている。図 3-17 では、営業中または建設中の路線の最高速度について、路線延長比の割合を国別に比較した。日本は、最高速度の面では、平均的な水準にあるといえる。



※路線延長は ATLAS High-Speed Rail 2022 に掲載されている延長を集計した。

※日本の高速鉄道には山形新幹線・秋田新幹線を除き、リニア中央新幹線を加えている。

※北陸新幹線(金沢~敦賀)、北海道新幹線(新函館北斗~札幌)は 260km/h、リニア中央新幹線は 505km/h として計上した。

図 3-17 営業中または建設中の路線の最高速度割合 (路線延長 km 比)

■最高速度と表定速度の比較

日本の新幹線の設計最高速度自体は、世界的には決して高くない水準にある。一方、表定速度は設計最高速度に近い高い水準となっている。この要因として、欧州は、在来線の改良(高速鉄道化)と高速専用線の建設による直通運行形態が主であるが、日本は在来線と独立した高速専用線の建設による形態が主であることが挙げられる。

欧州は、高速専用線の設計最高速度は330km/hや350km/hが見られるなど高い水準にある一方、表定速度は、速達タイプでも日本の新幹線より低い路線が多い。乗り入れる在来鉄道区間の速度は、日本より高い場合が多いものの、高速鉄道専用線よりは低いことが表定速度の低下要因として挙げられる。また主要駅での停車時間を長めにする傾向があるほか、頭端式の駅への出入りなどによる表定速度の低下もある。

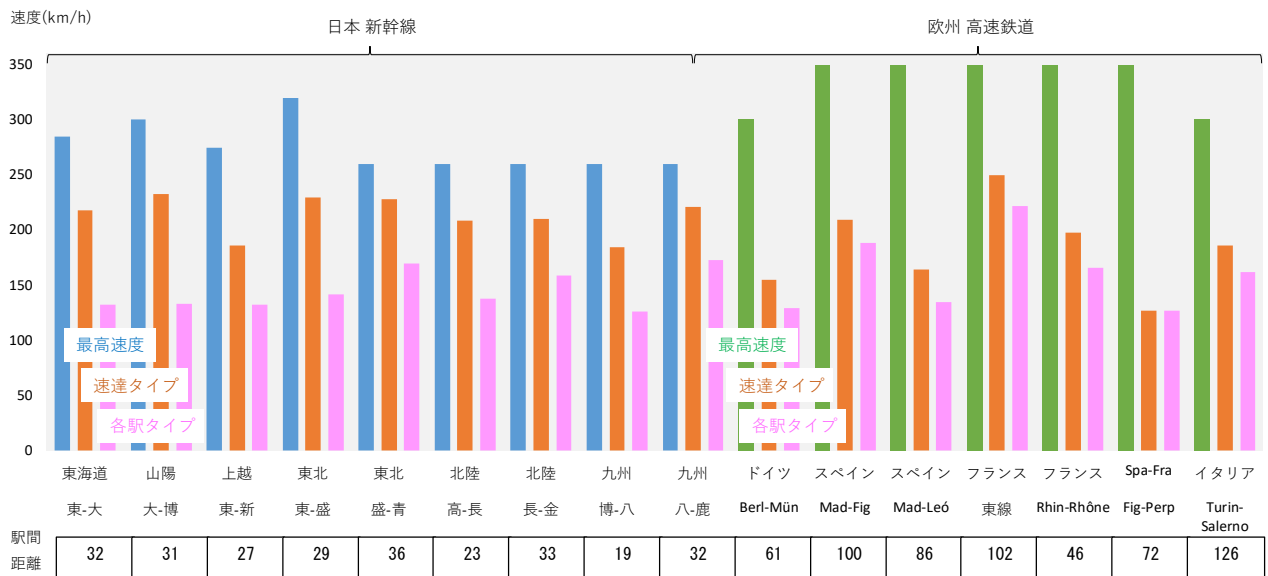


図 3-18 最高速度と表定速度

出典：高速鉄道整備に関する事業費の国際比較分析，運輸総合研究所
日本の新幹線はJR時刻表(2018)をもとに追記

(4) 同距離帯のモーダルシェア

日本では、移動距離 300km を超えるあたりから、鉄道のシェアが顕著に高くなり、1000km 未満の距離帯までは、高いシェアを維持しているのに対し、イギリス、フランス、アメリカでは、乗用車のシェアがかなり高くなっている。比較的高速鉄道の発達しているフランスにおいても、鉄道は 2 割余りのシェアであることが読み取れる。旅客輸送部門の持続可能性という観点から見ると、同距離帯のモーダルシェアについては、日本が一番環境負荷の低いモードを選択している傾向があるといえ、その要因として、鉄道に対する利用の選好性のほか、東京・大阪間をはじめとする沿線都市の集積性などが考えられる。

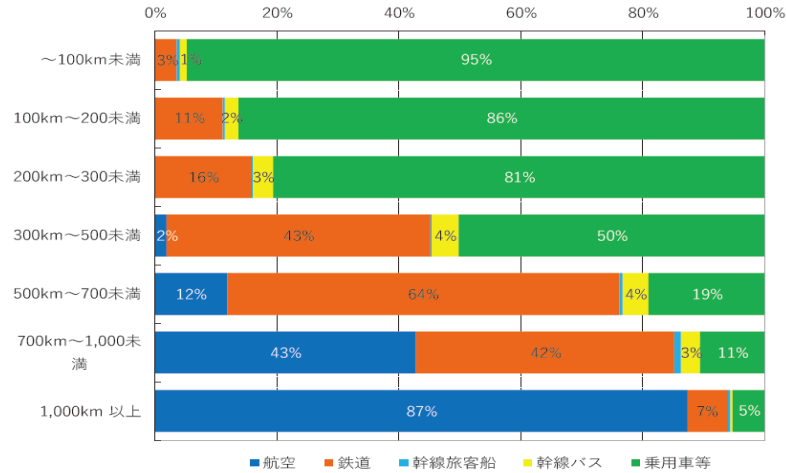


図 3-19 距離帯別代表交通機関別分担率(日本)

出典: 全国幹線旅客純流動調査(2015年)

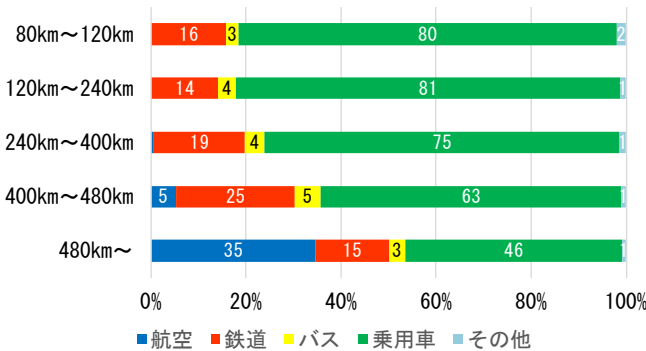


図 3-20 距離帯別代表交通機関別分担率(2019年イギリス)

出典: National Travel Survey: 2019 Long distance trips(2015-2019)

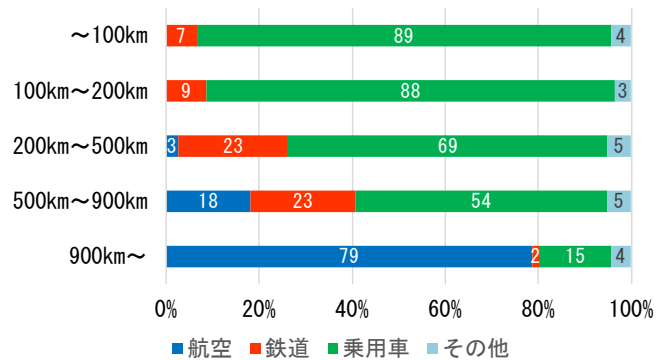


図 3-21 距離帯別代表交通機関別分担率(2019年フランス)

出典: The 2019 people mobility survey

※長距離の自動車利用が多いのは、長期滞在型の休暇など日本にはないタイプの需要のためと考えられる。

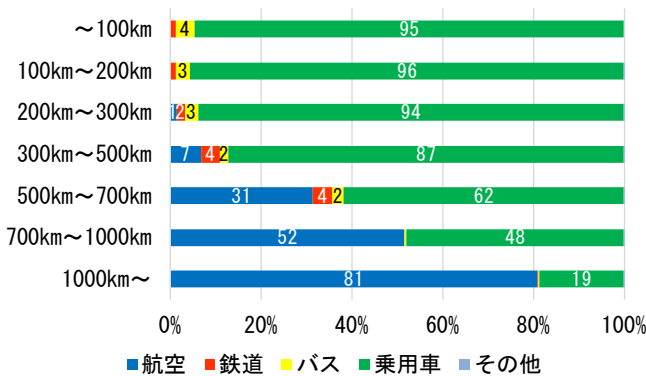


図 3-22 距離帯別代表交通機関別分担率(2017年アメリカ)

出典: The 2017 National Household Travel Survey(Trip Chains データより集計)

■競合する交通手段との協調関係の構築

高速鉄道と最も競争関係にあるのは航空である。長距離移動において高速鉄道がその本領を発揮するのは、おおむね 200km~800km 程度の距離帯で、高速鉄道では 1~4 時間程度の所要時間で結ばれる距離帯である。航空機では 1~2 時間の飛行時間となる距離帯であり、空港までの移動等を勘案しても高速鉄道にも十分に優位性があり、「4 時間の壁」という言葉に象徴されるように、高速鉄道も一定の交通手段分担率を担う距離帯である。

こういった距離帯の航空便は、広域・国際航空網の中ではフィーダー路線であることが多い。特にドア・トゥー・ドアの移動においては航空の優位性が必ずしも発揮されない。日本国内でも実際に、約 300km の距離帯である羽田~仙台の航空路線は、東日本大震災など東北新幹線の不通時の臨時便を除けば、1985 年の東北新幹線上野駅乗り入れ開始以降は運行されていない。同様に、羽田~富山間や羽田~小松間の航空路線も、2015 年の北陸新幹線開業後に、機材の小型化や減便が進んでいる。

こうした高速鉄道と航空の関係や特性は日本国外でも共通であるが、特に大陸欧州を中心にして、ハブ空港に高速鉄道を乗り入れる形で航空網と高速鉄道を結節し、航空路線から航空路線への乗り継ぎの代わりに、航空路線から高速鉄道へ直接乗り継ぎを可能とする整備が進む。本節では、はじめに鉄道と航空の協調の形態を整理し、その上で背景をまとめる。なお本節では「空港駅」という表現を用いるが、鉄道駅のうち空港ターミナルと直結しているものを指す。

■鉄道と航空の協調・統合の水準

現在知られている鉄道と航空の協調の内容を表に整理した。協調や統合の深化の度合いに応じて「水準」を独自に付してある。水準1の鉄道路線の空港への乗り入れは日本国内でも各所ですでに行われており、在来線鉄道が乗り入れる空港のほか、地下鉄が乗り入れるもの(福岡空港)、モノレールが乗り入れるもの(羽田空港)など様々である。また国外ではフランスのトゥールーズ空港やドイツのブレーメン空港のように、路面電車が乗り入れる空港も存在する。水準2にあたる長距離鉄道サービスの乗り入れも行われており、日本国内でも、在来線鉄道であるが、宮崎空港に特急列車が直通する例があり、かつては新千歳空港でも行われていた。海外でもこうした例は広くみられる。

水準3および水準4は、高速鉄道と航空サービスの統合の基礎となるインフラである。水準3の高速鉄道上への空港駅の設置は、フランス・リヨンのサン=テグジュペリ空港に高速新線の駅が設置されたものが最も古いものであるが、現在ではフランクフルト~ケルン間の高速新線の起点となるフランクフルト空港駅や、パリ東部を迂回し高速新線同士を接続する路線にあるシャルルドゴール空港駅など、欧州のハブ空港の空港駅が代表的である。高速鉄道の目的地となる鉄道駅にも新たに IATA による空港コード(3 レターコード)を付与し、高速鉄道区間も含めた「航空券」として一括で発券することが可能となっている。こうしたサービスは一般には Air-Rail Alliance などと呼ばれ、AiRail, tgvair など、航空会社と鉄道会社の共同のブランド名で呼称している。

水準5はこれらをさらに発展させ、空港駅構内にチェックインカウンターを設置して鉄道から航空へ乗り継ぐ旅客の負担の軽減を図るもので、ドイツのフランクフルト空港駅構内に設置されている。また、デンマークのコペンハーゲン空港のようにチェックインエリア自体が鉄道駅のコンコースを兼ねる設計とする例もある。航空から鉄道への乗り継ぎの場合は、目的地となる都市中心の駅には税関施設がなく空港構内で税関検査をせねばならないことから一般の出口と共用となることが多いが、フランクフルト空港のように空港駅構内の専用の荷物受け取り施設を設置し旅客の負担を軽減する例もある。

水準3~5は、表3-1にまとめたようにすでに欧州を中心にさまざまな空港で整備されている。かつては、水準6の、旅客が出発駅で荷物をチェックインすると最終目的地で受け取ることができるスルーチェックインが行われていたが、2001年の米国の同時多発テロ事件などを背景に航空保安基準が強化され、廃止されている。現在では、これを更に発展させる形で、水準7に相当する鉄道車両車内での荷物のチェックインの研究と実証実験がオ

ーストリアで進められている。鉄道車内に預け荷物のチェックイン設備を設け、どの駅から乗車する場合でもサービスを利用できるようにするのが狙いである。荷物保管スペースを車内に搭載する専用のコンテナとすることで航空保安上の要請に対応する構想が進められている。

表 3-1 鉄道と航空の協調・統合水準

水準	特徴	代表例(国内)	代表例(海外)
1	鉄道路線の空港駅への乗り入れによる市街地への鉄道アクセス	各所	各所
2	長距離鉄道サービスの空港駅への乗り入れ	宮崎空港	ブリュッセル空港、コペンハーゲン空港、スタンステッド空港(ロンドン)
3	高速鉄道路線上への空港駅の設置	(なし)	リヨン・サン＝テグジュペリ空港
4	遠方の鉄道駅への空港コード付与・列車への航空便名の付与		シャルルドゴール空港、チューリヒ空港、スキポール空港(アムステルダム)、ウィーン空港、ニューアーク空港(アメリカ)
5	手荷物預け設備・受取設備の空港駅への設置		フランクフルト空港
6	遠方の鉄道駅における手荷物預かりと航空サービスへのスルーチェックイン		(ケルン中央駅とシュトゥットガルト中央駅でかつて実施、2007年に廃止。)
7	鉄道車内における手荷物預かりと航空サービスへのスルーチェックイン		(ウィーン空港へ乗り入れる長距離高速列車において 2022 年に実証実験を実施)

■鉄道と航空の協調の背景

鉄道と航空の協調が欧州で本格的にスタートするのは 1990 年代である。この時期は最初期の次のグループの高速鉄道路線が建設された時期で、当初はシームレスな高速交通網の整備のため、空港への乗り入れが計画された。空港運用の観点からは、混雑するハブ空港で短距離路線に割り当てられていたスロットを長距離航空路線に振り向けるなど、ひっ迫するスロットへの需要を緩和しながら、航空の強みがより発揮できるようにするのが基本的な発想である。旅客にとっては、シームレス性が高まるメリットがある。

2000 年代以降は、高速鉄道の環境上の優位性の観点が加わり、協調の主眼もこちらへ移行している。短距離フライトは相対的に環境負荷が大きく、それを低減する政策手段の一つとして、鉄道と航空の協調によって短距離フライトを高速鉄道に統合して廃止する政策が進む。ドイツ連邦政府環境庁が座席使用率や発電も加味して推定した交通モード別の 1 人キロあたり温室効果ガス排出量²は、鉄道は国内線航空と比べて 6 分の 1 程度である。また EU 環境庁による試算³でも同様の結果となっている。フランス政府とオーストリア政府は、新型コロナウイルス感染症対応での航空会社への資金援助の条件として、それぞれ鉄道で 2 時間半(都市間)ないし 3 時間(空港から目的地都市)以内で結ばれる区間の国内線フライトを廃止することを条件とし、フランスでは法制化もされた。このように、政府レベルでも環境面からの短距離フライトの規制がおこなわれるようになりつつあるが、その前提として両国とも鉄道と航空の協調・統合のためのインフラ(水準 3, 4)がすでに整備されていることは特記すべきであろう。また、企業や公的機関が独自に CSR の一環として出張時に短距離フライトの使用を禁止する例も欧州を中心にすでに多数ある。たとえばイギリスの公共放送 BBC は、鉄道での所要時間が 3 時間以上追加的に伸びる場合のみ出張時の航空機利用を認める規定に 2009 年から変更⁴するなど、政府機関や主要企業での採用例が多い。

² <https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleich-der-durchschnittlichen-emissionen-0> なお本推定は電源構成をドイツの平均的電源構成としているが、ドイツの鉄道の電源は基本的に再生可能エネルギーであり、実際の鉄道の排出量はさらに少ないと推計される。

³ European Environment Agency, "Transport and environment report 2020 — Train or plane?", 2021 — 107 pp., ISBN 978-92-9480-390-0, doi: 10.2800/43379

⁴ <https://www.theguardian.com/environment/2009/oct/05/network-travel-and-transport>

航空分野における温室効果ガスの削減はわが国でもすでに検討や取り組みが始められているところではあるが、機体の環境性能向上や管制の変更による飛行ルートの変更、そして SAF (Sustainable Aviation Fuel) の調達といった航空分野の中での取り組みにとどまっているのが現状である⁵。航空と高速鉄道の協調・統合という、インターモーダルな交通サービスの統合による環境負荷の削減は、上述のように温室効果ガス排出の削減効果は大きい一方で、わが国では大きく遅れている分野である。特に政府が掲げる 2050 年カーボンニュートラルの達成という目標を鑑みれば今後の政策的展開が急がれる分野であり、日本における新幹線の今後の役割として重要な分野となり得ると考えられる。

⁵ <https://www.mlit.go.jp/common/001403136.pdf>

◎ミニコラム:新幹線の効果(北陸新幹線(長野・金沢間、2015年3月14日開業)の例)

北陸新幹線(長野・金沢間)の開業に伴い、東京圏と富山県・石川県との人流(鉄道利用。往復)が一日当たり7.6千人(2014年度)から、関西圏との人流規模に匹敵する約1万人増加して約18.2千人(新型コロナウイルス感染症出現前の2019年度)となり、倍以上となった。経済状況を反映するとされる地価が上昇し、税収も増加した。

「人口」と「人材」についての変化も見られた。我が国では人口減少が深刻な課題となっているなか、出生率が向上した(自然増)。移住(転入)も増加した(社会増)。出生率向上の要因として、例えば、雇用機会の増や待遇の向上によって経済的な理由が軽減、解消されたり、街に活気を感じたり(アンケート結果より)、シビックプライドを持つようになった(住民ヒアリングより)ことなどが想定される。また、首都圏から金沢大学と富山大学への進学希望者が増加した。学生にとってより適した教育を受けられる機会の増加は、社会的に見れば、天然資源が乏しい日本にとって重要な人材育成に繋がる効果と言える。

■地価(経済)

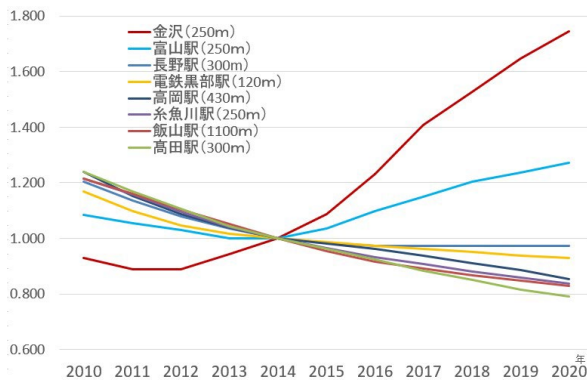


図3-23 金沢開業前後の商業地価の推移(開業前年2014年=1)

出典: 富山大学金山研究室

■出生率(自然増)

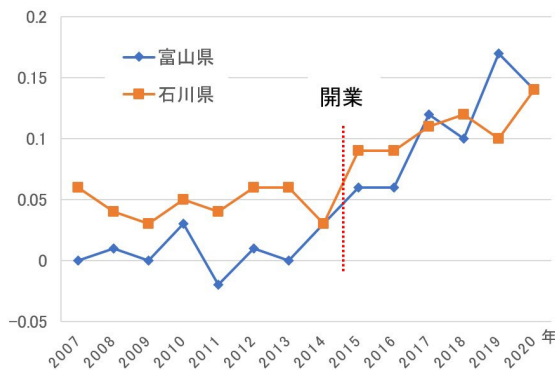


図3-25 金沢開業に伴う出生率の変化(全国平均との差)

出典: 富山大学金山研究室

■大学進学先(人材育成)

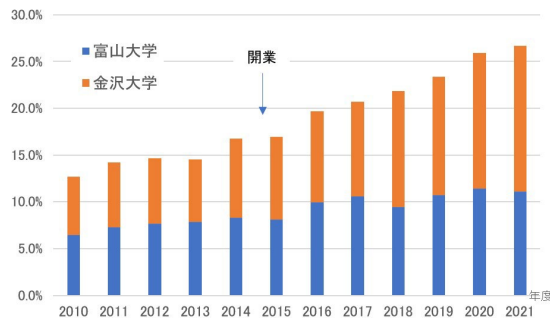


図3-27 大学への1都6県出身志願者数の割合の変化

出典: 富山大学金山研究室

■税収

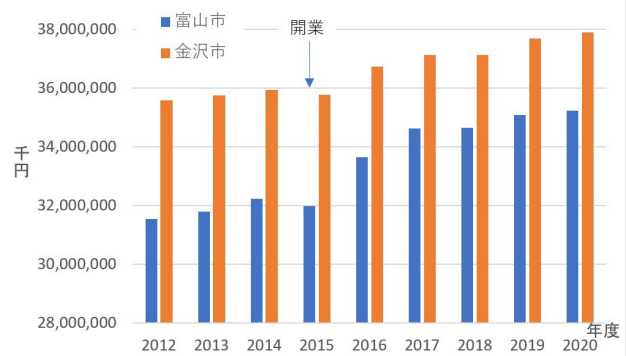


図3-24 税収の年度推移(固定資産税・都市計画税)

出典: 富山大学金山研究室

■移住(社会増)

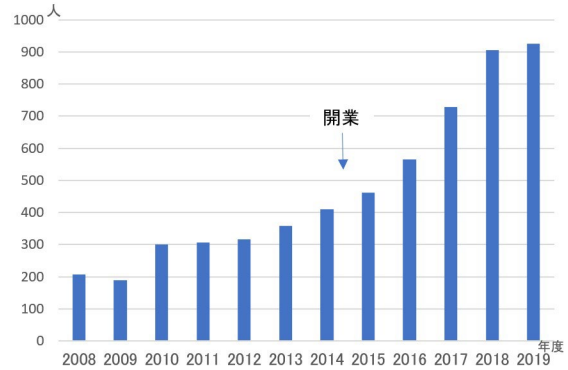


図3-26 金沢開業に伴う富山県への移住者数の推移

出典: 富山大学金山研究室

■街の活気に関するアンケート結果

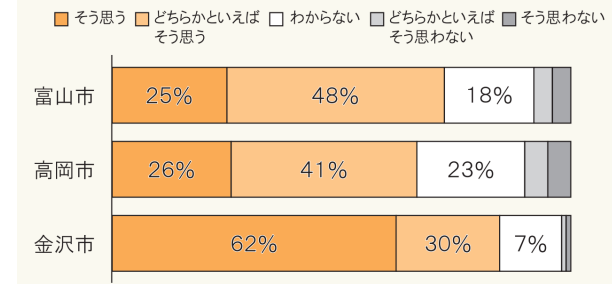


図3-28 北陸新幹線開業後、北陸地方の街に活気を感じる

出典: (一財)運輸政策研究機構「列車内アンケート調査(2016年)」

北陸新幹線(長野・金沢間)の開業により、金沢・東京間の所要時間は約1時間20分短縮され約2時間30分となった。これにより、東京駅からの3時間到達圏人口は、約580万人から約750万人に増加し、鉄道利用者数は、長野・金沢間が従来の在来線の約2.2倍、高崎・長野間の北陸新幹線の利用者数が約2.0倍に増加した。このような鉄道利用をはじめとする交流人口の拡大は、沿線地域経済の活性化に寄与しているものと考えられ、観光入込客数、コンベンション開催数が増加し、経済状況が反映される地価も上昇や低下傾向の緩和が見られた。また、本社機能の一部が北陸に移転されるなど企業立地動向も見られた。この要因として、首都圏とのアクセス性向上のほか、新幹線が、気象条件に左右されにくい安定した輸送機関であることなどが考えられる。

■所要時間の短縮



図3-29 所要時間の変化

■時間到達圏の変化

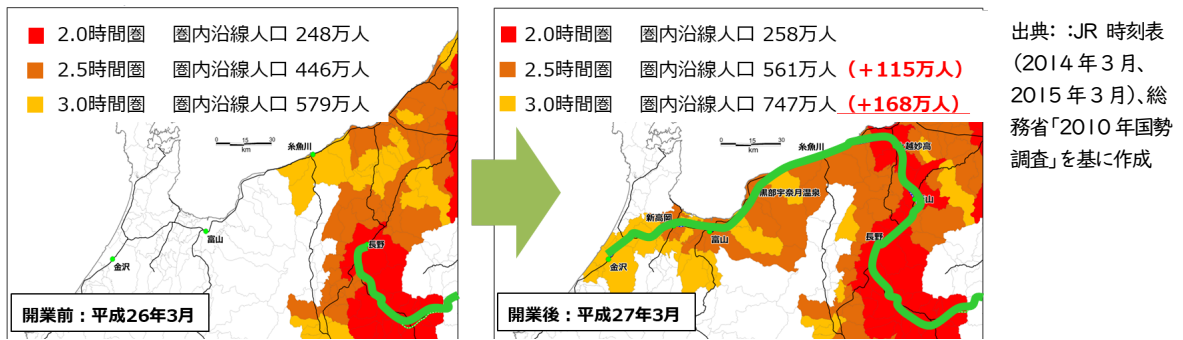


図3-30 時間到達圏の変化(東京駅起点)

■鉄道利用者数の変化

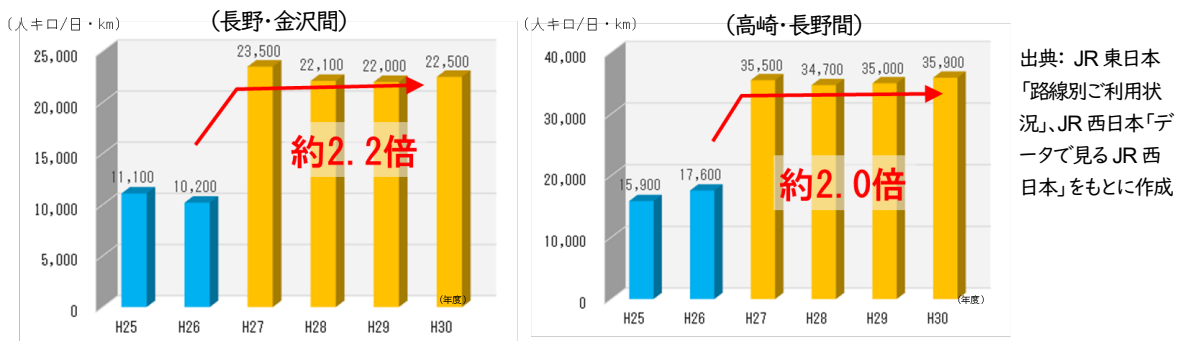


図3-31 新幹線利用者数の変化

■観光入込客数の変化

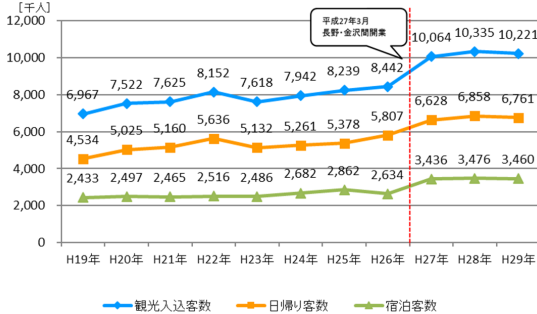


図3-32 観光入込客数の変化(金沢市)

出典：金沢市観光統計を基に作成

■コンベンション数の変化

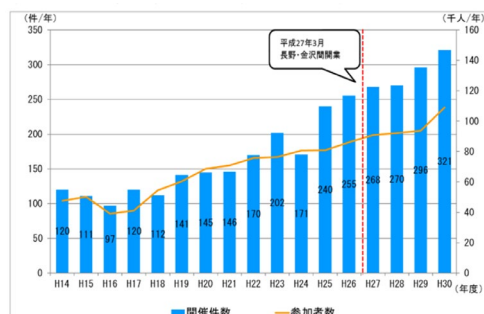


図3-33 コンベンション開催実績(富山県)

出典：公益財団法人富山コンベンションビューロー「コンベンション統計」をもとに作成

■輸送の安定性・災害対策への効果

北陸新幹線の年間遅延日数は5%以下となっており、航空が台風や降雪時期に遅延や欠航が多くなるのに対し、年間を通じて輸送の安定性が確保されていることが分かる(図3-34)。北陸新幹線は多様な雪害対策が講じられており、その効果が表れた一例として、2018年2月の北陸地方を中心とした記録的な大雪では、全ての在来特急が運休し、小松空港はほぼ全便が欠航、高速道路や幹線国道も通行止めが発生するなか、北陸新幹線はほぼ平常運行を維持し、他の交通機関の代替として臨時便も運行された。

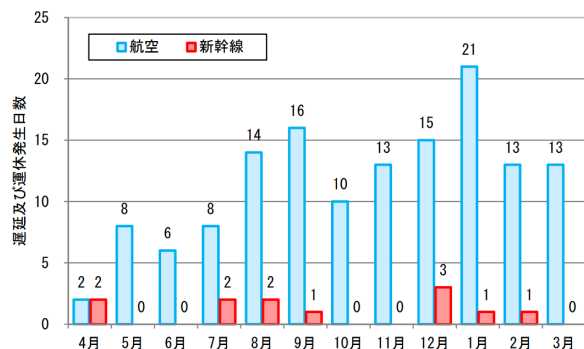


図3-34 月別遅延及び運休発生日数(2016年度)

表3-2 遅延と運休・欠航の年間発生日数(2016年度)

	新幹線の 遅延発生日数・ 運休発生日数	航空の 遅延発生日数・ 運休発生日数	1日あたりの 新幹線本数	1日あたりの 航空便数
東京-金沢	9(2.5%)	139(38.1%)	24往復	10往復

※30分以上の遅延および運休・欠航を集計

出典: 新幹線は鉄道事故等報告より集計(東京・金沢間)

航空は航空会社HPの出発・到着時刻より集計(羽田・小松間)

北陸新幹線(長野・金沢間)開業後に行った列車内アンケート調査及びwebアンケート調査(いずれも運輸総合研究所、2016年度)では、新幹線利用者や北陸新幹線沿線住民の80%~90%が「災害後の新幹線早期復旧が震災復興に効果がある」と考えており、「災害時に新幹線が早期復旧すること」は、『復興活動に寄与する』『被災地住民の心の支えになる』『被災地の観光地に早く観光客が戻ってくる』等の印象を持っている。

■沿線地域のイメージ

金沢開業前後に実施した列車内アンケート調査では、「北陸地方の地域に一体感を感じる」との回答が大きく増加した。開業前には肯定的な意見、肯定的でない意見ともに約30%であったが、開業後には、肯定的な意見が約80%、肯定的でない意見は約6%と大きく変化した。新幹線の移動しやすさや速達性は、開業後に実際に体験することではるかに多くの人が実感するようになり、沿線の諸都市は身近になり、北陸地方の一体感が醸成されたと考えられる。新幹線は、都市を連担することも大きな特徴であり、対大都市圏もさることながら、沿線地域が一つの経済圏として発展することも期待できる。

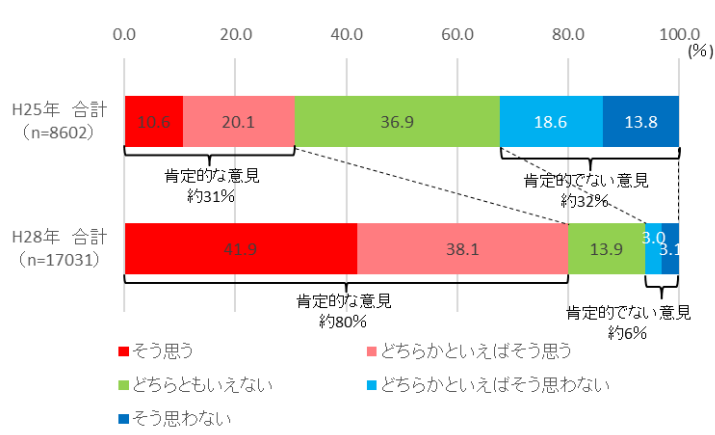


図3-35 新幹線沿線のイメージに関するアンケート結果「北陸地方の地域に一体感を感じる」

出典:(一財)運輸政策研究機構「列車内アンケート調査(2013年、2016年)」

4. 総合アセスメント

1. 量的評価

(1) 整備延長

高速鉄道の整備は、日本は実延長及び国土係数あたりの延長とも世界的に見て高レベルにある。また、GDPあたりの延長(建設中含む)では平均的なレベルにある。

日本は、1964年の東海道新幹線の開業により世界に高速鉄道ブームを引き起こしたが、整備のスピードは、後から整備を始めた国々の方が速く、現在では、日本を既に上回る一部の国(中国、スペイン)を除くと、建設中のもも含めれば、日本と同程度の国が多い。今後については、国によって計画の有無、程度などに相違がある。日本に続いて高速鉄道整備を進めた西欧諸国では主要幹線部分の整備については一段落しつつあり、国境付近や支線などネットワーク性を強化する整備に軸足が移行している。これまで高速鉄道整備が進められていなかった東欧諸国では幹線も含め、規模の大きな整備が新たに構想・計画されている。国土が広大な中国とアメリカでは、日本に比べると相当規模の延長が計画されている。ここで、日本の計画は、基本計画路線ではなく、整備計画路線としている。

(2) 都市カバー率

高速鉄道がカバーしている都市について、人口規模に着目する。日本は、40万人都市では50%(半数)であり、60~88%の海外(ドイツ、フランス、イタリア、スペイン。以下同)より低い。30万人、20万人都市についても日本は海外より低い。

日本は東京・大阪間をはじめとする需要追従型の整備が続いたが、高速鉄道整備の比較対象としている欧米諸国には、東京圏規模の巨大な都市圏域が存在せず、最大規模の都市でも名古屋圏の人口程度の都市が一国にひとつあるかないかであるため、初期には需要追従型の路線も見られたが、総じてネットワーク形成型と言える整備が早い段階から進められてきたといえる。

(3) 整備手法

日本の高速鉄道である新幹線は、在来線と分離した高速専用線形態が主となっているが、欧州では、在来線の線形等の品質が高いため、在来線の高速化・直通を志向しつつ高速専用線の建設を併用する形態が多くみられる。この相違の背景として、第一に、高速鉄道の軌間(左右のレールの離隔)は内外とも標準軌(1,435mm)であるが、在来鉄道の軌間は、欧州では標準軌であるが日本では狭軌(1,067mm)であるためそのまま直通できないこと、第二に、欧州の在来線は総じて急曲線が少なく日本の東海道新幹線に近い線形のところが多く、もともと最高速度が160km/h程度であり200km/h以上とする高速鉄道化が容易であること、第三に、欧州では、高速鉄道列車の在来線乗り入れに伴って地域列車や貨物列車のダイヤに悪影響を与えないよう、複々線化やバイパス線といった在来線整備も総合的に行っていることが挙げられる。他方、日本では、整備新幹線の整備に伴い、並行在来線の経営がJRから自治体が関与する第3セクターに移行するケースが多く見られ、また、廃止されたものもある。

日本での在来線乗り入れは、山形新幹線と秋田新幹線の2例があり、在来線走行区間の軌間を狭軌から標準軌にし、一部線増も行ったが、線形に課題があるため表定速度は90km/h前後となっている(在来線区間は、新幹線と呼称しているが法律上も技術基準も新幹線ではない)。

欧州では、スペインが、在来線と高速鉄道の軌間が異なる(在来線が広軌)ため日本と同様の状況にあり、在来線の線形が悪く(曲線が多く)単線区間も多いことから、高速鉄道新線を、欧州で最も速い整備スピードで建設し、整備延長のレベルも高い。

(4) 計画の理念と見直し

① 計画の基本的理念

全幹法では、全国的な鉄道網の整備により国民経済の発展及び国民生活領域の拡大並びに地域の振興に資することを目的とする、との考え方が示されている。

他方、欧州では、計画策定において、例えば国単位ではフランスでは交通権・連帯（地域間の均衡、地球環境など）が、ドイツでは、インフラと移動の可能性（モビリティ）は成長とQOL（生活の質）、仕事の基礎をなす（モビリティが実現しないと繁栄はない）といった考え方が以前から示されており、また、具体的な目標として主要都市間を 30 分間隔で結ぶこと（ドイツ）、県庁所在地を全て結ぶこと（スペイン）といったものがある。また、欧州全体に共通して、高速鉄道整備の主眼は、初期の鉄道のスピードアップから、国家間のインターオペラビリティや上下分離の導入といった EU 統合に伴う諸事項を経て、現在では脱炭素や地球環境問題への対応の深度化へと変遷を経てきている。例えば 2020 年 12 月に EU が示した「持続可能でスマートなモビリティ戦略」では、2050 年のカーボンニュートラル目標に向け、航空や道路交通も含む交通分野全体からの温室効果ガスの大幅な削減が最重要かつ喫緊の課題であるとし、「2030 年までに 500km 以下の定期旅客輸送はカーボンニュートラルとする」との目標が示されている。これは、SAF（Sustainable Aviation Fuel、持続可能性の認証付きの航空バイオ燃料）の大規模な調達や航空機の電動化の技術的なめどが立っていないことから、実質的に 500km 以下の距離帯は、航空から鉄道への完全なシフトを目標とするものといえる。また、2030 年までに高速鉄道の輸送量を 2 倍、2050 年には 3 倍にするという具体的な目標が示されている（なお鉄道貨物についても 2030 年までに輸送量を 1.5 倍に、2050 年までに 2 倍にする目標が示されている）。

また、日本の計画（整備計画）は予算とセットではなく、整備すべき計画を示したものと言え、実際の建設は予算措置とともに進められる。欧州における計画は、総じて予算の裏付けを伴う性格があり、整備目標時期が明記されたものとなっている。

② 交通モードの政策的視点

日本は、各交通モードが競争的に整備されてきており、交通機関分担はその結果定まるものとなっている。欧州は、公共交通に政府が責任を有し各交通モードを総合的に捉えたものとなっている。例えば、地球環境問題への対応のため、中距離帯の輸送は航空ではなく鉄道に担わせるとして鉄道整備だけでなく航空ネットワークも再編（廃止）され、アルプス越えの区間では同地区の環境問題も加わり高速道路計画が一部中止された。また、EU による鉄道、道路、空港、港、内航水路に関する 2050 年までの長期計画（TEN-T）において、30 の重点プロジェクトのうち約 7 割の 22 が鉄道（鉄道のマルチモード施策 3 を含む）となっていることに象徴されるように、鉄道の低炭素・低環境負荷の側面が重視されている。

③ 計画の見直し

高速鉄道の計画は、日本は 1970 年の全幹法以来、見直しは行われていないが、欧州では逐次見直が行われてきており、上述した政策の変遷にも対応したものとなっている。

この相違の背景として、日本では、東京・大阪間の新幹線や大都市圏において事業者主導型の企業経営による鉄道整備・運営の成功が見られ、国鉄改革（日本国有鉄道の分割・民営化）を経て、赤字を発生させず（第二の国鉄を造らない）、民間活力を最大限発揮させ、公的資金を必要最低限とする政策が基本となるなか、効率性と民間活力面での大きな成果とともに整備計画路線の整備を着実に進め、一方、欧州では、PSO（Public Service Obligation、公共サービス義務）の手続きに係る EEC 指令（1969 年、2007 年全面改正）が発出されるなど、鉄道をはじめとする公共交通機関は政府が担う政策事項であることが挙げられる。そして、欧州で

は、以前は欧州統合が、現在では環境負荷低減・脱炭素や QOL 向上といった公益性が重視されてきている。なお、民間事業者によって利便性の高い公共交通サービスが提供できる商業領域においては、運行を民間事業者に担わせ、非商業領域においては政府（公的機関）が主導し民間への委託等が行なわれている。ただし、いずれにおいても線路などの鉄道インフラ自体は政府（公的機関）によって整備・保有されており、在来線改良・乗り入れや航空との機関分担も含め、EU、及び国として検討、政策実施が行われてきている。

2. 質的評価

① 速度

設計最高速度は、日本は 260km/h（整備新幹線）であるが、世界では 300~380km/h となっている。この違いは主として日本における曲線半径の小ささによるものであるが、その背景のひとつに、日本特有の山河地形の多さが挙げられる。ただし、日本では車両の軽量化や信号設備の高度化等によって設計最高速度の向上が行われてきており、例えば、東海道新幹線は当初の 210km/h から現在では 285km/h に、東北新幹線（東京・盛岡間）は 260km/h から時速 320km となっている。

また、所要時間に大きく影響するのは、最高速度ではなく表定速度であるが、速達タイプの列車の表定速度は、日本は、設計最高速度に比較的近い 200~240km/h であり、欧州では 150~200km/h 強が多い。この相違の要因として、日本の新幹線は高速走行に特化した専用線として整備するが、欧州では高速専用線の整備と在来線を改良して直通乗り入れするネットワーク形成を図っており、高速専用線の整備を主とするケースに比べると表定速度が低くなることが挙げられる。

② 輸送人員、モーダルシェア

日本は、高速鉄道の路線延長当りの輸送人員、人口あたりの輸送人員とも海外に比べて高いレベルにある。この背景要因として、日本は、沿線の人口規模が世界的に突出して多い東京・大阪間を有しており（東京圏の人口は世界1位、大阪圏は世界 10 位、名古屋圏もロンドン圏やパリ圏に比肩する人口規模）、これが大きな輸送人員につながっている。他方、欧州は、そうした巨大な需要規模はないなかで、ネットワーク整備を行ってきていることなどが考えられる。また、日本は、どの距離帯でも総じて鉄道のシェアが海外より高く、特に 300km から 1000km 未満の距離帯におけるシェアが高い。

3. その他特筆すべき事項

① 耐震技術

日本は地震国であり、初期地震動を検知して列車を迅速に減速、停止させる技術や、大きな揺れに対する構造物の耐震性能、万一系列車が脱線しても車両がレールから逸脱しない装置を有するなど、地震国でありながら高速鉄道を可能とする技術が発達している。なお、欧州にはイタリアの一部を除くと大きな地震がないなど、必ずしもそうした技術を必要とせず、発達もしていないが、世界的に見ると地震国は少なくないため、日本の技術を承継、発展させていくことは重要である。

② 騒音対策

日本は、欧米と比べて都市間でも居住立地エリアが多く存在しているため、鉄道の騒音対策は、高速走行を可能にするために必要不可欠なものとなっている。車両の先頭形状や車体の平滑化技術、パンタグラフの騒音低減技術など、新幹線の高速化は、そうした技術の発達によって実現してきている。世界には人口稠密な都市・国土を有する国もあるため、日本の技術を承継、発展させていくことは重要である。

③ 老朽化対策

日本は、1964年に世界に先駆けて高速鉄道（東海道新幹線）を開業させたが、それゆえ、海外より施設・設備の老朽化が進んでおり、補修・更新技術が発達してきている。なお、労働力人口の減少を踏まえた省人化も進んでいる。日本に次いで高速鉄道を本格的に整備したフランスでも、施設の更新が始められようとしている。海外の高速鉄道もやがては老朽化が進むので、日本の補修・更新技術を更に発展させることが重要である。

④ 二次交通の利便性

高速鉄道の利便性を支える要素に、二次交通（都市・地域公共交通）の利便性が挙げられる。日本では、多くの地方都市で公共交通の運行頻度や運行時間帯などの利便性に課題が見られ、新幹線との接続も必ずしも十分とは言えない。他方、欧州では、高速鉄道のアセットを最大限活用して効果を発揮するには二次交通も重要とされ、SUMP（「持続可能な都市モビリティ計画」）による二次交通の計画の枠組みを TEN-T とセットとする議論が EU 議会で進む。実際、PSO 制度を背景にした高水準サービスに加え、接続ダイヤも含め使いやすい利便性が提供されている。

⑤ チケットの利便性

欧州の都市間鉄道のチケットは、日本でも運行事業者から事前に容易にオンラインで購入できるが、日本の新幹線のチケットは、海外からの購入が容易ではないとの指摘が多い。実際、海外からの旅行客が日本到着後にチケットを購入しようとすることに起因する窓口の混雑が空港駅や主要駅で常態化している。また乗車券と特急券の「二層建て」の運賃体系は海外ではあまりみられず、それに付随して改札口での切符の取り扱いが利用者にはわかりにくいといった課題がある。また、高速鉄道の利便性は、二次交通の利便性にも支えられるものであるが、欧州の都市圏交通では、都市圏内にあるバスや鉄道といった複数モードの公共交通が乗り放題になる割安の年間パスが発行されるなど、乗り継ぎも含め運賃を意識しない自由な移動が見られる。

4. 総合コメント

本 WG では、新幹線について、海外の高速鉄道の情報を調査し、診断を行った。海外の情報は、入手自体が難しかったり、尺度が異なるため比較が難しかったものもあったが、入手できた情報は参考になるものであった。

日本の新幹線整備は、これまで着実に進捗しており、現在の整備延長は世界的に見て高い水準にある。日本に次いで高速鉄道整備を行った国々は、一部の国（スペイン、中国）が突出しているものの総じて日本と同様の水準に達してきており、今後は、支線等への展開も見られ、また、これまで高速鉄道がなかった国々を中心に多くの路線が計画されている。また、海外では比較的当初からネットワーク形成型の整備が主体となっているが、日本の新幹線は、大量の需要を捌くことを念頭に必要追従型からネットワーク形成型の整備へと推移してきた。新幹線を整備してきたところでは、高い交通機関分担率に表れているように、結果的に地球環境保全問題に配慮する形にもなっている。基本計画路線は当 WG の評価対象外としているが、今後の計画を検討する場合は、ネットワーク形成型としての十分な検討が必要となる。ネットワーク形成型の検討においては、都市の人口規模（例として 20、30、40 万人）を「需要があるか」の視点のみで捉えるだけでなく、各都市間を結ぶネットワーク整備のあり方においてその「都市の将来」をどうしていくかの国家的視点から考える必要がある。また、地球環境問題の視点から交通手段としての新幹線を、将来どのように展開していくかという国家的視点も重要である。

日本の在来線は海外に比べて線形等の品質に課題があり、欧州で見られる在来線の 200km/h 以上への高速鉄道化は難しく、欧州の在来線並みの 160km/h への高速化も、線形の状況に大きな相違があるため（欧州は東海道新幹線並みの線形が多い）、総じて難しい。新幹線から在来線への乗り入れを主眼とする形態であれ

ば事例(山形、秋田新幹線)もあり可能性がある。在来線乗り入れを検討する場合、標準軌化や3線軌化(狭軌と標準軌の併用)のほか、線路容量の観点から地域輸送や貨物輸送を傷めないようにする観点が必要であり、欧州で行われているように複線化やバイパス線等の整備を伴うことが考えられる。加えて、山河地形であることが多く急曲線も少なくないことから、可否も含め、コストと得られる効果を総合的に見て検討する必要がある。また、我が国の地方都市は総じてこれまで面的に拡大してきた都市域にあって人口減少が進んでおり、都市の持続可能性を高めるため、鉄道などの公共交通を軸とするコンパクトシティ政策が重要な政策とされている。上述した地域輸送を傷めない観点では、現状のダイヤ(運行頻度等)ではなく、将来的なダイヤ(運行頻度等)の可能性を掴まないようにしておくことが必要と言える。貨物輸送についても、地球環境問題や、労働力減少の課題などから、将来、トラックから鉄道貨物へのモーダルシフトが求められる可能性があることも考慮する必要がある。

在来線乗り入れを前提としない事例として、日本と同様に高速鉄道と在来鉄道で軌間が異なるスペインでは、在来鉄道の品質に課題があるため、整備新幹線と同様の高速鉄道専用線に特化した形態での整備が集中的に進められている。我が国の今後の高速鉄道のネットワーク形成においても、この方式の可能性が十分に考えられる。ただし、これまでの新幹線は大量輸送を前提とした規格で作られてきたが、ネットワーク形成や地球環境問題を念頭に、今後の新幹線の展開を検討するにあたっては比較的小さな輸送力の高速鉄道の規格についての検討も必要と思われる。

高速鉄道の整備手法としては、日本の新幹線整備は、需要追従型を主とするなか上下一体型(国鉄)から始まったが、国鉄改革(分割・民営化)後、ネットワーク形成型が主になっていくとともに上下分離型(公設公有・民営)の導入により着実に進捗した。なお、欧州では在来線も含め上下分離型(同上)であり、高速鉄道のネットワーク形成も進んできた。上下分離型(同上)は今後とも有効性が期待できる。

また、新幹線の整備効果を十分に発現させるためには、地域の鉄道等二次交通の利便性を高め、連携させることも重要である。需要の極端な偏りがある場合はフランスのようにダイヤ自体をきめ細やかに需要追従型とする例もあるが、全体のネットワーク性を高める観点ではドイツやスイスのようなインテグラル・タクトダイヤ(資料編参照)の手法は二次交通との連携において有効と考えられる。また、二次交通には天候等に対する安定性も重要であり、欧州の鉄道の防災対策は日本より進んでいる状況がみられる。なお、既存ストックとして日本の在来線も含めた鉄道の総延長は、世界的に見て平均的であり、遜色はない。

整備新幹線の整備における並行在来線の扱いは、立地する県による第3セクター化による存続がこれまで多く見られたが、その前提には並行在来線における一定の旅客輸送の規模があった。今後のネットワーク形成型の整備新幹線の並行在来線はそれが必ずしも見込めないが、二次交通にも関わる地域旅客輸送やネットワークの観点は重要であり、また全国ネットワークをなす貨物列車の存続にも影響を与えるようになっている。これらへの対応が、重要な課題となっている。

新幹線は世界的に見ても多くの人々に使われる交通機関となっているが、高速鉄道の利用しやすさに関わるチケットの購入、車内の荷物置き場など、日本よりも海外が進んでいる側面も多い。日本の新幹線も、こうした側面を今後向上させていくことが期待される。また、都市によっては二次交通の利便性に課題が見られ、新幹線の効果が必ずしも活かしきれていないが、二次交通自体の利便性向上や、新幹線と二次交通の連携によって、今後、さらに効果を高めることが期待される。

現在、日本は、自国の将来に直結する人口減少をはじめとする深刻な課題を抱えており、高速鉄道(新幹線)について、航空等他の交通モードや二次交通(地域交通)も視野に、都市・国土・経済の持続可能性や地球環境問題への対応等を考慮した客観的かつ総合的な検討が十分に行われていくことを期待したい。

資料編（海外の高速鉄道計画 編）

（1）各国の考え方

■フランス

フランスでは、在来線を用いた最高速度 200km/h での機関車けん引による旅客列車の運行が 1967 年からおこなわれていたが、高速鉄道路線の建設が開始されたのは 1970 年代以降である。日本の新幹線と同様に、フランス国鉄 SNCF のプロジェクトとして最初的高速新線が建設されている。また初期のパリ〜リヨン間やパリ〜トゥール間などの高速新線は、在来線の線路容量のひっ迫に対応する意図があったとされ、この点についても東海道新幹線の経緯とよく似ている。

フランスで本格的な全国の高速ネットワークが国の計画として示されるのは、1989 年に策定プロセスが開始され、1991 年に国土計画に関する省庁間委員会(Comité interministériel d'aménagement du territoire, CIAT)で採択され翌年に公布された、高速鉄道マスタープラン(Schéma directeur national des liaisons ferroviaires à grande Vitesse, SD)である。この SD は 1982 年に制定された国内交通基本法(Loi d'orientation des transports intérieurs, LOTI - 「交通権」の法的位置づけとして本法はわが国でもよく知られる)の第 14 条の下で国がインフラのマスタープランを策定することという条項があり、これを踏まえて策定されたものである。

SD 内は、高速鉄道システムの本質的な要件として、①交通需要の十分に多い軸に沿う旅客専用線を原則とし、なるべく迂回しないこと、②在来線と相互直通可能なような互換性を保つことで、国土全体のアクセシビリティの強化を図ること、③高速かつ高頻度運行が可能、かつ乗り換えを極力少なくできるようにすること、④大都市圏の中心に直接アクセスし、新駅を設置する場合は都市とのアクセスを考慮することの 4 点を挙げている。現在の TGV 路線網は、パリから各方面への高速新線を「動脈」とし、在来線を「毛細血管」のようにして、直通してそのまま乗り入れてパリからフランス各地に直通するダイヤが中心となっており、この原則を具現化したものといえる。またこの SD では、欧州の統合の進展を踏まえて、フランス国内のみならず隣国との接続にも一定の重きを置いており、隣接するベネルクス諸国、ドイツ、イタリア、スペイン、さらにドーバー海峡トンネルを経てイギリスとの接続がすでに念頭に置かれていることも特筆すべき事項である。

本計画が公表された時点では、南東線と大西洋線の 2 路線がすでに営業中であり、これにくわえて北方面線(LGV Nord)、南東線(LGV Sud-Est)のヴァレンスへの延伸、パリ東部を迂回する接続線(LGV Interconnexion Est)が建設中であった。この SD で新たに取り入れられた計画には、大西洋線(LGV Atlantique)のボルドーまでの延伸、ブルターニュ線(ル・マンからレンヌへの延伸)、地中海線(南東線のヴァレンスから先、モンペリエやマルセイユ方面までの延伸など)、東方面線(LGV Est)、ライン＝ローヌ線などがあるが、2023 年現在すでに営業中の高速鉄道路線は基本的にこの時の計画が基礎となっている。また、ノルマンディー方面線のように、見込まれる収益性が低すぎることから、上記の要件を満たす純然たる高速鉄道路線としての事業化は行われず、様々な議論を経て主要区間の路線最高速度 250km/h の新線(Ligne nouvelle Paris - Normandie)として建設される予定となっている例もある。高速新線と比べるといわば「ダウングレード」した形ではあるが、パリから比較的近い距離帯に中規模の都市が点在するノルマンディー地方の地域の特性に合わせた計画変更といえる。また長距離列車専用線であった従来の高速鉄道路線とは異なり、地域内のローカル列車も使用する路線が計画されており、後述するオーストリアの高規格鉄道路線と類似する。

これまでのフランスの計画は、全体では、首都であるパリから 400~800km 程度の距離帯に人口が集中する大都市が多数位置する国土構造を背景に、時速 300km 程度かそれ以上で連続して高速走行可能な新線を建設して、国内主要都市間を結ぶというのが計画の基本であった。その主要な部分はおおむね完成しており(図 1)、1991 年の計画で現在でも残る区間のうち、この国土構造の特性を活かせる区間や、隣国へと接続する区間の計

画は続けられる方針である。同時に、短距離の新線や中規模の都市の結節といったこれまでの高速新線ではカバーされないニーズにあわせる形で、ややグレードを落とした形の新線が模索される段階へと移行している。



図1 フランスの高速鉄道網

出典: IIC High-Speed Rail Atlas 2022

■ドイツ

ドイツの高速鉄道路線の計画は、当時の西ドイツ政府が1973年に策定した「連邦交通路計画」(Bundesverkehrswegeplan, BVWP)に含められたものが最初である。このBVWPは、日本でもアウトバーンとしてよく知られる高速道路の計画、在来線鉄道と高速鉄道の計画、さらに舟運のための河川や大規模運河の改良、そして空港や航空管制システムの計画が、一つの計画文書としてまとめられたものであり、おおむね10~15年おきに改訂されている。また策定から10年先程度までに見込まれる投資費用も計画中に含まれており、国のインフラへの投資計画の側面も兼ねている。BVWPはこれまでに、1973年、1980年、1985年、1992年、2003年、2016年に策定されている。なお1990年10月に東西ドイツが再統一されているが、この「統一」は法的には旧西ドイツ、すなわちドイツ連邦共和国に、その憲法に相当する「基本法」上の規定を利用して旧東ドイツの5州と都市州であるベルリン市が「加盟」した形式を採っている。これを背景に、東西ドイツ再統一後も旧西ドイツの計画の枠組みが承継され、1992年に策定されたBVWP以降は、再統一後のドイツ全土を対象としたものとなっている。

ドイツの高速鉄道計画の最大の特徴は、1973年の当初の計画から、新たに建設する新線 (Neubaustrecke, NBS) と在来線を改良して高速走行を可能にする改良線 (Ausbaustrecke, ABS) を組み合わせて整備を進める戦略を採ったことである。これは国土の大半が平たんであり、最小曲線半径が2000~2500mといった東海道新幹線と比べても遜色のない線形の在来線が多数あることが背景である。ABSへの主な改良点として、曲線半径の小さな曲線の改良、信号システムの高速鉄道用のものへの更新、踏切の除却の3点が1973年のBVWP中で明記されている。1973年のBVWP中では、北ドイツや主要河川沿いの平たんで線形のよい路線を中心にABSが計画された。NBSは在来線に急曲線が多いなど、高速走行に向けた改良には在来線自体がそもそも不適である箇所でも主に選択されているほか、都市部を通過する必要のある旅客線はABSで整備し、貨物輸送向けのNBSを都市部を避ける形で新たに整備する例もある。ABSも、在来線の線形の改良のみにとどまらず、腹付けでの線増による複々線化を同時に行うケースも多い。

現時点で最新の BVWP は 2016 年に策定されたものである。この BVWP からは、従来の策定年を付番する方式から、目標年次を付番する方式に変更され、BVWP2030 と呼ばれるようになったが、目標からのバックキャスト的計画の指向が明確化されている。BVWP2030 の鉄道分野では、ドイツラントタクト (Deutschlandtakt) と銘打ち、従来の路線の建設計画を中心に据えるものから、ドイツ全土を「インテグラル・タクトダイヤ」(Integraler Taktfahrplan, ITF) によるネットワーク化を中心に据えるものに、大きく転換している。ドイツラントタクトにより、国全体の旅客鉄道のネットワーク性を高め、国内主要都市間を 30 分間隔でネットワーク化し結ぶことをサービス水準の目標としている。

ITF の詳細はコラムにまとめたが、ITF では、ノード駅間を 15 の倍数分て結ぶことが重要になる。新たなインフラ整備にあたっては、ノード間の目標所要時間を目標 ITF から先に決めておき、路線の最高速度などインフラの要求性能を目標 ITF により導出される目標所要時間を基に決める方法が採られる。

ドイツは歴史的に多数の領邦に分割されていた期間が長く、それを背景に、現在のドイツの国土にはパリに比肩するような一極集中の中心がなく、人口 100 万人を超えるハンブルク、ミュンヘン、ケルン、ベルリンなどの大都市が各所に散在し、さらにその間に人口 15~30 万人程度の中規模の都市が 50~100km 程度の間隔で連なる国土構造となっている特徴がある。またケルンとデュッセルドルフ、ライプツィヒとドレスデンのように、50~100km 程度の距離で近接して人口 50~100 万人の都市が連坦して立地する例も多い。この国土構造ゆえ数百キロもの距離を途中無停車で走破する鉄道がサービスとして成り立ちにくく、停車駅間の距離が比較的短くなりがちなことから、ドイツの高速鉄道の整備は ABS を多用しつつ路線最高速度は全体に抑制する一方で、在来線との組み合わせによりネットワーク性を重視するという特徴がある(図 2)。



図 2 ドイツの NBS と ABS からなる高速鉄道網

出典:UIC High-Speed Rail Atlas 2022

■スイス・オーストリア

スイスとオーストリアはともに国土面積が小さく、それぞれ4万1千、8万9千km²しかない。その上に、アルプス山脈の山がちな地形が多くを占め、平地が限られているという、他の国とは異なる特徴がある。また人口200万人に迫るウィーン(オーストリア)を除けば、人口100万人を超えるような大都市はなく、チューリヒやバーゼル(以上スイス)、ザルツブルクやグラーツ(以上オーストリア)といった主要都市でも人口は15~40万人程度である。またオーストリアはEUに加盟しているが、スイスは加盟していない。

両国とも、ドイツの項で触れたITFに基づいた鉄道のネットワーク化を重視しており、スイスでは1987年に住民投票で採択・承認されたRail2000と呼ばれる鉄道の近代化プログラムに高速化が組み込まれているが、あくまでITFのノード間の所要時間を距離や地理的条件に応じて30分ないし60分としてネットワーク化できるように調整することに主眼が置かれている。NBSの建設のみならず、ABSの採用、さらには駅構内の改良や複線化などを行ったり、振り子式車両の導入による所要時間短縮を目指すことを優先しつつ、これらではITFが実現できない場合に高速新線が選択される。具体的にはチューリヒ~オルテン~ベルン間とバーゼル~オルテン間のY字型の主要都市間路線のうち、オルテン~ベルン間に高速新線を建設することによって、各都市間の所要時間をそれぞれ1時間弱となるよう調整する、という具合である。図3中のベルン北方の高速鉄道路線がこの高速走行可能部分に該当する。

またRail2000と並行して、アルプス縦断新鉄道(Neue Eisenbahn-Alpentransversale - NEAT, Nouvelle ligne ferroviaire à travers les Alpes - NLFAもしくはLa Nuova ferrovia transalpina - NFTA)と呼ばれる、レッチェベルク峠とゴツタルト峠の2ルートの大トンネルを中心とした高速新線によって峠越え区間の所要時間を短縮する事業も行われた。特に2016年から営業を開始したゴツタルト基底トンネルは延長57kmで、青函トンネルより長い世界最長の鉄道トンネルである。

オーストリアもITFを構築することを基本とする発想はスイスと同様であるが、同国はウィーンから西方へ延びる東西方向の回廊と、ウィーンから南西方向へ向かう回廊上に主要都市が並び、高速化もこの軸を中心に行われている。西部方面は、ウィーン~インスブルック間の大半分がNBSとABSで高速化されているが、同区間はドイツ国内を短絡して通過する「回廊」区間があり、この区間は対象とされていない。ウィーンから南西方面は、世界遺産に登録されているセメリンク峠越えのカーブと急こう配の多い鉄道路線をセメリンク基底トンネルで峠越え区間を短絡し、さらに既存の鉄道路線がないグラーツ~クラゲンフルト間に、長大トンネルを主とするNBSとローカル線を大改良するABSの組み合わせによって新線の建設が進む。全体にABSを多用しつつも、山岳部や丘陵地帯などの急曲線が多く、特にトンネルで大幅に所要時間を短縮できる区間ではNBSを採用している点は、ドイツやスイスの考え方と共通する。また2015年に全面開業しターミナル駅を集約したウィーン中央駅に代表されるように、大規模なノードの整備もセットで進められた点は他国と異なる特徴である。国内の鉄道ネットワークを2025年頃までにITF化することを目標として、残る区間の整備が進められている(図3)。

営業最高速度は、スイスは200km/h~250km/h、オーストリアは200km/h~230km/hと、他の「高速鉄道」と比べると最高速度の点では低いが、ITFによるネットワーク化による在来線も含めた全体の所要時間短縮を狙っていることが特徴である。



図3 スイスとオーストリアの高速鉄道路線

出典:UIC High-Speed Rail Atlas 2022

■スペイン

スペインの最初の高速鉄道路線は1992年に開業したマドリード～セビーリャ間の574kmの路線である。その後2000年～2013年頃にかけて、急速に総延長を伸ばし、2021年現在のスペインの高速鉄道網は3,661kmと中国に次ぐ延長となっている。

スペインの高速鉄道の計画は、在来線鉄道などの他のインフラの計画とまとめた一つの政府の計画文書としてまとめられているが、1987年時点の鉄道の整備計画では高速鉄道には触れられていない。最初の高速鉄道となるマドリード～セビーリャ間の鉄道路線は、もともとは広軌のイベリア半島軌間による新線建設と在来線改良によって、既存の単線かつ峠越えの曲線と勾配の多い区間を抱えるマドリード～シウダド・レアル～コルドバ間のアンダルシア方面新線(Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía, NAFA)として建設が開始されていたものを、標準軌かつ高速新線とし、さらにセビーリャまで延伸する形に1988年12月に計画変更したものである。なお同時にバルセロナまでの新線も標準軌で整備することが決定されている。当時はスペイン国内の鉄道をすべて標準軌に改軌することが目論まれていたとされるが、これにはスペインの在来線は「イベリア半島軌間」と呼ばれる1,668mmの広軌を採用していることが背景にある。高速鉄道路線は欧州の他の国と同じ1,435mmの標準軌を採用しており、軌間が異なる点では日本の新幹線と在来線の関係と似ている。また、1980年代のスペインの鉄道インフラは、フランスやドイツなどと異なり主要都市間の幹線でも単線区間が多く残り、近代化がほとんど進んでいなかったことから、線路容量が逼迫していたことも他国と異なる重要な背景として指摘される。

高速鉄道の計画が初めて体系的に示されるのは1993年以降で、上述の通り様々な他の計画とまとめて提示されている。その後の高速鉄道網の拡張の計画を示した主要な計画文書には以下のものがある。

- 「インフラストラクチャー・マスタープラン」Plan Director de Infraestructuras (PDI) 1993-2007
- 「交通インフラ整備プログラム」Programa de Infraestructuras de Transporte (PIT) 2000-2007
- 「戦略的インフラ・交通計画」Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT) 2005-2020

- 「インフラ・交通・住宅計画」Plan de Infraestructuras, Transporte y vivienda (PITVI) 2012-2024
- 「鉄道インフラの発展・維持・更新についての基本戦略」(Estrategia Indicativa del desarrollo, mantenimiento y renovación de la infraestructura ferroviaria) 2022

計画文書の名称やまとめ方は発行年ごとに異なっているが、本稿執筆時点では 2022 年 11 月に発行された「鉄道インフラの発展・維持・更新についての基本戦略」(Estrategia Indicativa del desarrollo, mantenimiento y renovación de la infraestructura ferroviaria)と呼ばれるものが最新版である。

スペインの高速鉄道の整備は最初のマドリード～セビーリャ間の開業後は 1990 年代の景気低迷でいったん減速するが、2000 年から 2013 年にかけて急速に整備が進んだ。この背景には 2000 年 4 月に当時のアスナール首相が「(島嶼部を除いた)47 あるすべての県庁所在地を高速鉄道で結ぶ」ことを公約にし⁶、さらにその後のサパテロ首相は「2020 年までにスペインの全ての人が高速度鉄道駅から 30 分圏内に」という公約⁷を掲げたことがあるとされる。

また 2000 年から 2017 年の EU の高速鉄道に対する資金拠出のうち 47.3%に相当する約 110 億ユーロがスペイン向けであり、他の加盟国と比べて非常に多額の欧州地域開発基金と欧州統合基金が高速鉄道に投じられたことも背景にある。同期間のスペインの高速鉄道建設費用の 26%が EU からの資金供給であり、路線によっては建設費用の 50%以上を EU からの資金供与で賅った。一方で欧州連合の行政機関である欧州委員会は 2013 年にスペイン政府に対して費用と便益のバランスに十分留意するよう非公式に伝達したと報道⁸され、また 2018 年の欧州連合の特別監査報告書でもスペインにおける費用と便益の分析の「甘さ」の課題が指摘されている⁹。また、建設資金の一部はインフラ管理会社の高速鉄道路線部門である ADIF AV が起債して民間市場から調達して賅われているが、その累積債務¹⁰が 2024 年には 220 億ユーロに達すると見込まれている。

このように、スペインの高速鉄道の整備は 1980 年台末に始まり、2000 年以降に特に急速に進んだが、もともと欧州の他の国よりも整備がかなり遅れていた在来線の整備に代わって、高速鉄道による鉄道を整備することで「キャッチアップ」するところからスタートしたという側面が強い。また急速な整備の背後には、強い政治的な意図と、欧州の統合のための欧州連合による多額の拠出があったことは他国にはない要素である。ただし、在来線鉄道の改良を代替する高速鉄道路線、すなわち旅客列車専用の路線として整備したため、貨物輸送や地域内のローカル輸送といった在来線を必要とする鉄道輸送への対応に迫られており、2022 年の戦略ではその側面が色濃く出ていることは付記に値する。

また、在来線が広軌であることから、特に標準軌であるフランス方面との直通のために、スペインでは 1950 年代以降に軌間可変客車の技術開発が進められた。この技術を応用して、標準軌の高速新線と、末端区間となる在来線の直通が高速鉄道開業初期から行われ、現在でも主にスペイン北部のアストリアやガリシア、バスク地方と、マドリードやバルセロナといった主要都市を結ぶ列車で使用されている。現在では動力分散方式、動力集中方式のいずれもの車両が用いられているほか、動力集中方式のものは架線からの集電にも対応した電気式ディーゼル機関車も用いられ、非電化路線との直通も可能となっている。ただし、技術的制約から、高速鉄道専用車両の最高速度が 300~350km/h であるのに対し、軌間可変車両の高速鉄道区間の最高速度は 250km/h に抑制されている。

⁶ https://www.bakersfield.com/archives/politics-not-funding-drove-growth-of-spains-high-speed-rail/article_a608f6db-612f-5761-88a5-a70477d95960.html

⁷ <https://www.theguardian.com/world/2009/jan/13/spain-trains>

⁸ <https://www.welt.de/wirtschaft/article117416325/Spainien-steckt-Milliarden-in-unnuetz-Zuege.html>

⁹ <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/high-speed-rail-19-2018/en/>

¹⁰ なお ADIF の債務は、会計上は政府から独立した組織の債務と位置づけられ政府の債務として計上されないため、欧州連合が共通通貨ユーロ加盟の条件とする政府の債務残高の対 GDP 比に関する規制に影響しないスキームとされたが、交通インフラにおいてこのような取り扱いを行う例はオーストリアの高速道路会社 ASFINAG の債務の例など欧州内で他にもみられる。

国土構造の観点からは、スペインは首都かつイベリア半島のほぼ中央に位置するマドリードと、そこから 400～600km 程度の距離の海岸やその付近に、バルセロナやセビーリャ、バレンシアやマラガなどの主要都市が立地するほか、海岸に沿って中小の都市が並び、その間のイベリア半島全体を占める台地上は一部の都市部を除けば人口がまばらな国土構造である。マドリードを中心として放射状に延びる高速鉄道網で 2 時間程度の所要時間で結ばれる距離に主要都市が立地し、高速鉄道サービスもこれとよく対応している。



図 4 スペインの高速鉄道

出典:UIC High-Speed Rail Atlas 2022

■イタリア

イタリアの国土は日本と同様に細長い国土にバーリ、ナポリ、ローマ、フィレンツェ、ボローニャ、ミラノ、トリノという国内の主要都市が連なり、さらに北東部の主要都市であるヴェローナやヴェネチア、パドヴァといった都市も、この軸となる高速鉄道から 100km 程度の比較的短い範囲におさまる。パレルモやカターニアなどのシチリア島の主要都市を除けば、T 字型の軸線上に主要都市が立地しており、高速鉄道網もこれに対応している。

イタリアの高速新線のうち最も古いものは、半島部を縦断する、ローマから北にフィレンツェへ向かう高速新線 (Direttissima Firenze-Roma) で、1970 年に建設が開始され、1976 年から 1992 年に順次開業した。当初は最高速度 180km/h とされ、1985 年より 250km/h での運用が行われている。その後は 1991 年に高速鉄道の建設を目的とした半官半民の SPC である Società TAV が設立され、ミラノから半島を縦断する区間 (T の縦棒、図 5) とトリノからヴェネチアまでの路線 (T の横棒、図 5) に対する独占的権利を付与され、高速鉄道整備が本格化した。この会社の株式の 40% は国鉄が、60% は民間の投資家が持つものであった。1996 年までにもとの旅客専用線の計画が修正され在来線と接続するものと変更されたのを契機に民間側が手を引き、1998 年には SPC が 100% が国鉄の所有となっている。2006 年以降、順次新線が開業し、2009 年までには骨格となるトリノ～ミラノ～ボローニャ～フィレンツェ～ローマ～ナポリの高速鉄道 (T の横棒の西半分と縦棒の主要部分) が完成している。またそれ以降も T の横棒の東半分に相当する部分や、これらに接続する末端区間などが、順次開業している。

イタリアの高速鉄道は、当初は日本の新幹線やスペインの高速鉄道と同様に在来線から完全に分離した旅客列車専用のものであったが、後にフランスやドイツと同様に在来線への乗り入れを前提としたものに改められ、主に夜間を中心に貨物列車にも利用されている。イタリアの国土は「T」の縦棒部分に着目してしばしば「長靴型」と形容されるが、この長靴の部分には主要都市が中心部（ボローニャ、フィレンツェ）、ティレニア海側（ローマ、ナポリ）、アドリア海側（バーリ）と、片方の海岸に偏っていない。また、上部に東西方向に延びる「T」の横棒部分にもミラノやトリノ、ヴェネチアなどの大都市が多い。全体に細長いことには変わりはないが、高速鉄道網はその中心を貫き、沿線の大都市を数珠つなぎのように結び、いわば「屋台骨」となるよう計画されていることが同国の高速鉄道網の最大の特徴であり、首都から放射状に高速鉄道が伸びるフランスやスペイン、各所の都市を網の目のようにネットワークするドイツとは異なる鉄道網になっているのが特徴である。



図5 イタリアの高速鉄道路線

出典:UIC High-Speed Rail Atlas 2022

■中国

中国の高速鉄道計画が公式なものとして本格的にスタートするのは、2004年に鉄道省（鉄道の監督と国有鉄道経営を担当する官庁）が作成した「中長期鉄道網計画」（中长期铁路网规划）¹¹である。この計画では2020年までの旅客・貨物鉄道のネットワーク整備の計画が取りまとめられており、高速鉄道の計画も含まれている。この計画は2度改訂されており、現在のものは2016年に策定されたもので、2030年を展望しつつ、2016年～2025年の計画を策定している。この中長期計画を基にして、「鉄道発展五か年計画」（铁路发展五年规划）により高速鉄道路線の建設が進められている。

2004年の計画は、2020年までに鉄道の総延長を10万キロメートルまで伸ばすとともに、列車数の多い幹線鉄道の貨客分離や、50%の路線の複線化と電化を目標としている。また技術水準も国際的なトップレベルにしている。

本計画では時速200km/h以上で走行可能な路線を、「四縦四横」として、北京～上海、北京～武漢～広州～深

¹¹ http://www.gov.cn/ztl/2005-09/16/content_64413.htm

圳、北京～瀋陽～ハルビン、杭州～寧波～福州～深圳の南北方向の「縦」の 4 系統と、徐州～鄭州～蘭州、広州～南昌～長沙、青島～石家荘～太原、南京～武漢～重慶～成都の東西方向の「横」の 4 系統を軸に計画している。さらに、天津を中心とする渤海地区、上海を中心とする長江デルタ地区、広州や深圳などからなる珠江デルタ地区に、それぞれ広域都市圏内部の都市間輸送のための旅客専用線を建設することが柱となっている。合計で 12,000km の旅客専用線を建設するとしている。またこのほかに西域の開発のための 16,000km の新線や 13,000km の在来線の複線化と 16,000km の電化を柱としている。このように、急速な経済成長と広大な国土を背景にした大規模な鉄道への投資の中に位置づけられるものである。

2008 年には経済発展を背景にしつつ、リーマンショック後の経済刺激策も兼ねた路線の追加がなされた計画の改定がなされている。

その次の計画であり、現在の最新版である 2016 年の計画¹²(解体された鉄道省に代わり、国家発展改革委員会が公布)では、2004 年の計画の成果、鉄道の輸送力不足の問題は緩和され、主要なボトルネックは解消され、経済社会の発展の基礎的ニーズは満たされたとしながらも、中西部の鉄道網の更なる強化の必要性や、主要幹線の運行効率の向上、都市間の旅客輸送やインターモーダル貨物輸送を技術的見地からの課題として挙げている。また累積債務の増加や資金調達が難しくなっていることを課題として挙げている。輸送需要の更なる増大を前提とした供給増大、「一路一帯」も含めた西部や北部の地域開発、中部の経済開発のテコ入れなどのための鉄道の整備を挙げつつ、低炭素による交通の実現および国防との関連からの鉄道の輸送力等の増強の必要性を挙げている。

2020 年までに鉄道の総延長を 15 万キロに、また高速鉄道の延長を 30,000km へと延長し、大都市の 8 割はカバーし、2025 年にはそれぞれ 17.5 万キロ、38,000 キロにするという目標を前面に掲げている。また、

- 全国鉄道網は、人口 20 万以上の都市、資源の豊かな地域、貨物の集散地、港、国境を結ぶ。県レベル以上の行政区は基本的にカバーする。
- 高速鉄道網は、50 万人以上の大中都市を基本的にカバーし、以て特に大きな都市を中心に全国をカバーし、省都を結節点にして周辺地域をカバーする高速鉄道ネットワークを形成する。隣り合う大中都市間の 1-4 時間圏域を創出し、都市圏内は 0.5-2 時間圏域を実現する。
- 異なる交通モードを集約した、旅客のシームレス乗換、物流のシームレス荷役を実現する総合交通ターミナルを建設する。

としている。具体的には、「四縦四横」を発展させる形で「八縦八横」として、南北方向(縦)、東西方向(横)それぞれに、2004 年からのものを含めて各 8 つの回廊を計画している。これに加えてこれらの高速鉄道に接続する路線や、都市圏域内の路線も計画している。なお在来線は既存の回廊となる路線群の改良に加えて、貧困解消と国土開発のための路線が加えられている。

このように中国の高速鉄道は、その計画の初期においては急速な経済発展を背景にした輸送力の増強と旅客輸送サービスの近代化に主眼が置かれていたが、その後には西部や北部を中心とした地域の国土開発といった項目と、主要都市を網羅的に結ぶことへと、主眼が移行している。

¹² <http://www.gov.cn/xinwen/2016-07/20/5093165/files/1ebe946db2aa47248b799a1deed88144.pdf>



図 6 中国の高速鉄道計画

出典: Laurence, Bullock & Lu/World Bank

(2) タクトダイヤの考え方

タクトダイヤとは、わが国ではパターンダイヤとも呼ばれ、毎時決まった時刻に列車が来る鉄道ダイヤを指す。パターンダイヤは基本的に路線単位で行うものであるが、これを国全体に拡張して鉄道ネットワーク全体での所要時間短縮を目指し、そのために何を整備すべきかを「逆算」するような形で鉄道の整備計画を立てることが、ドイツ、スイス、オーストリアを中心とする中欧の国々で 2000 年代以降の基本となっている。高速鉄道の整備計画も、単なる2都市間の所要時間の短縮を目指すのではなく、この ITF 化の枠組みの中にうまくフィットする「落としどころ」を重点的に整備するものとなっている。

パターンダイヤのネットワーク拡張版は、英語や日本語への定訳はないが、ドイツ語では Integraller Taktfahrplan と呼び、この短縮表現の「ITF」が広く用いられている。日本語に訳せば、「インテグラル・タクトダイヤ」となる。フランス語ではこれをランデブー（「出会い」）と呼ぶことがあるが、乗り換え駅で列車と列車がタイミングを合わせて「落ち合う」ことをうまく表現した名称である。「インテグラル」には「積分」という意味があるが、路線ごとのタクトダイヤを積み重ねて全体に拡張することを表現しているともいえる。

ITF の根幹をなすのは、(1) 全方向全列車間の短時間での乗り換えが可能な駅 (ITF ノード) と、(2) それを実現する ITF ノード間の所要時間の調整である。

はじめに (1) の具体例を図 1 に示す。乗り換えを可能とする時間を「対称乗り換え時 (Symmetrieminute, 以下 SM)」と呼ぶが、13:00 をとした例である。列車 A, B, C, D が走る幹線、列車 E, F が走る支線 1、列車 G, H が走る支線 2 が接続する仮想的な ITF ノードであるが、これは実在する駅の例を参考として単純化したものである。この例では、13:00 より少し前に、各方面からの列車がほぼ同時に到着する。幹線では両方向とも各駅停車 C, D が先に到着し、その後に急行列車 A, B が到着する。急行列車は短い停車時間で発車し、その後に各駅停車が発車する。支線 1 の列車は 12:52 に到着し、13:08 に折り返す。支線 2 の列車は同様に 12:55 に到着し、13:05 に折り返す。これにより、E, G の支線の列車から A-D の幹線の列車へ、また逆に A-D の幹線の列車から F, H の支線の列車へも乗り継ぐことが可能である。すなわち、すべての列車の組み合わせにおいて相互に乗り換えが可能である。これを、30 分おきや 1 時間おきに繰り返すダイヤとする。

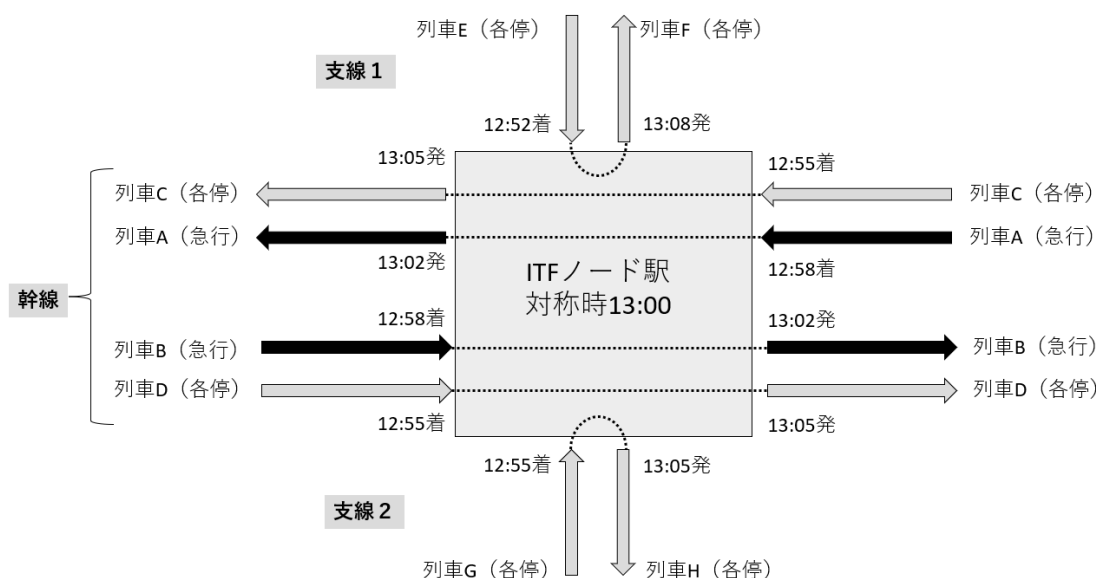


図 1 ITF ノードの例

この ITF ノードの相互間の所要時間を調整して、ネットワーク全体で、全ノードで同様に乗り換え可能とするのが、ネットワーク全体の ITF である。そのためには (2) を行う必要があるが、初めに図 2 に示すように「対象乗り換え時間」の間の時間をノード間に設定する。この際に毎正時か毎時 30 分に ITF ノードとなるものと、毎時

15分か45分にITFノードになるものを許容し、隣接するノードの間の時間は15分の倍数分とするのが原則である。図2でA駅が毎正時のノードだとして、A駅12:00を基準とすれば、B駅は12:45、C駅は13:30、D駅は14:30がこれに対応する「対象乗り換え時間」となる。A駅12:30を基準とすれば、それぞれ30分後となり、B駅は13:15、C駅は14:00、D駅は15:00がこれに対応する「対象乗り換え時間」となる。

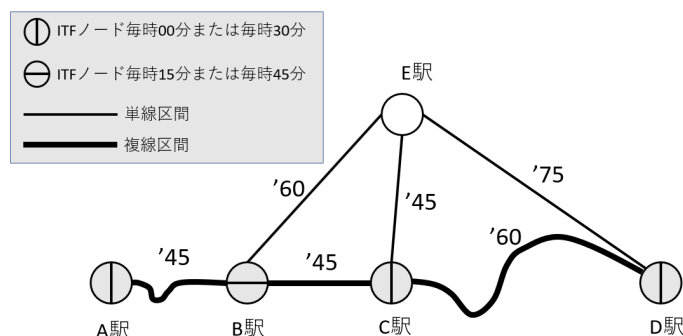


図2 ITFによるネットワークの例

E駅はA-B-C-Dの経路から外れるから少しややこしいが、再びA駅12:00を基準とすれば、A→B→Eの経路をたどれば13:45が、A→B→C→Eの経路をたどれば14:15が、A→B→C→D→Eの経路をたどれば15:45が対応する「対象乗り換え時間」となるし、A駅12:30を基準とすればそれぞれ30分後となる。仮に60分間隔のパターンだとすると、E駅には同時に列車が到着せず、列車同士の乗り換えは30分の待ち時間が生じることになり、E駅はITFノードとして機能しない(30分間隔のパターンなら機能する)。

目標ITFを起点とする鉄道整備の計画においては、目指すITFの姿を先に決めておき、そこから「逆算」して、駅の改良や、路線や設備の整備を計画する。高速鉄道の整備においても、ITFノード間の所要時間を目標とするITFにうまく収まるよう速達化する。A~B~C~D間を速達化して、図3のように改良する際にも、ITFにうまく乗るよう「落としどころ」を探すのがITFから「逆算」する高速鉄道整備のポイントである。

その整備にあたっては、別のコラムで触れた新線建設(NBS)と既存線改良(ABS)を組み合わせることとなる。仮にA~B間のように一部に急曲線が連続しそのままの線形では速度向上が望めなければ、当該区間をNBAで直線的にし、もともと直線的な区間はABSとして改良して高速化するのが有効な手段となる。また、B~Cでは普通列車の本数が非常に多く速達列車の設定に制約があるとすれば、ABSの線増による線路容量の増加が有効な手段となる。さらにC~D間は峠越えて急こう配・カーブが多いが、ここに新たにNBSを整備してC~D間の所要時間を30分とする。これら一連の改良を行うと、A~D間の所要時間は2時間半から1時間半となり高速化が達成される。B駅は毎時15分または45分のITFノードから、毎正時または30分のITFノードに変わる。高速鉄道の整備手法としては、A~BはNBSとABSの組み合わせ、B~CはABS、C~DはNBSとなる。

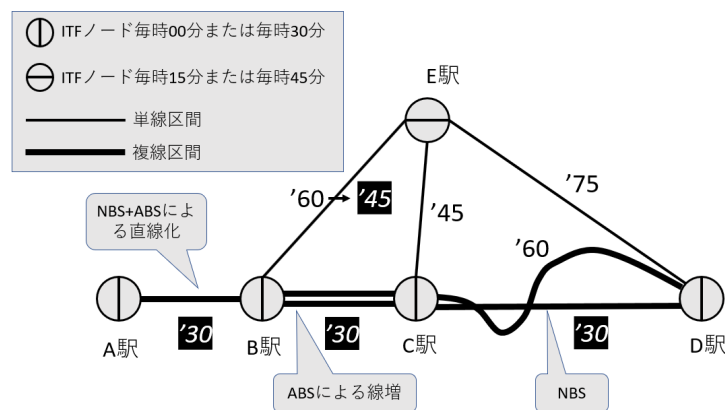


図3 高速化によるITF化の例

ところが、この A~D の高速化のみだと「置き去り」になる駅が発生する。それは A~D 上にない E 駅であり、B 駅からの路線と C, D 駅からの路線間の乗り換えがスムーズにいかない点に変わりがない。ITF におけるポイントは、B~E 間の改良もセットで行い所要時間を 45 分とすることで、E 駅も ITF ノードとして機能するよう保つことである。これにより鉄道ネットワーク全体で、図 3 のような ITF が完成し、乗り継ぎも含めた期待所要時間を減らすことができる。

なお実際の駅間の所要時間は、「対象乗り換え時間」の間の時間よりも数分は短い必要がある。これは図 4 で示したように、各列車が「対象乗り換え時間」の基準時より少し先に到着し、少し後に発車する必要があるためである。また、図 2 では単純化したのが、普通列車と急行列車のように所要時間が大きく異なる列車がある場合は、ノード間の時間は複数パターン設定され、後述の図 4 の実例などにみられる。

駅間のみならず、駅の改良も重要となる。図 1 では、同方向の幹線の列車を同じ島式ホームの両側に発着させれば、列車 A と C、B と D の間是对面で緩急接続が可能となり ITF のネットワーク性が増す。現状でこれが可能でなければ、これが可能となるような配線変更を行う。また幹線の列車 D と支線 2 の列車 G、H は同時に進入・出発することになるが、進路が重複したり交差したりする場合はそれを分離するよう駅構内の配線を改良する。

実際の鉄道ネットワークはこれよりもはるかに複雑であり、整備計画策定のための目標 ITF もその分、本稿で模式的に示す例よりもはるかに複雑である。図 4 に、2011 年にオーストリアで策定された、2025 年頃を目標とした整備計画の全体図を示すが、国全体を ITF 化する目標が前面に出ていることがわかる。

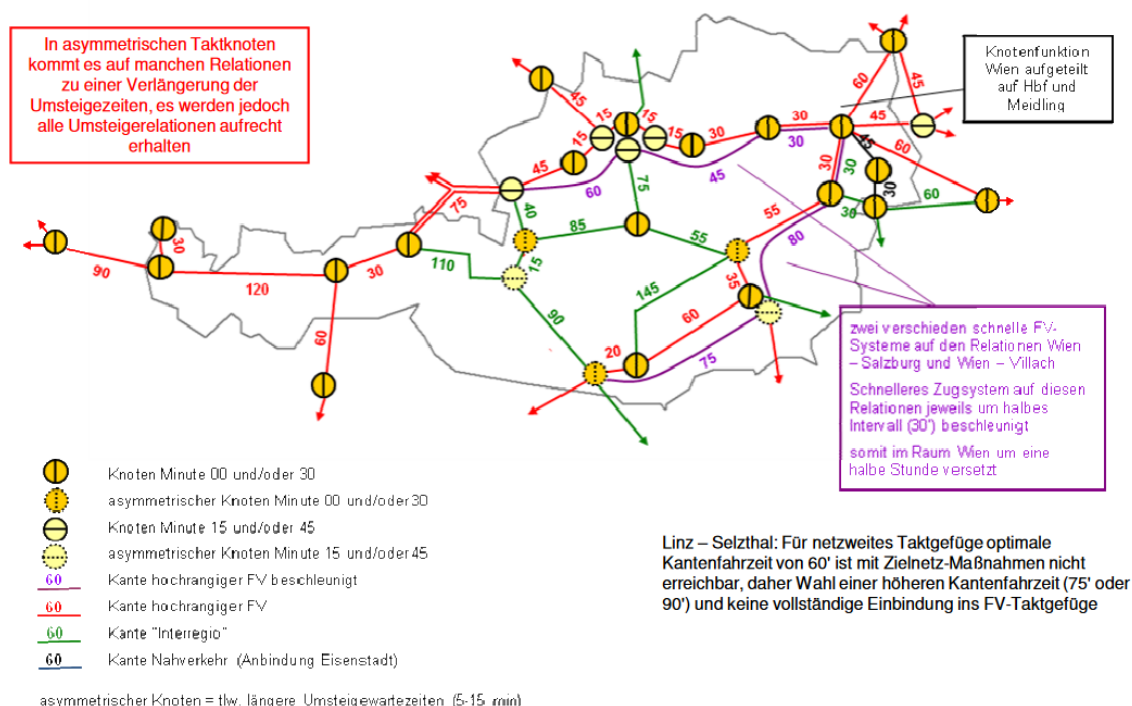


図 4 2011 年策定のオーストリアの鉄道整備計画に示された目標とする ITF

出典:ÖBB-Infrastruktur AG (2011), Zielnetz 2025+, p43

(3) 内外比較における背景の相違

各国の高速鉄道は、日本の新幹線システムとは技術的な側面や制度・営業上の点で大きく異なる。技術的な観点では、日本の新幹線システムは在来線鉄道とは全く別のものとして作られ、軌間、建築限界や車両限界とそれに伴うトンネルなどのインフラストラクチャーの規格、ホームの高さ、電化方式といった物理的な規格が在来線とは大きく異なっている。日本の在来線鉄道は黎明期には英国の技術を移入したことを背景に、イギリスが海外で建設した多くの鉄道の標準的軌間である 3 フィート 6 インチ、すなわち 1,067mmの軌間を採用しているが、諸外国では在来線でも標準軌である 1,435mm を用いていることが多い。その場合は、これら技術的諸元を在来線と高速鉄道の間で共通化することを念頭に高速鉄道の最初の構想段階から設計しているケースが多い。

制度上・営業上の面でも、特に欧州連合に加盟する国々では、いわゆる「上下分離」による、インフラストラクチャーの管理者（「下」）と運行事業者（「上」）が別々になっている。日本の新幹線システムの場合、路線や線路などのインフラストラクチャーも「新幹線」と呼び、その上を走る列車やサービスも同じく「新幹線」と呼ばれる。ところが、上下分離方式による国では、路線やインフラストラクチャーは「高速鉄道線」に対応する単語で呼称され、列車やサービスは「高速列車」という一般名詞のほか、日常では「TGV」や「ICE」といった、高速列車を総称する運行会社が付したブランド名で呼ばれることが多い。また高速列車のブランド名で走る列車が全区間で高速走行するとは限らない。さらに、インフラストラクチャーの管理者は基本的に各国にそれぞれ 1 組織であるが、そのインフラストラクチャーを利用してサービスを展開する運行事業者は複数ある、というケースも珍しくない。新規参入の事業者の場合、会社名とブランド名が同じ場合もしばしばある。表 1 に主な国の名称等を整理した。

表 1 欧州各国の高速鉄道の名称等

	イギリス	フランス	ベルギー・オランダ	ドイツ	スペイン	イタリア	オーストリア
鉄道サービスの固有名称（鉄道会社が営業用に付与） オープンアクセスの新規参入会社	Eurostar** [1]	Frecciarossa** [2]	(該当なし)	Flixtain* [3]	Ouigo (Ouigo España)** [4] Iryo** [5]	Italo** [6]	WESTBahn* [7]
鉄道サービスの固有名称（鉄道会社が営業用に付与） 当該国の在来鉄道会社やその合併会社	Southeastern* (注：フランチャイズの会社名、列車の固有名称はなし)	TGV** Eurostar** Ouigo**	Thalys**, Eurostar**, ICE**, TGV** Intercity Direct* (NL) InterCity* (BE)	ICE**, TGV**, Thalys**	AVE**	Frecciarossa** Frecciargento*	Railjet*, ICE*, EuroCity*, InterCity*
鉄道サービスの一般名称（国などが政策等で使う一般名詞）	(不明)	(不明)	(不明)	Fernverkehr (FV), Schneller Regionalverkehr (SRV) 「長距離列車」 「高速地域列車」	(不明)	(不明)	Fernverkehr hochrangig (FVB, FVH), Interregio (FVI) 「優等遠達長距離列車」 「優等長距離列車」 「地域間列車」
高速鉄道インフラの名称（総称）	[特に名称なし]	Ligne à grande vitesse (LGV) 「高速線」	Hogesnelheidslijn (HSL) / Ligne à grande Vitesse (LGV) 「高速線」	Schnellfahrstrecke 「高速走行線」（法律文書など正式な場面では基本的に使われない） Neubaustrecken (NBS) 「新規建設線」	Líneas de Alta Velocidad (LAV) 「高速線」	Ferrovía ad alta velocità 「高速鉄道」	Hochleistungsstrecke 「高規格路線」
高速鉄道インフラの名称（新線）	High Speed 1, High Speed 2 「高速1」 「高速2」						
高速鉄道インフラの名称（在来線改良）	(個別路線名称で呼称, "Great Western Main Line" 等)	(該当なし)	(該当なし)	Ausbaustrecken (ABS) 「改良線」	[特に名称なし]	(該当なし)	

*は時速 200km/h 以上の高速域、**は時速 250km/h 以上の高速域で走行。

- 1.Eurostar: 仏 SNCF とベルギー-SNCB/NMBS を中心にした合併企業。Thalys も同じグループ(2023 年秋に合併予定)
- 2.Frecciarossa: Trenitalia France、イタリア国営 Trenitalia の子会社
- 3.Flixtain: ドイツのバス会社 Flixbus の鉄道事業
- 4.Ouigo España: 仏 SNCF のスペインの Low-Cost 事業 (LCC の鉄道版)
- 5.Iryo: イタリア国営 Trenitalia、スペインの地域航空会社 Air Nostrum とインフラ投資会社の合併事業。
- 6.Italo: NTV Nuovo Trasporto Viaggiatori、アメリカのインフラ投資会社が主要株主
- 7.WESTBahn: 仏 SNCF と地元実業家、建設会社等の合併

なお、日本の地方私鉄などでみられる「上下分離」とは異なり、インフラ管理者は、線路の保有のみならず、保線はもちろんのこと、複数社にまたがるダイヤの調整(ダイヤの「スジ」の割り当ての意味で Train Path Allocation と呼ばれる)や、信号制御も含めた通常の運行管理と輸送障害時の運転整理、駅における発車案内旅客への情報提供といった業務も行う。また新線建設も一般的にはインフラ管理者の業務である。

資料編（内外比較トピックと日本方式の評価 編）

(1) 座席の回転

鉄道車両は 1 自由度で前後方向にしか走行できないため、進行方向が前後に変わる、稀な乗り物である。長距離移動に用いられる他の乗り物は、飛行機、自動車、バス、船のいずれも、基本的な進行方向は決まっている。したがって座席も進行方向を向いて固定されているのが一般的である。ところが、鉄道で座席を固定すると、進行方向とは逆向きの座席が出現してしまう。

現在の新幹線の座席は回転が可能であり、出発駅での折り返しの際に進行方向を向くように回転される。ところが、日本の新幹線車両を基にした中国などの高速鉄道車両を例外とすると、回転可能な座席は実は世界的に見ても稀である。図はフランスからスイスに直通する高速鉄道 TGV Lyria の 2 階建て中間車の 2 階の座席表であるが、座席は固定されており、60 番台の座席は図の右向き、70 番台は間にテーブルがある向かい合わせの座席、80 番台は図の左向き、90 番台は右向き、という具合である。なお付番方式が日本と異なり 2 列単位だが、これはコンパートメント方式の客車の座席の付番方式に由来するためであり、欧州ではごく一般的である。

WC		62	64	72	73	81	83	94	102	103	111	113	122	123	
		61	63	71	74	82	84	93	101	104	112	114	121	124	
		65	67	75	78	86	88	95	97	105	108	116	118	125	128
		66	68	76	77	85	87	96	98	106	107	115	117	126	127

※50 番台までの座席は 1 階にあり図示されていない。

出典:https://www.tgv-lyria.com/sites/default/files/inline-files/LYRIA-Seating_plan-2020-EN_1.pdf

日本の新幹線の座席配列は普通車では 3 列+2 列を基本とする。東海道新幹線開業当初の 0 系は、転換式シートと呼ばれる背もたれの位置を前後に動かして着座方向を進行方向に向けるものであったが、リクライニングができない欠点があった。その後の山陽新幹線の博多への延伸よりも後の 1980 年に、リクライニングが可能な新型の座席が導入されたが、今度は 3 列の座席が回転できないという事態が生じた。1982 年に開業した東北・上越新幹線の 200 系も同様であった。普通車 3 列側のリクライニング座席の回転が可能となったのは国鉄末期の 1985 年に登場した 100 系からであり、シートピッチを広げることで回転が可能となるよう改良された。なお、その後の 1991 年には既存のシートピッチでも回転可能な座席が開発され、東北新幹線で採用されたのち、東海道・山陽新幹線でも一部に採用された。これは座席両端の手すり部分を固定して座面と背もたれ部分だけ回転するよう改良することで実現した。

欧州ではコンパートメント形式の客車の歴史が長いせいか、高速鉄道でも座席固定が一般的である。しかし座席の埋まり方はやはり進行方向向きから埋まる傾向にあるようで、進行方向に着座したいというニーズは大きいようだ。また、アジアでは進行方向の着席へこだわりが欧州より高いようである。フランスの TGV を基にした韓国的高速鉄道 KTX は、2004 年の開業当初からの普通車（一般車）は、本家の TGV 同様に座席の回転ができないものであったため、半分は後ろ向きの座席となるがこれが不評で、割引まで行われたという¹³。なお、後に製造された KTX の車両では回転可能となっている。

現在では新幹線車両のすべての座席が回転可能で、全員進行方向を向くことができる。これは新幹線の隠れた大きな特徴といってよいだろう。

¹³ http://world.kbs.co.kr/service/news_view.htm?lang=j&Seq_Code=11080

(2) 維持管理の考え方と乗り心地

1964年10月1日に東海道新幹線が営業を開始してから60年近くが経った。新幹線の高速化や輸送量の増強などの時代の要請に応えるなかで、諸外国と比較して平均遅れ時分が極めて短い安定した輸送の確保と、安全性と快適性を維持するために、軌道管理業務は軌道変位の整備基準を中心に変化してきた。ここでは、新幹線の軌道管理技術の流れを述べる。

国内と欧州の軌道変位管理指標

軌道変位のうち、高低変位と通り変位の測定方法については、図1(a)に示すように加速度の2回積分を用いる慣性測定法(同図では慣性正矢軌道検測装置の構成例を示す)と、図1(b)に示すように複数点でレールとの相対変位を測定して演算で求める差分法(同図は3台車の軌道検測車の構成例を示す)に分けられる。

国内では差分法(chord based method:弦管理(正矢法))による軌道変位の測定が主流で、(2)に後述するとおり軌道整備基準値等は10m弦正矢や10m弦正矢から倍長演算により求まる40m弦正矢の測定値に対して設定されている。なお、40m弦は乗り心地の管理指標として使用されている。一方で、欧州では慣性測定法(wavelength range based method:波長帯域管理)による測定が主流であり、管理指標も波長帯域ごとに設定されている。図2に弦管理と波長帯域管理の対応を示す。同図のとおり、弦管理と波長帯域管理では10m弦とD1、40m弦とD2、D3が対応することが分かる。

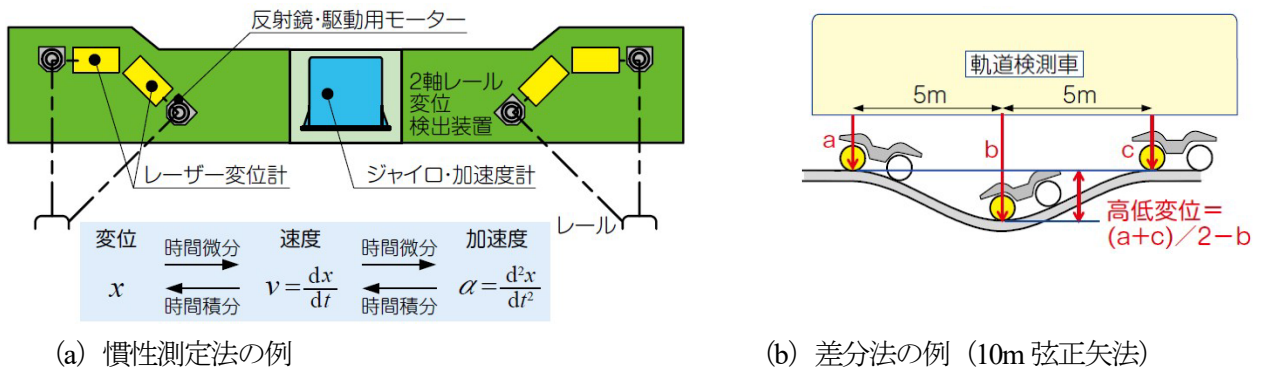


図1 軌道変位の検出方法

表1 欧州の波長帯域管理

波長クラス	波長
D1	3~25m
D2	25~70m
D3	高低: 70~150m 通り: 70~200m

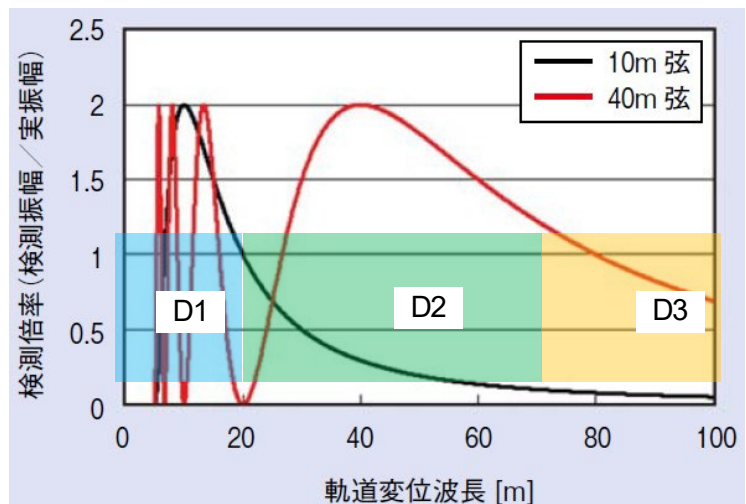


図2 弦管理と波長帯域管理の対応表

軌道変位管理は、車両の走行安全性および乗り心地を考慮して予め定められた軌道整備基準値に基づき、これを超えないように軌道保守が行われる。新幹線の軌道整備基準値については、高速走行による軌道変位の変化の傾向が分かっていなかったため新幹線の開業当初は定められず、鴨宮試験線での実績などをもとに、以下の4種類の軌道整備目標値が定められた。

① 仕上がり目標値(表2)

作業や工事施工後の仕上りの目標値。新幹線では早くから保守作業の施工業者への外注化が行われたため、鉄道事業者はおおよそ10日に1回実施される軌道検測の結果に基づいて軌道保守の施工箇所を指示し、施工業者が所定の精度で作業を行ったかどうかを確認する「指示・検収制度(図3)」の実行において適用される。

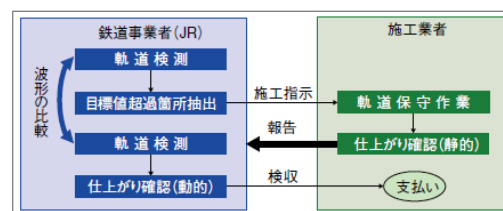


図3 指示・検収精度

② 保守計画目標値

整備対象とすべき軌道変位箇所を決定するための目標値。

③ 乗り心地目標値(表3参照)

列車の良好な乗り心地を確保するための目標値。東海道新幹線開業前の鴨宮試験線における試運転結果及び開業後の保守の実情に基づき、アメリカ自動車技術者協会の R.N.Janewey が提案した乗り心地の許容基準を参考に国鉄が定めた乗り心地係数(1~2)を用いた乗り心地の指標を満足するように設定された。乗り心地係数が1~2に収まる上下振動加速度は全振幅で0.25g、左右振動加速度は全振幅で0.20gであり、図4に示す軌道変位と車両動揺の関係から設定された。

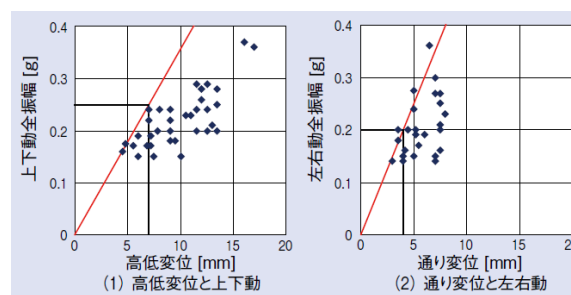


図4 軌道変位と車両動揺の関係

④ 要注意目標値(表4参照)

徐行運転を行わなければならない前に、予防的に管理すべき要注意の目標値。上下振動加速度は全振幅で0.35g、左右振動加速度は全振幅で0.25gに対応する高低と通りの目標値が設定された。

その後、開業後数年間の実績などを基に、昭和44年に表5に示す軌道整備基準値が定められた。現在の軌道整備基準値は、JR各社で少しずつ異なるが、基本的には表5の値に基づき、さらに、より高い速度段での値を加えた基準値となっている。

表2 仕上がり目標値

項目	目標値(mm)
軌間	2
水準	3
10m弦高低	4
10m弦通り	3
2.5m平面性	3

表3 乗り心地目標値

項目	目標値(mm)
軌間	+ 6、- 4
水準	5
10m弦高低	7
10m弦通り	4
2.5m平面性	5

表4 要注意目標値

項目	目標値(mm)
10m弦高低	10
10m弦通り	6

表5 新幹線の軌道整備基準値(1969年制定、新幹線軌道整備基準規定第9条)

項目	列車速度160km/h 以上の本線	列車速度160km/h 未満の本線	副本線、回送線 および着発収容線	側線
軌間	+ 6、- 4	+ 6、- 4	+ 6、- 4	+ 6、- 4
水準	5	6	7	9
10m弦高低	7	8	9	10
10m弦通り	4	5	6	7
2.5m平面性	3	6	7	8

■欧州の軌道の整備基準

欧州では国境を越えて直通列車が多数走行していることから、統一した規格の必要性が高まり、軌道の整備基準については EN-13848 シリーズで定められている。各軌道変位の管理値を Immediate action limit (IAL:整備基準値に相当)、Intervention limit (IL:整備目標値に相当)、Alert limit (AL:整備目標値に相当) の3段階で定められている。IL や AL は日本の整備目標値に相当するため明確な数値は設定されておらず、各鉄道事業者で定められている。欧州と日本の整備基準値で異なる点は、欧州規格では線区の最高速度で管理区分が分かれているものの、在来線と高速列車専用線が共通の数字になっていることである。

ここでは、IAL について表6に示す。

軌間については、拡大側(+側)の値が高速列車走行区間でも大きな値となっているが、これは軌道管理の目的は軌間拡大による脱線を防止するためと割り切った考え方に基づくものと考えられる。

高低や通りの値については、波長領域の最低2倍以上の距離内での測定値の平均を求め、平均値との差が基準値に収まることを確認している。一見すると、高低や通りの整備基準値に比べてやや緩い数値で管理されているが、各鉄道事業者において、高速度であることを考慮した基準値を設定していると考えられる。

平面性については、様々な軸距の車両が相互に直通運転することを考慮して、平面性の基準長さの関数で基準値を設定しているのが大きな違いである。

表6 欧州の軌道整備基準値(EN-13848 part5:2017 参照)

速度(km/h)	軌間		水準	高低		通り		平面性
	在来線	高速列車		D1	D2	D1	D2	
~80	+35、-11	+35、-9	平面性による	28	-	22	-	$\cdot u \leq (r-100)/2$ の時は、 $(20/l)+3$ ただし、速度200km/h以下での最大7mm/m 速度200km/h以上での最大5mm/m $\cdot (r-100)/2 < u \leq (r-50)/1.5$ の時は、 $(20/l)+1.5$ ただし、最大値6mm/mかつ最小値3mm/m ここで、平面性基準長さ：l(m) 水準変位：u(mm) 曲線半径：r(m)
80~120	+35、-11	+35、-9		26	-	17	-	
120~160	+35、-10	+35、-8		23	-	14	-	
160~230	+28、-7	+28、-7		20	33	12	24	
230~300	+28、-5	+28、-5		16	28	10	20	

■おわりに

日本と欧州の軌道管理については、安全性の考え方、車両運行条件の違いなどから、軌道変位の測定方法、管理指標、基準値に違いがあるが、(1)に示したように高速鉄道の速度域に対応した管理が行われている。ここで示した欧州の軌道整備基準値は EN 規格で定められた数値であるため、各鉄道事業者においてこの数値以内の厳しい値で軌道変位の管理が行われていると考えられるが、日本では厳しい軌道整備基準値を設定して管理を行うことにより、安定した輸送の確保と、安全性と快適性の維持を実現できていると言える。なお、今後の保線技術者の減少を考慮すると、欧州の軌道管理方法も参考にしながら、より合理的な軌道管理の実現が望まれる。

(3) 日本方式の評価(新幹線の分割メリットなど)

我が国に新幹線が誕生してから約60年が経とうとしている。1964年に東海道新幹線が開業して以来、全国にまたがる新幹線ネットワークは、我が国の経済成長を支え、地域を活性化し、国民生活の向上に大きく寄与してきた。

国鉄時代は、公的主体である国鉄(一部は日本鉄道建設公団)が新幹線を建設し、所有・運営していたが、国鉄分割民営化とともに新幹線も路線ごとに分割され、民間企業である JR 各社が路線を分け合いながらそれぞれ所有・運営するようになった(分割民営化直後は新幹線保有機構による所有)。東海道新幹線(JR 東海)、山陽新幹線(JR 西日本)、東北新幹線(盛岡以南)及び上越新幹線(JR 東日本)がこれにあたるわけだが、その後整備されたいわゆる整備新幹線(北陸新幹線、東北新幹線(盛岡以北)、九州新幹線(及び西九州新幹線)、北海道新幹線)については、上下分離方式を採用しており、現在の鉄道・運輸機構がインフラ整備を実施し、その施設を借り受ける形で、それぞれの営業エリアを担当する JR 各社が運営を担っている。

このように、新幹線と一口に言ってもその成り立ちや整備・運営方式などは時代によって変遷し、現在に至るまでその経緯を踏襲しているため、利用者からみれば同じ新幹線ではあるものの、実態としては路線ごとに異なる仕組みが併存している。また一口に海外と言っても国や地域によって異なるシステムを採用しているため、一概に「海外の高速鉄道と比較」というのは難しいが、あえて海外、とりわけヨーロッパを念頭に比較すると、我が国の新幹線において特徴的なこととして、地域分割による独占的運営と民間主体による上下一体運営があげられる。

ヨーロッパでは、上下分離を実施することにより、同一インフラ上を異なる主体が列車運行することが可能となり、結果として運行事業者間の競争関係を生み出すことが奨励されている。もともとヨーロッパは陸続きでありながら技術基準が異なれば国境で乗り換えが必要となるため、その不便を解消するために技術基準の統一に力を注いできた。そうした土台の上に、国境を越えて相互乗り入れができる環境を創出し、累次にわたる EU 指令により、加盟各国の鉄道政策の変革を促し競争環境の創出に力を入れてきた(いわゆるオープンアクセス)。他方、我が国の鉄道システムは上下一体を基本としており、新幹線に関しては JR 各社の営業エリアごとに運行主体が決まっており、相互乗り入れによる競争関係は発生していない。新幹線の運行システムも全国一律とはなっておらず、我が国の中でも異なるシステム間の相互直通には技術的課題を伴うとの事情もある。異なる所有者となっている路線間を相互直通しているケースも多々見られるが、エリアをまたいだところで運行主体を切り替えているため、あくまで上下一体の運用となっている。

こうしたことから、分割民営化後、相互の競争意識等にも起因しながら JR 各社が独自に技術開発等による進化を遂げ、その結果、バラエティに富んだ車両や特色あるサービスが展開されるようになった。特に車両については各社とも開発に力を入れており、車両の愛称や外観、内装などは全国画一的でなく、地域色を演出するなどの工夫を凝らしたものとなっている。また、スピード、乗り心地、座席配置などにも利用者ニーズを取り込んでおり、例えばグランクラスに代表されるようなよりグレードの高い車両タイプの提供、近年ではテレワークに特化した車両の供給など、様々なタイプの車両が供給されている。

他方、こうした独自の開発は技術の統一化という観点からは遠ざかるものとなっている。先述の運行システムに関しては、我が国においては大きく二つの異なるシステムが存在する形となり、相互直通運転を阻む大きな要因となっている。これは特定の路線において巨大な輸送需要を抱え、高い安全性と定時性を保ちつつ高密度運行を実現するために最適なシステムを追求したエリアと、在来線区間も含めた複数の路線に分岐したネットワークにおいて複雑な運行管理の最適化に向けて進化を遂げたエリアにおける、独自の開発プロセスに起因するところが大きい。また、地震大国である我が国において新幹線の耐震対策は非常に重要な安全対策となっているが、各社においては路線特性等も踏まえながら異なるアプローチで対策を講じているのが現状である。こうしたことは、鉄道システムの海外展開を進める上でも、オールジャパンとしての取組が困難となり各社間の協

力関係を築く上でハードルになる要因ともなっている。

また、我が国の新幹線システムが民間主体による上下一体運用となっていることとの比較において、ヨーロッパでは、主として鉄道インフラは公的主体による所有・運営となっており、運行主体間の公正な競争環境を確保するため、上下一体運用は認められていない。他方、我が国においては、東海道新幹線をはじめとするいわゆる既設新幹線（東海道、山陽、東北（盛岡以南）、上越の各新幹線）については、その巨大なインフラが、現在は民間会社である JR 各社によって所有され維持管理されている。整備新幹線区間は公的主体による所有となっているものの、通常の維持管理等は運行主体である JR 各社が実施しており、実質的には上下一体運用となっているとも言える。こうした中、我が国の新幹線は開業以来、運行による死亡事故ゼロを記録するほど高い安全性を保ち、また平均遅延時分が1分以内という驚異的な定時性・運行の安定性を誇っており、またそれを、例えば東海道新幹線のようにピーク時3分間隔で運行するようなレベルで実施しているが、それを公的負担に頼らず実現していることは特筆に値する。加えて、駅ナカや駅周辺開発をはじめとした民間主体によるさまざまな関連投資を誘発する効果を生みだしており、非鉄道系と一体となった我が国特有の鉄道ビジネスモデルの形成につながっている。

資料編（高速鉄道を支える日本の技術 編）

(1) 安全を支える耐震技術

1872年に我が国の鉄道が新橋・横浜間で初めて開業して以来、今日まで150年の歳月が流れた。鉄道構造物の設計基準は、地震等の災害、大型プロジェクトや社会ニーズ・時代の変化に対応し、変化、発展してきた（表1）¹⁾。表には、主なトピックスと鉄道構造物の設計基準の変遷を示した。

以下では、鉄道の橋梁・高架橋や土構造物の過去の地震被害を概観し、鉄道構造物の耐震設計の変遷を紹介する。加えて、新幹線構造物における耐震対策に関する研究開発例を概説する。

表1 主なトピックスと鉄道構造物の設計基準等の変遷¹⁾

世紀	主なトピックス	鉄道構造物の設計基準等
19 後半	<ul style="list-style-type: none"> '72 新橋（後の汐留）・横浜（現、桜木町）間開業 '89 東海直線開業 '91 濃尾地震 	
20 前半	<ul style="list-style-type: none"> '06 鉄道国有法 '23 関東大震災 '44 東南海地震 '45 終戦 '46 南海道地震 '48 福井地震 '49 日本国有鉄道発足 '52 十勝沖地震 	<ul style="list-style-type: none"> '14 鉄筋混泥土橋梁設計心得（初の鉄筋コンクリートの設計・施工の基準） '17 土工其ノ他工事示方書標準（初の施工標準） '30 橋梁標準設計 '47 土木工事標準示方書
20 後半	<ul style="list-style-type: none"> '64 新潟地震 '64 東海道新幹線（東京-新大阪）開業 '68 十勝沖地震 '72 山陽新幹線（新大阪-岡山）開業 '74 石油危機 '75 山陽新幹線（岡山-博多）開業 '78 宮城県沖地震 '82 東北新幹線（大宮-盛岡）開業 '82 上越新幹線（大宮-新潟）開業 '83 日本海中部地震 '85 東北・上越新幹線（上野-大宮）開業 '87 国鉄分割民営化 '91 東北・上越新幹線（東京-上野）開業 '92 山形新幹線（福島-山形）開業 '93 北海道南西沖地震 '95 兵庫県南部地震 '97 秋田新幹線（盛岡-秋田）開業 '97 北陸新幹線（高崎-長野）開業 	<ul style="list-style-type: none"> '55 土木構造物の設計基準(案) '61 新幹線構造物設計基準(案) '61 新幹線規格 '67 土構造物の設計施工指針(案) '69 場所打ちコンクリートグイの設計施工指針(案) '70 建造物設計標準（鉄筋コンクリート構造物） '72 全国新幹線網建造物設計標準 '74 建造物設計標準（基礎構造物及び土質土壌構造物） '78 建造物設計標準（土構造物） '78 盛土耐震補強工設計の手引き '79 耐震設計指針(案) '81 橋台裏面耐震補強工設計の手引き '81 中掘り先端根固め工法設計施工指針(案) '81 鋼管矢板井筒の設計施工指針(案) '83 建造物設計標準（鉄筋コンクリート構造物） '86 建造物設計標準（基礎構造物） '89 普通鉄道構造物規則、新幹線鉄道構造物規則 '92 鉄道構造物等設計標準（コンクリート構造物） '92 鉄道構造物等設計標準（土構造物） '97 鉄道構造物等設計標準（基礎構造物） '99 鉄道構造物等設計標準（耐震設計）
21 前半	<ul style="list-style-type: none"> '02 東北新幹線（盛岡-八戸）開業 '04 九州新幹線（新八代-鹿児島中央）開業 '04 新潟県中越地震 '10 東北新幹線（八戸-新青森）開業 '11 東日本大震災 '11 九州新幹線（博多-新八代）開業 '15 北陸新幹線（長野-金沢）開業 '16 東北新幹線（新青森-新函館北斗）開業 '16 熊本地震 '18 北海道胆振東部地震 '21' 22 福島県沖地震 '22 西九州新幹線（武雄温泉-長崎）開業 	<ul style="list-style-type: none"> '01 鉄道に関する技術上の基準を定める省令 '07 鉄道構造物等設計標準（土構造物） '12 鉄道構造物等設計標準（基礎構造物） '12 鉄道構造物等設計標準（耐震設計） '12 鉄道構造物等設計標準（土留め構造物） '22 鉄道構造物等設計標準（基本原則編、橋りょう編、コンクリート構造編、支承編）

*マークは、文中に記載がある設計基準

■兵庫県南部地震前の地震被害と耐震設計

① 橋梁・高架橋の地震被害と耐震設計

鉄道の橋梁・高架橋の耐震設計は関東大震災を契機に導入され、1930年の「橋梁標準設計」に水平震度0.2が示された。これは濃尾地震以降の研究成果である、佐野利器博士著「家屋耐震構造論」の震度法に基づくものである。1955年の「土木構造物の設計基準（案）」に地域別の基準水平震度の他、地盤種別と構造物

種別の組合せにより基準水平震度の補正を行う方法が示された。東海道新幹線の建設にあたって、1961年に「新幹線構造物設計基準(案)」がまとめられ、当時の土木学会やその他の基準等を勘案し水平震度0.2が設定された。

新潟地震は、昭和大橋に代表される地盤の液状化被害によって注目された。新潟駅建屋は打込み杭であったためほとんど無被害であったものの、越後線信濃川橋梁が液状化による側方流動により傾斜の被害²⁾を受けた(写真1)。この経験から1970年の「建造物設計標準(鉄筋コンクリート構造物)」に地域別震度(0.2, 0.15)、地盤別係数(軟弱1.2, 普通1.0, 岩盤0.8)、及び線区係数を基に水平震度を求める方法が示され、1972年の「全国新幹線網建造物設計標準」には構造物の剛性規制と列車走行安全性から定まる、構造物の許容不同変位の目標値が示された。地盤の液状化判定法は、1974年の「建造物設計標準(基礎構造物及び抗土圧構造物)」に反映されることになる。

宮城県沖地震(1978年)では、建設中の東北新幹線の支承部、柱や中層梁、橋脚躯体の段落としに被害が生じた³⁾。1979年の「耐震設計指針(案)」は、地盤を普通地盤と軟弱地盤に分け構造物の振動特性により水平震度を変化させる修正震度法とし、地震被害の経験から支承部の強化及び落橋防止工の設置、RC部材の変形性能向上のための配筋などの構造細目などが盛り込まれた。また、新潟地震や十勝沖地震(1968年)の地盤変位に伴う構造物基礎の被害から、軟弱な地盤において地震時の地盤変位を基礎の設計に考慮する応答変位法が新たに導入された。

1983年の「建造物設計標準(鉄筋コンクリート構造物)」には、RC部材の変形性能を考慮した設計法が採り入れられた。この設計基準では、許容せん断応力度の見直しを行うとともに、設計水平震度の1.5倍程度の水平力に対して、破壊安全度の照査を行い、高架橋の柱や梁などの地震の影響を大きく受ける部材には十分な変形性能を持たせ、耐震構造細目として靱性率4以上が確保できる帯筋の配筋を定めた。これにより従前の設計基準で設計された構造物に比べ、著しい耐震性能の向上が図られた。なお、1983年以降の設計基準で設計された構造物は、兵庫県南部地震においても軽微な損傷に留まっている。

国鉄分割民营化後の1992年に制定された「鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)」では、限界状態設計法が導入され、設計地震動として1000gal程度を想定することが明記された。この地震動に耐えるために必要な部材の変形性能を照査する方法が定められ、せん断破壊に対する安全度が曲げ破壊に対する安全度より上回ることが規定された。



写真1 新潟地震の越後線橋脚の傾斜



写真2 関東大震災の東海道線(現御殿場線)盛土の崩壊



写真3 十勝沖地震の東北本線盛土の崩壊

② 土構造物の地震被害と耐震設計

過去の地震では、盛土の被害事例(写真 2)が数多く報告されている⁴⁾。これは明治から昭和初期に造られた在来鉄道のほとんどが、土構造物であることに起因する。

鉄道の土構造物の耐震性が注目されたのは、1968 年の十勝沖地震からであり、複線化工事完成直前の東北本線の盛土に被害をもたらした(写真 3)。この地震を契機に国鉄では、大型振動台を用いた盛土の耐震対策に関する系統的研究が実施されている。これらの成果は、1978 年の「建造物設計標準(土構造物)」に、支持地盤条件や盛土本体の構造条件の仕様規定として反映された。

■兵庫県南部地震前の地震被害と耐震設計

① 橋梁・高架橋、土構造物の地震被害

兵庫県南部地震では、従来の設計震度を遥かに超える地震動により未曾有の被害をもたらされた⁵⁾。新幹線高架橋の大部分の被害は、柱、中層梁や橋脚躯体のせん断破壊や(写真 4)、支承・落橋防止装置の破壊であった。構造物基礎の地震被害としては、従来から散見された軟弱地盤中の基礎が地盤の液状化等による側方流動によって、傾斜・沈下や基礎部材の損傷・破壊(写真 5)をもたらすもので、特に埋立て地盤の広範囲で散見された⁶⁾。鉄道盛土の被害は、支持地盤として比較的良好な場合でも、震度 7 クラスの激震地の盛土は、ほとんどの箇所ですら 0.5~1m 沈下し(写真 6)、特にのり面工が大きく変状した⁵⁾。これらの被害は十勝沖地震で見られた支持地盤の流動化や液状化に起因したものではなく、盛土体にも所要の耐震性の確保が必要であることが指摘された。



写真 4 兵庫県南部地震の JR 神戸線高架橋の崩壊



写真 5 兵庫県南部地震の建築基礎の杭頭のずれ

② 兵庫県南部地震の地震被害を踏まえた耐震設計

兵庫県南部地震の地震被害を踏まえ、1999 年に「鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)」がまとめられた。従来の地震動(レベル 1 地震動)に加え、断層近傍域で発生する非常に強い地震動等(レベル 2 地震動)も考慮し、耐震性を照査する「2 段階設計法」と「性能照査型設計法」を採用した。「性能照査型設計法」は、想定する地震動に対し、地震時及び地震後に構造物に要求される性能を規定し、これを満足するように各部位の損傷や残留変位を限界値内に留めるものである。つまり、部材の破壊モードが曲げ破壊モードであることを確認し、破壊モードに合致した部材のモデル化により応答値算定、限界値との照査を行うこととした。



写真 6 兵庫県南部地震の JR 神戸線盛土の崩壊

盛土も他の構造物と同様に 2 段階設計法が導入された。レベル 1 地震動に対して盛土が降伏しないこと、レベル 2 地震動に対しては地震による損傷をできるだけ小さく抑え、早期復旧の観点から地震時に生じる盛土の変形量を算定し、復旧性から定まる許容沈下量以内とする設計法とした。以降、2007 年に性能照査型設計法を導入した「鉄道構造物等設計標準・同解説(土構造物)」が発刊された。

■東北地方太平洋沖地震以降の地震被害と耐震設計

① 東北地方太平洋沖地震の地震被害と耐震設計

東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード9.0という未曾有の巨大な海溝型地震であった。鉄道構造物の地震被害は、兵庫県南部地震以降のせん断補強対策や落橋対策の効果により、対策を行った構造物の倒壊はなく、橋梁・高架橋の柱や橋脚躯体の軽微な損傷に留まった。一方、旧基準で設計・施工された橋梁・高架橋では、柱の破壊、支承部の破壊(写真7)、重なる余震による被害拡大が発生し、沿岸部における甚大な津波被害など巨大地震の特徴的被害が生じた⁷⁾。首都圏の埋立て地などの若齢地盤で地盤の液状化が発生した。浦安地区の鉄道構造物の基礎は、1974年の「建造物設計標準(基礎構造物及び抗土圧構造物)」の比較的古い設計であったが、液状化を考慮した設計がなされ液状化被害はほとんどなかった(写真8)。なお、改定中であった「鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)」は、地震被害の検証が行われ2012年に発刊された。なお、同年に「鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)」及び「鉄道構造物等設計標準・同解説(土留め構造物)」も上記の耐震設計と整合を図り、改訂、発刊が行われた。



写真7 東北地方太平洋沖地震の鹿島線架道橋の桁ずれ



写真8 東北地方太平洋沖地震の京葉線高架橋(無被害)

② 熊本地震の地震被害と耐震設計

熊本地震は前震と、2日後の本震からなる直下型地震であった⁸⁾。鉄道構造物は、熊本の平野部の九州新幹線等の高架橋柱端部のかぶりのはく落や支承部の損傷が確認されたが、これは1999年の「鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)」で設計・施工された構造物であり設計上想定範囲であった。

■最近の新幹線構造物の研究開発の動向

最近の新幹線構造物の研究開発は、建設現場の省力化や低コスト化のほか、耐震対策を含む安全性の向上を目的としている(表2)⁹⁾。これらの取り組みは、整備新幹線の建設主体である、鉄道建設・運輸施設整備支援機構の取組みのほか、鉄道総合技術研究所の研究開発や、これらの両者の共同研究からなる。ここでは、新幹線構造物の耐震性向上に繋がる研究開発として、GRS(Geosynthetics Reinforced Soil)一体橋梁と、橋梁・高架橋の地震時走行安全性に関する走行解析技術の2つを紹介する。

表2 最近の新幹線構造物の研究開発の動向⁹⁾

対象	用途	研究開発名
橋りょう・高架橋	工法	セメント改良補強土橋台 ¹⁰⁾ 、補強盛土(GRS:Geosynthetics Reinforced Soil)一体橋りょう ¹¹⁾
		モルタルスリーブ継手を用いたプレキャストラーメン高架橋 ¹²⁾
	設計法	回転杭による斜杭基礎を有するラーメン高架橋 ¹³⁾
	設計法	橋梁・高架橋の地震時走行安全性に関する走行解析技術 ¹⁴⁾
トンネル	工法	シールドマシンを用いた場所打ち支保による山岳工法(SENS:Shield Extruded Concrete Lining New Austrian Tunneling Method System) ¹⁵⁾
駅施設	設計法	駅の圧力変動予測解析システム ¹⁶⁾

① 補強土技術と橋梁技術を融合させた GRS 一体橋梁¹¹⁾

盛土区間と橋梁・高架橋区間の境界となる橋台部周辺は、耐震設計上の要注意点となるだけでなく、橋台背面部の長期に亘る不同沈下、構造物境界を挟んで両構造物の振動性状や耐震性能の違いを起因とする耐震性上の課題や、支承部の点検・補修といった維持管理上の課題を有する。GRS 一体橋梁は、橋台背面盛土をジオンセティック補強土 (Geosynthetic-Reinforced Soil) とした上で、桁・橋台・背面盛土の三者を構造的に一体化した新しい橋梁形式である (図1)。本技術は、地盤工学分野から橋梁工学・構造工学分野までの各分野の最先端の知見を集約・融合することで、建設コストを上昇させることなく、地震時安全性の向上や維持管理コストの低減や地震時安全性の向上、及びレジリエンスの向上といった効果が得られる。

九州新幹線西九州ルート (武雄温泉・長崎間) では、GRS 一体橋梁を長スパン化して、より多くの箇所に適用するため、橋台壁と桁を一体化した PC 桁構造を新たに考案し、橋長 30m に GRS 一体橋梁を初めて適用した (写真9)。さらに、本路線の前は GRS 一体橋梁の施工実績は 5 橋であったが、本路線では 7 橋を施工し、一気に施工実績を増やした。

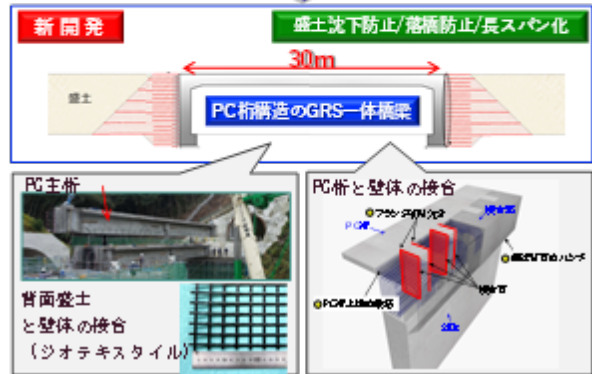


図1 GRS (Geosynthetic-Reinforced Soil:補強盛土) 一体橋梁¹¹⁾



写真9 PC 桁を用いた橋長 30m の GRS 一体橋梁

② 超軟弱なおぼれ谷地形での橋梁・高架橋の選定と地震時走行安全性に関する走行解析技術¹⁴⁾

腐植土層が厚く堆積した「おぼれ谷」のような軟弱地盤では、地震時の橋梁の不同変位 (水平角折れ) の照査を満足することが一般に困難となる。東北新幹線 (八戸・新青森間) の八戸駅から約 3km 北に位置する前後をトンネルに挟まれた区間は腐食土層が厚く堆積し、地震時の地盤変位が非常に大きいと予想されることから、強固な地盤に支持した両端の橋台で地震時の全水平力を受け持つ 12 径間連続 RC 桁形式の構造形式を選定した (図2、写真 10)。表層の腐食土層は N 値ゼロ、せん断波速度 $V_s 30\text{m/sec}$ 、単位堆積重量 $\gamma_t 10.5\text{kN/m}^3$ と極め軟弱な地盤であり、FEM 解析による地震時応答変位は、L2 地震動による地表面変位が最大 1.0m を超過し、腐食土層のせん断ひずみも 10% を超えるものとなった。

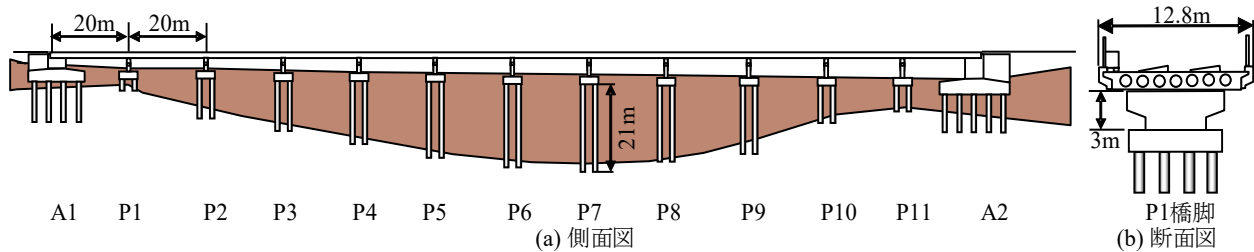


図 2 12 径間連続桁式橋梁¹⁴⁾

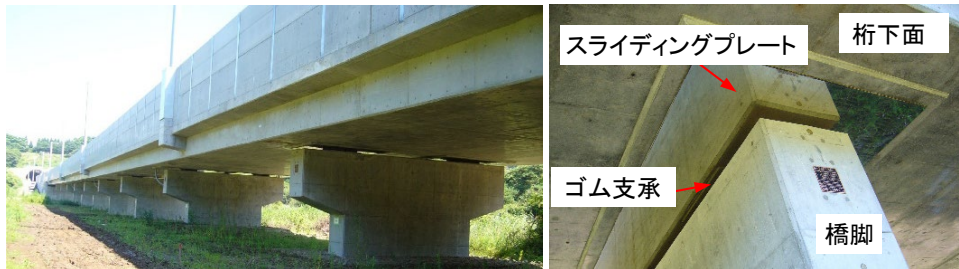


写真 10 12 径間連続桁式橋梁¹⁴⁾

このような特殊な地盤及び構造形式の場合、設計振動単位ごとの振動変位や不同変位に関する照査方法等を適用することはできない。また、過去に同種構造形式の列車走行性の検討事例も無く、自由度の大きな非線形動的相互作用問題であるため、地震時にどのような挙動を示すかを単純に推定することは困難であった。そこで、車両と構造物の全体をモデル化し、両者の動的相互作用の影響を考慮した動的解析を行い、その地震時の列車走行性に関する基本性状を明らかにし、L1 地震動に対する地震時走行安全性を確認し施工を進捗させた。なお、設計・施工の詳細は文献 17)が、動的解析の詳細は文献 14)が詳しい。

<参考文献>

- 1) 神田政幸:特集「鉄道土木の未来」地震と基準の変遷-鉄道総研 過去の地震被害と鉄道構造物の設計基準の変遷, 日本鉄道施設協会誌, No.2, pp.48-51, 2023.2
- 2) (社) 土木学会:昭和 39 年新潟地震震害調査報告, 1966.5
- 3) 宮城県:1978 年宮城県沖地震災害の教訓-実態と課題-, 1980.3
- 4) 例えば (社) 日本施設協会:「地震と鉄道」, pp.5-13, 1971.10
- 5) (財) 鉄道総合技術研究所:兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書, 鉄道総研報告, 特別第 4 号, 1996.4
- 6) (社) 地盤工学会阪神大震災調査委員会:阪神・淡路大震災調査報告書(解説編), pp.443-444, 1996.3
- 7) 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター:特集「東北地方太平洋沖地震と鉄道構造物」, SED, No.37, 2011.
- 8) 公益社団法人地盤工学会:平成 28 年熊本地震地盤災害調査報告書, 2017.4
- 9) 片岡宏夫, 神田政幸, 山本俊六:新幹線の発展に資する鉄道総研の施設技術, RRR, Vol.77, No.8, pp.20-23, 2020.8
- 10) 青木一三:九州新幹線におけるセメント改良補強土橋台の構築, 基礎工, Vol.39, No.8, pp.76-79, 2011.8
- 11) 進藤良則, 齋藤真秀, 玉井達毅:長スパン化に適応した PC 構造 GRS 一体橋梁の設計・施工:西九州新幹線 原種(げんしゅ)架道橋, 橋梁と基礎, Vol.56, No.11, pp.27-30, 2022.11
- 12) 喜多直之, 三倉寛明, 岡本大, 田所敏弥:建築プレキャスト工法の鉄道高架橋への展開, コンクリート工学, Vol.55, No.9, pp.815-819, 2017.9
- 13) 佐名川太亮, 陶山雄介, 西岡英俊, 山崎貴之, 青木一三:斜杭を用いたラーメン高架橋とその杭頭接合構造, 基礎工, Vol.45, No.11, pp.97-102, 2017.11
- 14) 曾我部正道, 徳永宗正, 川中島寛幸:超軟弱溺れ谷における連続桁式橋梁の地震時列車走行性, 基礎工, No.6, 2023
- 15) 玉井達毅:北海道新幹線 津軽逢田トンネル(SENS 工法)の施工, 建設の施工企画, No.12, pp.14-18, 2010
- 16) 武居泰, 飯倉雅直:駅における列車通過時の空力現象, RRR, Vol.65, No.8, pp.30-33, 2008.8
- 17) 山洞晃一:超軟弱地盤における 12 径間連続橋の設計・施工-東北新幹線南部山高架橋-, 基礎工, Vol.39, No.8, pp.43-46, 2011.8

(2) 高速走行を可能とする騒音対策技術

新幹線鉄道網は、1964年の東海道新幹線の開業以来、山陽新幹線、東北新幹線、上越新幹線と、我が国における大都市間を結ぶ高速鉄道として発達してきた。国鉄の分割・民営化以降は、(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構(旧日本鉄道建設公団)が整備新幹線として建設を進め、北陸新幹線、九州新幹線、北海道新幹線と順次開業し、高速鉄道としてのネットワークを形成してきた。公共交通機関としての新幹線の特徴は、安全性と定時性が高い大量輸送機関であり、人々に高い利便性を提供していることである。

一方、高速列車走行に伴い発生する騒音は、環境問題のひとつとしてしばしば取り上げられる。東海道新幹線沿線をはじめとする人口稠密地帯を高速かつ高密度で走行することから、沿線環境への配慮が特に求められることが、我が国の新幹線の特徴の1つといえる。また、新幹線の速度向上に伴う環境対策は、鉄道において重要な課題となる。これまで、新幹線を運行する各鉄道事業者では、著しい騒音を防止し、良好な沿線環境を確保すべく、必要な技術開発や対策を実施してきた。そこで本稿では、新幹線の騒音対策(主に音源対策)に係るこれまでの取組みと、今後の課題について紹介する。

■新幹線騒音に係る環境基準と暫定対策

① 環境基準と騒音対策の体系

新幹線騒音に係る環境基準については、1975年7月29日の「新幹線鉄道騒音に係る環境基準について」(環境庁告示第46号)により、基準値、測定方法、達成期間などが定められた。このうち、基準値は地域の類型ごとに表1に掲げるとおりである。その後、1976年3月には、新幹線騒音対策の基本事項を定めた「新幹線鉄道騒音対策要綱」が開議了解され、政府が一体となって問題解決に当たり、環境基準の円滑な達成を図るべく、「発生源対策」、「障害防止対策」、「沿線土地利用対策」の3本柱で諸施策を推進することとされた。新幹線鉄道騒音対策の体系を図1に示す。

表1 新幹線鉄道騒音に係る環境基準

地域の類型	基準値
I	70 デシベル以下
II	75 デシベル以下

(注) Iをあてはめる地域は主として住居の用に供される地域とし、IIをあてはめる地域は商工業の用に供される地域等、I以外の地域であって通常の生活を保全する必要がある地域とする。

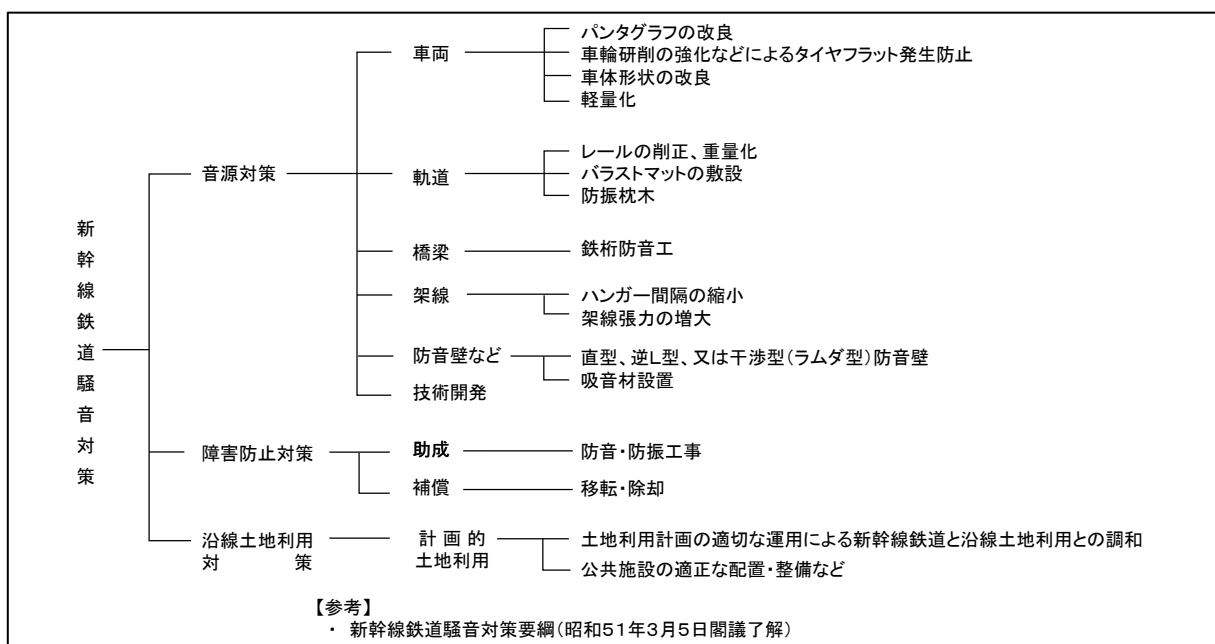


図1 新幹線鉄道騒音対策の体系

② 75dB 対策

新幹線鉄道騒音に係る環境基準は表 1 の通りであるが、騒音の防止または軽減を図る上で最も基本的な施策である音源対策を推進するものの、早期にその達成が困難であることから、環境庁（現環境省）からの要請により、東海道、山陽、東北、上越の各新幹線については、当面、沿線の住宅の集合度合いに応じ、音源対策により順次75デシベル以下を目指す、いわゆる「75dB 対策」を 1985 年以降、国の指導に基づき推進してきた。

2003 年には、今後の騒音対策の方針を策定するための「新幹線鉄道騒音検討会」が環境省主催で開催され、「現在の技術では 70dB 対策はきわめて難しい。住宅密集度を勘案して 75dB 対策を進めるべき。」との結論が出された。この結論に基づき、2006 年に、当面の 75dB 対策の推進に関する指導文書が環境省から JR 本州3社へ発出され、それ以降現在に至るまで、この指導文書に基づき、75dB 対策を継続的に実施している。

■騒音対策の取組み（総論）

① 騒音の発生源

列車走行に伴う騒音の発生源の概要を図 2 に示す。列車の走行に伴って発生する騒音は集電系音・車体空力音・転動音・構造物音に大きく区分される。

(ア) 集電系音

架線及びパンタグラフから発生する音

(イ) 車体空力音

車両が引き起こす空気の流れにより発生する風切音

(ウ) 転動音

レール振動及び車輪振動に起因する音

(エ) 構造物音

高架橋等の構造物の振動に起因する音

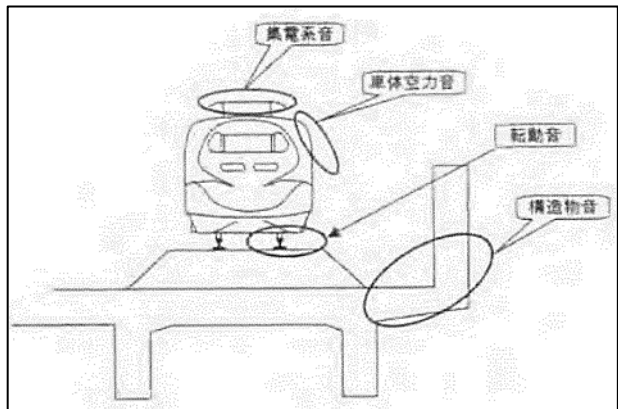


図 2 列車走行に伴う騒音の発生源

列車の走行に伴う騒音は、これら 4 つの音源による総合音であるため、低減対策を講ずる場合は、それぞれの音源別に有効な対策を実施する必要がある。また、一般的には、速度が向上すると、車体空力音や転動音などの車両下部音が大きくなるとされている。例えば、空力音であれば、音源のパワーは速度の 6 乗程度に比例して、また、転動音であれば、速度の 2 乗から 4 乗程度に比例して大きくなる。そのため、速度域によって各音源からの騒音の構成比率（寄与度）が異なり、対策効果をより高めるためには、それらを考慮した対策が必要となる。

② 課題と対策の経緯

新幹線に代表される鉄道の騒音対策は、発生源対策を行い、その防止又は軽減を図ることが最も基本的な施策である。一方、東海道新幹線建設時では、図3に示すように構造物が防音壁を考慮して設計されていない。また、その他の新幹線でも建設時に大幅な嵩上げは考慮されていないため、防音壁を単純に高くすることは、防音壁の重量や風荷重の増加の観点から、自ずと限界がある。騒音対策の推進のためには、これらの課題を解決するために、車両対策や地上対策の技術開発が必要となる。



図3 防音壁の無い東海道新幹線開業時の高架橋

騒音対策に関する取組みの一例として、東海道新幹線の事例を図4に示す。最も有効な騒音対策手段である車両対策と合わせつつ、技術開発の進捗に応じて、必要な地上対策を順次投入してきた。また、車両対策の開発にあたっては、超指向性騒音計やインテンシティマイクを使用して騒音の過大箇所を探索し、パンタグラフ数を削減して音源を減らしたり、風洞実験を重ねて先頭形状やパンタグラフの最適形状を追求してきた。また、全周ホロや台車カバー等により車体の段差を徹底的に平滑化することで一層の低騒音化に取り組んできた。これは、走行抵抗の低減による省エネルギー性能の向上にも寄与している。

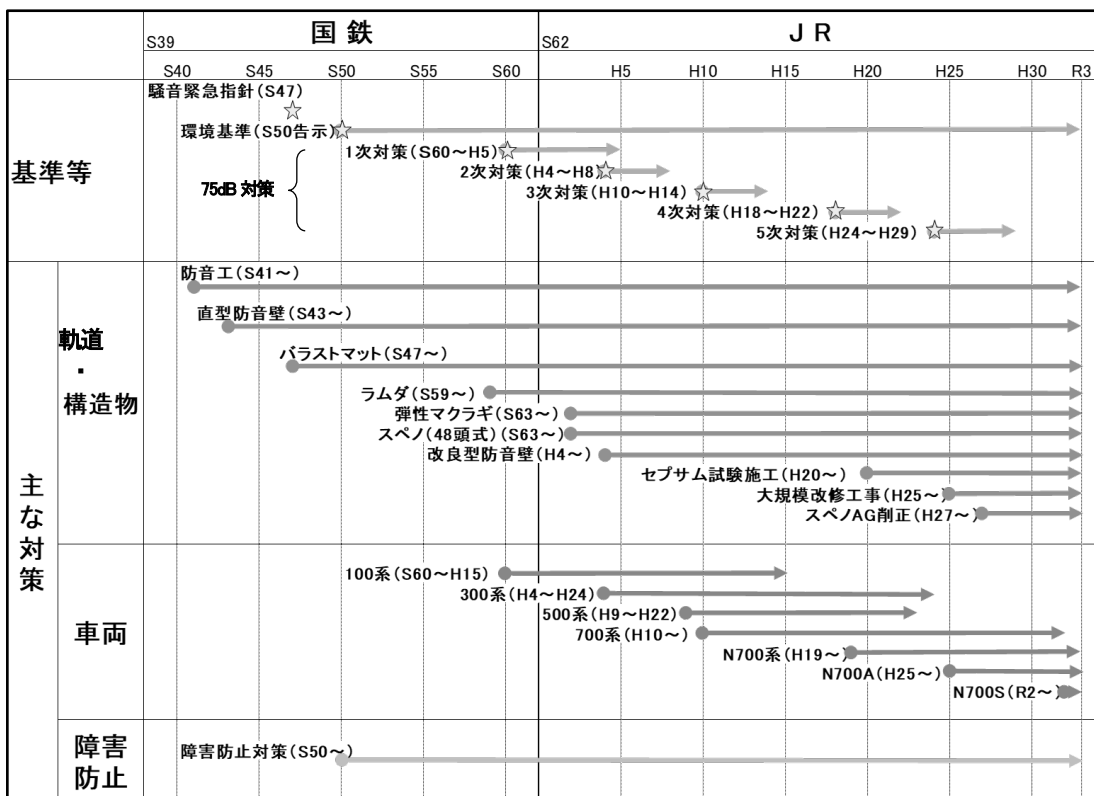


図4 主な騒音対策の経緯(東海道新幹線の事例)

■騒音対策(地上対策)の取組み(各論)

騒音対策(地上対策)の取組みは、「軌道側の対策」と「構造物側の対策」に大別される。表 2 に、新幹線における路線別の主な騒音対策(地上対策)を示す。それぞれの具体的な対策内容について、以下に紹介する。

表 2 新幹線における路線別の主な騒音対策(地上対策)

路線名	東海道新幹線	山陽新幹線	東北新幹線 (盛岡以南)	上越新幹線	整備新幹線 (東北新幹線(盛岡以北)・北陸・九州・北海道)
軌道側の対策	レール削正 バラストマット 弾性マクラギ	レール削正 バラストマット 低ばね軌道パッド	レール削正 バラストマット 低ばね軌道パッド	レール削正 バラストマット 低ばね軌道パッド	レール削正 消音バラスト 低ばね軌道パッド
構造物側の対策	鉄桁防音工 防音壁	防音壁 吸音型トンネル緩衝工	防音壁	防音壁	防音壁

① 軌道側の対策

(ア)レール削正

軌道側で行う騒音対策としては、レール及び車輪の振動から発生する転動音を低減させるためのレール削正がある。レール削正とは、レール表面の凹凸を平滑にする対策であり、波状摩耗発生区間において騒音を大幅に低減することができ、沿線環境対策及びレールの延命化対策として実施されている(図 5)。

更なる騒音低減を図るため、レールフランジ形状を変えてレールからの放射音を低減させる方法の研究などの取組みが行われている(図 6)。なお、レール削正は、騒音低減だけでなく、振動低減の対策としても用いられる。

(イ)バラストマット

構造物を介して伝播される騒音を低減するための対策として、バラストマットの敷設がある(図 7)。これはバラスト軌道の下に剛性ゴムマットを敷設したもので、その効果は高架下で約10dB 程度あり、主として東海道新幹線で敷設されている。その他、PC マクラギの底面に弾性材を被覆した、弾性まくらぎを敷設する対策もある(図 8)。

(ウ)低ばね軌道パッド

レールとマクラギの間に挿入する軌道パッド(スラブ軌道で鉛直ばね定数値 60MN/m が標準)に対し、低ばね軌道パッド(例:同 30MN/m)を用いることで、振動を軽減し、騒音の低減を図っている。

(エ)消音バラスト

整備新幹線では基本的にスラブ軌道を採用しているが、レール削正が困難な分岐器区間では、消音バラストを敷設することで、騒音低減を図っている。



図5 レール削正車



図6 レール削正の作業状況

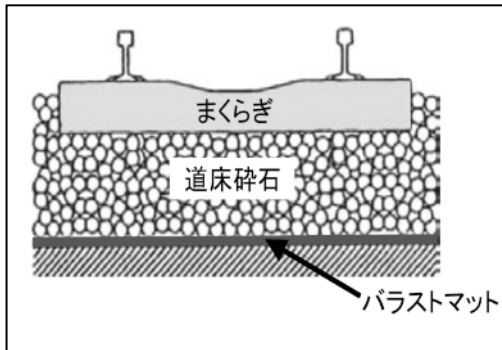


図7 パラストマット



図8 弾性まくらぎ

② 構造物側の対策

(ア) 鉄桁防音工

東海道新幹線では他の新幹線に比べて鉄桁を多く用いており、開業直後から騒音が社会的に問題となった。そこで、鉄桁からの構造物音を低減するため、鉄桁防音工を施工してきた(図9)。なお、騒音防止の観点から、山陽新幹線以降は、鉄桁は極力採用されていない。鉄桁防音工の下面遮音板には、樹脂を鋼板で挟み込んだ制振鋼板が用いられている(図10)。



図9 鉄桁防音工(全体)

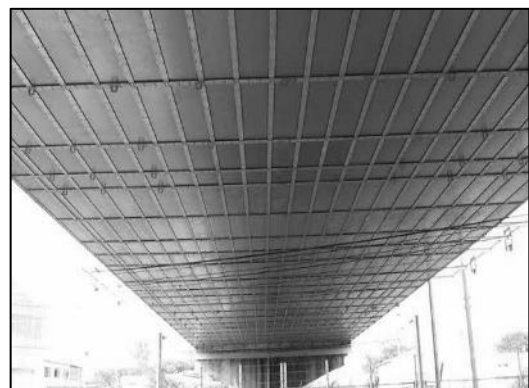


図10 鉄桁防音工(下面遮音板)

(イ) 防音壁

<路線別の基本的な防音壁構造>

新幹線の建設年代に応じて、建設時の防音壁構造が異なる。前述のとおり、東海道新幹線では建設時に防音壁は設置されていないため、騒音に対する沿線環境への配慮が必要な箇所に対し、スレート板による直型防音壁が後付けて設置されている(図11、図12)。

その後、山陽・東北・上越新幹線までは、騒音対策のため建設時から防音壁を有する構造を基本とし、場所打ち RC 壁が採用されるようになった(図 13)。また、北陸新幹線以降、近年の整備新幹線に至るまでは、建設費削減・省力化施工の観点から、H 型鋼に PC 板を落とし込んだ構造が採用されるようになった(図 14)。



図 11 直型防音壁(東海道新幹線盛土区間)



図 12 直型防音壁(東海道新幹線高架橋区間)



図 13 場所打ち RC 壁(東北新幹線(盛岡以南))



図 14 PC 板落とし込み型防音壁(整備新幹線)

<更なる騒音低減の取組み>

75dB 対策や速度向上に伴って更なる騒音低減が必要な箇所に対し、必要により複数の対策を組合せながら、騒音対策を行っている。以下に、主な取組み事例を紹介する。

○防音壁の嵩上げ

コンクリート板や、透明板(ポリカーボネート板等)などを用いて防音壁の嵩上げを実施する(図 15、図 16)。透明板を使用するのは車窓の景観や沿線環境に配慮するためである。なお、形状は直立型以外に、逆 L 型防音壁などもある。



図 15 防音壁の嵩上げ



図 16 防音壁の嵩上げ(透明板)

○干渉型防音壁

音の干渉効果による騒音低減を図る装置である。干渉型防音壁(ラムダ)は、主に東海道新幹線で採用された(図17)。

東北新幹線では、速度向上対策として、音の回折と干渉現象を利用した新幹線用先端改良型防音壁(NIDES-AL)を開発し、騒音低減を図っている(図18)。また、軽量化のための技術開発を進め、設置に伴う重機作業を不要とすることで、施工性や経済性にも配慮している。



図 17 干渉型防音壁(ラムダ型)



図 18 新幹線用先端改良型防音壁(NIDES-AL)

○吸音材の設置

既設防音壁(RC壁やPC板等)の軌道側に吸音材を設置し、多孔質の吸音材の空隙に入り込んだ音が、摩擦や振動により音エネルギーから熱エネルギーに変換されることで、車両下部から発生する音を吸収する(図19)。

東北・上越新幹線では、吸音材として吸水しにくい中綿を使用し、撥水性のある不織布で覆うことで、耐久性を向上させた全天候型吸音材を開発し、速度向上対策として設置を進めている(図20)。また、リサイクル由来原料を25%程度含有しており、環境にも配慮している。

東海道新幹線では、主に嵩上げ時の防音壁材料として吸音材を用いてきた。また、2013年から大規模改修工事に着手し、コンクリート橋で新型防音壁(図21)の設置を進めている。この新型防音壁は、吸音材を含む防音パネルの内部に反射板を斜めに配置することで騒音低減効果を高めている(図22)。また、高架橋のはね出し部への固定方法を工夫することで、風荷重が分散してはね出し部へ伝達されるとともに、軽量化によって、構造物への負担軽減も図られている。

山陽新幹線では、主にトンネル微気圧波対策として施工するトンネル緩衝工(図23)に吸音材を設置することで、沿線騒音に配慮した吸音型トンネル緩衝工の設置を進めている。当初は吸音板をトンネル緩衝工の内側に設置していたが、外側に設置可能なタイプを開発することで、吸音板の落下リスクを極力防止するとともに、施工性や検査性の向上が図られている(図24)。



図 19 吸音板の設置

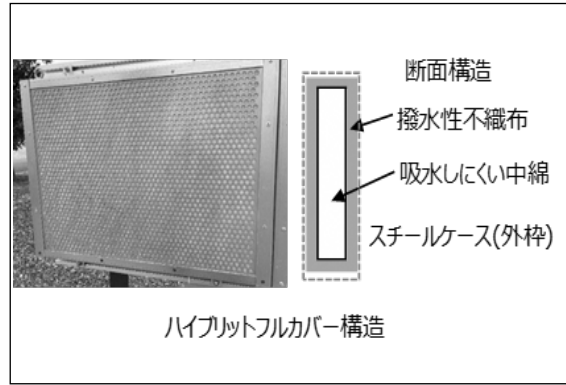


図 20 全天候型吸音板の開発(JR 東日本)



図 21 大規模改修工事における新型防音壁

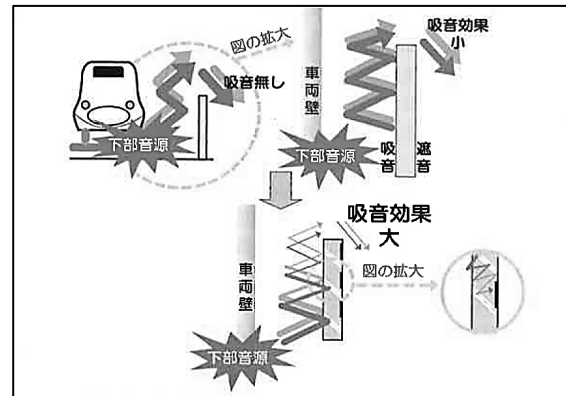


図 22 新型防音壁の開発(JR 東海)



図 23 トンネル緩衝工



図 24 吸音型トンネル緩衝工の開発(JR 西日本)

■今後の課題

① 沿線地域の土地利用対策の推進

今後の新幹線騒音対策の方向性として、発生源側のハード対策に加えて、「新幹線鉄道騒音対策要綱」（昭和51年3月5日閣議了解）にも示されているように、「沿線地域の土地利用対策」と連携した総合的な対策が必要と考えられる。新幹線建設前後の沿線土地利用の変化を見ると、沿線の田畑や原野が経済成長とあいまって都市化し、市街化してきている（図25、図26）。



図 25 東海道新幹線沿線土地利用の変化(静岡県磐田市御殿)



図 26 東海道新幹線沿線土地利用の変化(京都府京都市山科区)

沿線の土地利用対策は、沿線住民や関係地方公共団体の理解と協力を得つつ新幹線騒音の影響に考慮して土地利用の規制や誘導がなされることと、住宅の立地状況や土地利用の実態に応じて正しく類型指定されることが重要である。

前者の土地利用の規制や誘導では、都市計画法に基づく都市計画運用指針において「新幹線鉄道沿線周辺については、原則として住居地域の指定は行わないことが望ましい」とされている。後者の類型指定の具体的な当てはめ方については、図 27 のとおり、環境省から環境基準に係る地域の類型指定の権限者である都道府県知事あてに、各交通機関別の法定受託事務の処理基準が通知されている。ここで航空機の I 類型や道路の A 地域は住居専用地域を対象としているのに対し、新幹線の I 類型は住居地域までを対象としており、輸送機関の間で統一がとられていない。また、用途地域の定められていない地域については、各都府県が独自の考え方で指定しており不整合がみられるとともに、環境保全の要否に関わらず I 類型(II 類型よりも基準値が厳

しい。)に指定されているケースも多いのが現状である。騒音影響のある地域での新規土地利用に対し、計画段階で何らかの規制を施すような方策を検討することも重要と言える。

		用途地域	道路	航空機	新幹線		
都市計画区域	市街化区域	第1種低層住居専用地域	A地域	I 類型	I 類型		
		第2種低層住居専用地域					
		第1種中高層住居専用地域					
		第2種中高層住居専用地域住居地域					
		第1種住居地域	B地域	II 類型	II 類型		
		第2種住居地域					
		準住居地域					
		近隣商業地域	C地域	II 類型	II 類型		
		商業地域					
		準工業地域					
		工業地域					
		工業専用地域	あてはめない				
		都市計画区域外	市街化調整区域	※用途地域の定めのない地域	相当数の住居が所在する地域を指定	I、IIの用途地域に相当する地域を指定	I、IIの用途地域に相当する地域を指定
		都市計画区域外	非線引き区域				
都市計画区域外	準都市計画区域						
都市計画区域外	準都市計画区域外						

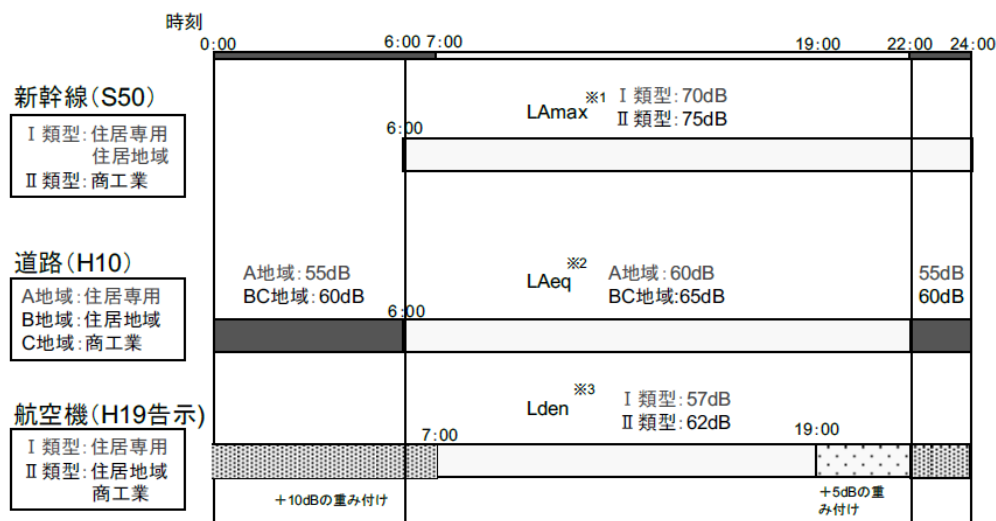
類型指定を当てはめる地域に係る法定受託事務の処理基準について

(環境庁大気保全局長 都道府県知事あて 平成13年)

図 27 交通機関別の環境基準に係る地域の類型指定

① 各交通機関の環境基準との整合性

騒音の評価指標として、エネルギーベースの指標が世界的に採用されている。わが国においても、平成10年に、まず道路の環境基準で等価騒音レベルの指標が採用され、昨年12月には航空機についても、時間帯補正をした等価騒音レベルの環境基準が告示された。一方、新幹線の環境基準は30年以上前に告示され、評価指標は最大騒音レベルが用いられている(図28)。



※1 連続20本の列車の騒音ピークレベル上位10本をパワー平均した騒音レベル
 ※2 一定時間内における騒音エネルギーの総和を時間平均した騒音レベル
 ※3 時間帯別の騒音(夕evening+5dB、夜night+10dB)に重み付けをしたうえで、24時間における騒音エネルギーの総和を時間平均した騒音レベル

図 28 各交通機関の環境基準

さらに、諸外国と新幹線騒音基準との比較を表 3 に示す。外国の基準の性格は推奨基準であったり規制基準であったりするので注意が必要であるが、ドイツなどでは在来鉄道騒音に対する社会反応が他の交通機関よりも緩いという調査結果に基づき、在来鉄道の騒音については道路交通騒音を基準として 5dB の緩和処置（いわゆる「鉄道ボーナス」。）を設けている。また、欧州の騒音基準が昼間に対して 55～69dB であるのに対して、わが国の新幹線騒音の基準は 46～ 59dB に相当し、諸外国と比べて厳しい水準にある。今後、新幹線騒音の評価指標そのものの議論がなされることも考えられるが、その場合には各交通機関の整合性が図られることが望ましい。

表 3 欧州の住居および住商混在地の鉄道騒音基準と我が国の新幹線騒音の比較

国名	法令等	L_{Aeq} 値	備考（区間）
イギリス	住宅開発に際しての推奨区分(L_{Aeq})	55-66(07-23h)	計画条件付承認
ドイツ	イミッション防止法(道路+5dB ボーナス)	64-69(06-22h)	新設、大規模改造
フランス	騒音に係る法律(1992)	60-65(08-22h)	TGV の要対策
日本	環境基準(70-75dB)から L_{Aeq} 換算値	54-59(07-22h)	(東京-三島)
		52-57(07-22h)	(新大阪-岡山)
		51-56(07-22h)	(大宮-那須塩原)
		50-55(07-22h)	(広島-小倉)
		50-55(07-22h)	(大宮-高崎)
		46-51(07-22h)	(越後湯沢-新潟)

(注：表中のイミッションは immission の意。最近はアイミッションと読むことが多い)

■おわりに

新幹線騒音の防止のためには、音源対策と沿線地域の土地利用対策が総合的に取組まれることが重要である。音源対策については、最も基本的な施策であり、今後も必要な技術開発を進めること、および、対策を継続的に実施していくことで、更なる騒音低減に努めていくことが求められる。また、総合的な騒音対策の推進を図るため、閣議了解された「新幹線鉄道騒音対策要綱」に基づき、沿線地域の土地利用対策について沿線自治体等と適切に協議がなされることも必要と言える。

<参考文献>

- 1) (公財)交通協会:新幹線 50 年史、平成 27 年 3 月
- 2) 津田英朗、市川公洋、新美利典:東海道新幹線の騒音対策の取組みと課題、(社)日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集、平成 19 年 9 月
- 3) 津田英朗、宮内政信、和氣秀晃:東海道新幹線の騒音対策の取組と今後の課題、(社)日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集、平成 20 年 9 月
- 4) 青柳幸穂、鈴木亨:鉄道施設における環境対策の取組み、(一社)日本鉄道施設協会、2008 年 7 月
- 5) 鉄道施設技術発達史、(社)日本鉄道施設協会、平成 6 年 1 月
- 6) 長倉清:新幹線鉄道沿線の環境を騒音から守る、RRR、2009 年 8 月
- 7) 北海道旅客鉄道株式会社:北海道新幹線速度向上の取組みについて、JR 北海道プレスリリース、2020 年 10 月 14 日
- 8) 田中博文、古川敦、長谷川雅彦、金尾稔:新幹線走行に伴う地盤振動低減のための軌道における対策と効果、土木学会論文集、2012 年 68 巻 3 号
- 9) 東日本旅客鉄道株式会社、株式会社ピーエステクノ、三井化学株式会社:新幹線沿線環境対策における製品の開発について、JR 東日本プレスリリース、2023 年 2 月 20 日
- 10) 明見正雄、鈴木尊、嘉嶋崇志:新幹線の環境対策とSDGsの取組み、公益社団法人日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集、2022 年 11 月
- 11) 加藤千博、今井賢一:新型防音壁の開発、土木施工、2014 年 10 月、VOL 55、No 10
- 12) 新田琢磨:沿線環境に配慮した吸音型のトンネル緩衝工新設、JR 西日本ホームページ
- 13) 新田琢磨、城和久、朝山晋:山陽新幹線における沿線騒音に配慮した取組み、(一社)日本鉄道施設協会誌、2018 年 11 月
- 14) (社)日本騒音制御工学会:平成 16 年度 新幹線鉄道騒音対策検討調査報告書、平成 17 年 3 月 31 日

資料編（高速鉄道の老舗である日本の新幹線の進化 編）

(1) 新幹線の歴史

■戦前の弾丸列車計画

日本の鉄道建設は、明治初期にイギリスの指導のもと、当時の日本の国力や国土の狭さから、軌間 1,067mm の狭軌で十分と決定し建設された。狭軌は、狭隘な土地に敷設しやすい利点の反面、速度や輸送量の観点で、標準軌 1,435mm に劣るという欠点があり、後の鉄道政策や技術の発展に大きな制約となった。

昭和の時代に入ると、東海道線と山陽線の需要増大は、国の経済発展とともに次第に顕著になり、1939 年、国鉄は「鉄道幹線調査会」を発足させ、いわゆる「弾丸列車」計画を策定した。これは、東京～下関間、約 970km を標準軌の幹線鉄道で結ぶ計画であり、将来は、釜山まで繋ぐ構想であった。この鉄道計画は、満州で高速走行の実績のあった標準軌規格で、最高速度 200km/h の高速走行が計画されたもので、戦後の東海道新幹線は、この計画を基に発展させたものとなっている。

■戦後の輸送需要急拡大と対策の検討

戦後、復興期を経て、高度経済成長期に入る頃、再び、幹線鉄道の輸送需要が客貨ともに急拡大し、特に東海道線への集中は著しく、輸送力がひっ迫する事態となった。そこで、東海道線の増強計画策定に向け、1956 年、国鉄に「東海道線増強調査会」が設置され、以下の案が検討された。

- 1) 東海道線を狭軌のまま複々線化する
- 2) 狭軌で別線を建設し、客・貨もしくは緩・急分離を図る
- 3) 標準軌で別線を建設し、緩・急、貨物を分離し抜本的増強を図る

その頃の国鉄内では、1) 案が有力であり、本調査会で、3) 案が期待されたが結論に至らず休会に至った。

■鉄道技術研究所の講演会

そのような状況下で、国鉄の鉄道技術研究所が、「東京～大阪間 3 時間への可能性」と題した講演会において、新しい線路、信号・保安システム等を用いた標準軌電化新線を建設すれば、最高速度 250km/h で東京～大阪間 3 時間での運転が技術的に可能であるという内容の発表を行ったところ、新聞でも大きく取り上げられ、大変大きな反響を呼んだ。(写真 1、2)



写真 1 鉄道技術研究所講演会の中吊り広告
出典:参考文献 1) p49



国鉄鉄道技術研究所50周年記念講演会「超特急列車東京～大阪間 3 時間への可能性」
(1957年5月30日 東京・銀座山葉ホール)

写真 2 鉄道技術研究所講演会の様子
出典:参考文献 1) p4

■東海道新幹線の実現

このような機運を受け、1957年、運輸省に「日本国有鉄道幹線調査会」（写真3）が設置され、1958年、同調査会より、「東海道線の抜本的輸送力増強が急を要し、標準軌別線建設が適当である」との答申が発表された。その答申の理由としては、

- 輸送力が大きいこと
- 到達時間が極めて早いこと
→約3時間で結ぶ計画であった
- 所要資金が低廉であること
→この時点では総工費1,972億円と見積もられていた
- 高速度に対する安全度の点で有利であること
- 徹底した近代化が可能であること
- 進歩した技術が利用できること
- 車両の共用が出来ない欠点は適当な措置によってある程度除き得ること

が挙げられた。

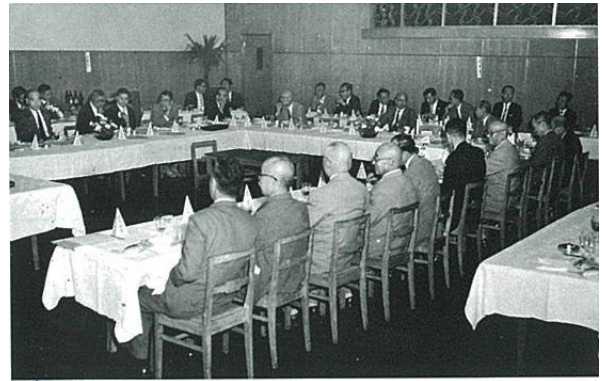
この答申を、運輸大臣が閣議報告し、東海道新幹線計画は国の認知を受けた国家プロジェクトとして③案で、実現の運びとなった。そして、その翌年、1959年に、東海道新幹線は起工した。

■世界銀行からの借款

建設が進むにつれ、建設費は当初の予算を大幅に上回る結果となり、最終的に当初予算の約2倍の3,800億円に達した。そのため、国鉄では、1961年、世界銀行からの借款を受けることとし（写真4）、これを建設費に充当した。このような事態を受けて、世論の批判が厳しくなり、1963年、東海道新幹線計画を推進した当時の国鉄の総裁と技師長が責任を取る形で辞任するに至った。

■新幹線の技術開発

東海道新幹線を実現した技術は、すでに在来線で培われていた鉄道技術を組み合わせ、これを高速鉄道にふさわしい新しい概念の鉄道システムとして再構成し最適化した点に大きな特徴がある。例えば、動力分散式は、世界の鉄道が動力集中式に固執するなかで、在来線の特急などで、いち早く普及させていた技術であった。交流電化は、フランスの交流電化方式を参考とし、直流電化に比べて大容量の電力を容易に供給でき、地上設備も軽減できるという長所を活かし、在来線の電化で採用していた技術である。さらに、CTCによる分岐器や信号の集中管理システムは、短距離区間で実用化済みの技術を長距離線区の運行管理に初めて使用した技術であった。一方、車内信号によって列車のブレーキを自動的に制御するATCによって、従来の地上信号を廃止するなど、



「第1回日本国有鉄道幹線調査会」（会長 大蔵公望）
（1957年9月11日 東京ステーションホテル）

写真3 国鉄幹線調査会の様子

出典：参考文献1)p4



新幹線建設資金8000万ドルの借款調印式（1961年5月2日 米国ワシントンDC・世界銀行本部）

写真4 新幹線建設資金借款の調印式

前列右、十河信二（国鉄総裁）

出典：参考文献1)p6

表1 鉄道技術研究所の

新幹線関係研究テーマ数

出典：参考文献1)p79

研究テーマの大分類	テーマ数
高速運転のための軌道構造	25
高速車両	29
高速車両の運転	17
高速運転のための制御方式	18
高速運転のための電車線構造	25
交流電化	18
高速運転のための信号方式	19
自動運転方式	22
合計	173

高速鉄道にふさわしい信頼性の高い運転保安システムの新たな技術開発も行い実現させた。

これらは、試験線にて、実地で、車両、軌道、架線、ATCなど幅広い分野のテストが実施され、その後の新幹線技術の大きな技術的財産となった。(表1)

■東海道新幹線開業

そして、1964年、東京オリンピックの直前に、東京-新大阪間、約515kmをわずか5年の工期で完成・開通させ(写真6)、その後、その高速性と路線の立地条件から、国内各地に及ぶ社会経済効果をもたらし、高度経済成長を支え、日本の発展に大きく寄与した。



東海道新幹線出発式、石田総裁によるテープカット(東京駅19番線ホーム)(1964年10月1日)

■続々と新幹線が開業

このような、極めて大きな社会経済的インパクトをもたらした成功から、全国的な新幹線建設への機運が生じ、東海道新幹線開業の翌年1965年に認可を受けた、山陽新幹線(新大阪~岡山 1972年開業、岡山~博多 1975年開業)をはじめ、東北新幹線(大宮~盛岡 1982年開業、上野~大宮 1985年開業)、上越新幹線(大宮~新潟 1982年開業)が相次いで開業することとなった。

写真6 東海道新幹線出発式

出典:参考文献1)p150

■受け継がれる新幹線計画

東海道新幹線の開業により、移動時間の短縮や、移動距離の拡大など、その経済効果は計り知れず、大量高速輸送機関としての鉄道の存在が再び注目されるきっかけとなった。また、1970年には、新幹線が大阪万博の「動くパビリオン」(写真7)として活躍するのと時を同じくして、全国新幹線鉄道整備法が公布され、我が国の新幹線ネットワークの基本計画、整備計画が決定された。これを機に、政府では、新幹線ネットワークを計画的に整備することによって国土のさらなる発展に寄与することを目的として、新幹線建設を国の重要な施策と位置付けることとなった。しかし、その後のオイルショックや国鉄の財政難などによって計画は遅々として進まず、また、開業後に騒音・振動公害が大きな社会問題として取り上げられるなど、新幹線の建設計画は、逆風にさらされ、まずは、既設路線での対策が優先されることとなった。その後、1987年の国鉄分割民営化を経て、現在は、整備計画に基づいたいわゆる整備新幹線が着々と整備されている。



万国博輸送にあたって車体に貼られたEXPO'70のマーク(1970年3月)

写真7 EXPO'70のマークが貼られた新幹線車両

出典:参考文献1)p13

■整備新幹線の建設

新幹線が国鉄によって建設された時期の大きな目的の一つは、急増する輸送需要への対応であったが、整備新幹線の整備においては、その軸足が、幹線鉄道ネットワークの形成、拡充にシフトしていると言える。なお、整備新幹線の新たな区間の着工においては、「安定的な財源見通しの確保」、「収支採算性・投資効果等を十分に吟味する」

とともに、「JRの同意」、「並行在来線の経営分離についての沿線地方公共団体の同意の取り付け」といった基本条件が整えられていることを確認する必要がある、設計最高速度など規格についても規定されている。

■日本の新幹線鉄道

今日まで、我が国の新幹線は各都市を結ぶ基幹交通として全国規模で整備が進められてきた。このように、新幹線はきわめて重要な社会基盤インフラであり、日本経済の活性化、豊かな国民生活に大きく貢献している。それと同時に、日本の新幹線、とりわけ、東海道新幹線の成功が世界の鉄道界にも大きなインパクトを与え、当時、急激なモータリゼーションが進む状況下において、斜陽産業と言われていた鉄道業界に、高速鉄道ブームあるいは、鉄道回帰のトレンドをもたらした功績は大きい。

<参考文献>

- 1)公益財団法人交通協会:新幹線 50 年史, 2015 年 3 月
- 2)土木学会土木史研究委員会, :図説 近代日本土木史, 鹿島出版会発行, 2018 年 7 月
- 3)小野純朗:鉄道のスピードアップ -速度向上の理論と実践-, 社団法人日本鉄道運転協会, 2013 年 12 月
- 4)海老原浩一:新幹線 -高速大量輸送のしくみ-, 財団法人交通研究協会, 1996 年 12 月

◎ミニコラム:新幹線・在来線直通の技術

新幹線の在来線直通化の技術として、ミニ新幹線や軌間可変電車(フリーゲージトレイン)の技術開発が行われてきた。ミニ新幹線は、在来線(狭軌 1,067mm)の軌間(左右のレールの離隔)を新幹線の軌間(標準軌 1,435mm)に改軌し、またはもう一本レールを敷設(三線軌化)し、標準軌を走行できる車輪を持ち在来線の小さな断面のトンネル等を走行できる規格の車体とすることで新幹線との直通運転を可能としている。在来線区間では新幹線ほどの高速走行は出来ないが、乗換えが不要となることで乗客の利便性の向上が図られる。山形新幹線の福島・山形間(1992年開業)、山形・新庄間(1999年開業)と、秋田新幹線の盛岡・秋田間(1997年開業)で導入されている。

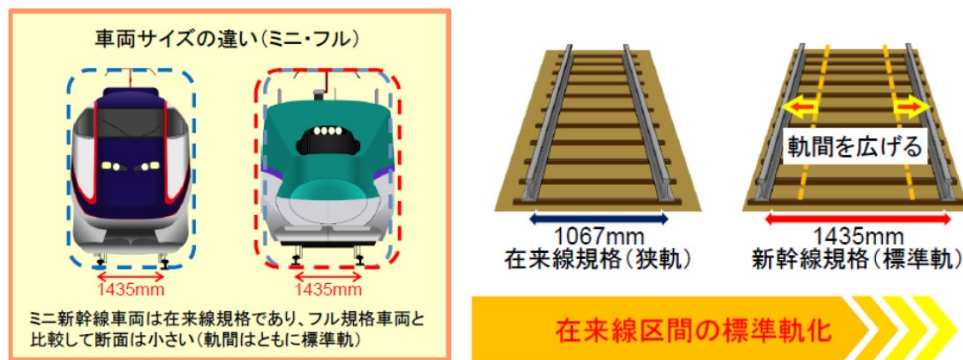


図 1 ミニ新幹線のイメージ

出典:九州新幹線(西九州ルート)の整備のあり方について資料, 国土交通省

軌間可変電車(フリーゲージトレイン)は、異なる軌間(ゲージ)を直通運転できるよう、車輪の左右間隔を軌間に合わせて自動的に変換する車両である。既存線路の軌間を変更することなく、乗換え解消による利便性向上が期待できる。現在、軌間の異なる在来線間を直通運転するための技術開発が行われている。

(2) 東海道新幹線の進化 ～現在の東海道新幹線は一日にしてならず～

東海道新幹線が世界初の高速鉄道として1964年に開業してから約60年が経過した。この間、東海道新幹線は、様々な課題に直面しつつその対応策が行われ進化してきた。ここでは、主に土木的観点で開業以降の大きな進化・改善について振り返りたい。

■初期的故障とその対策

東海道新幹線の開業当初における車両故障について振り返ってみると、高速運転への挑戦の宿命ともいえるべき、予期しなかった諸々の初期的故障や過酷な自然災害に遭遇し、まさに苦闘の連続であった。

開業1カ月をとってみても、パンタグラフ関係の7件、車両ドア関係5件等の車両故障が発生しており、運転事故にならなかった故障だけでも実に1000件以上に上った。

新幹線は、210km/hという、これまでに経験したことがない速度であるので、計画の段階であらゆる可能性を考えて設計されたのだが、いざ使用を開始してみると、環境条件が厳しく、例えば予想した以上の風圧のためにガラスが割れたり、取り付け部品がはく離、脱落したりする等の故障が発生した。

自然の影響の観点では、まず雪害が挙げられる。雪害は、計画段階では予想できなかったし、モデル線でも経験しなかったことである。その影響は今日まで残り、困難な課題になっている。原因は、車両床下の高圧機器箱に雪が入ったための絶縁破壊によるものや、後になって究明されたものとしては車体に付いた雪が落下した際に碎石を巻き上げ、これがガラス破損や床下機器の故障を引き起こしていた。これらの対策として車両側の対策のほか、線路脇にスプリンクラーを設置(関ヶ原～米原間)し、積雪面を濡れ雪にするとともに列車の速度を落として雪の舞い上がり・車体への付着・雪の落下時のバラスト飛散防止を図ることとした。

降雨とその対策も東海道新幹線の開業後から長年の課題であった。新幹線は雪に弱いと騒がれたが、昭和40年度に入ると今度は雨に弱いと言われるようになった。東海道新幹線は土工(盛土・切取構造)が多く採用されているが、用地問題、設計協議等により土工の実施工が大幅に遅れたこともあり、開業当初は竣工してからまだ日が浅く、十分な締固め効果が得られなかった結果、集中豪雨により土工の災害が多発した。この対策として、盛土においては排水パイプ工、のり面の格子砕工、杭打ち等の対策が、また切取においてものり面工の対策が行われた。

■新幹線の若返り

開業当初、東京～新大阪間の運転時間が「ひかり」4時間、「こだま」5時間でスタートした新幹線も、盛土およびのり面の強化等線路の整備を進め、開業の翌年1965年11月からは「ひかり」3時間10分、「こだま」4時間運転を実現し、また列車本数も順次増加していった。しかしながら、1972年ごろから運転阻害が急激な増加傾向を示し、そのなかでも車両故障および線路故障が急増した。これを踏まえて、設備全般にわたっての抜本的な見直しが行われることとなった。

線路故障のうち特に大きな影響を及ぼしていたのが、レールの損傷であった。そのため、当時の技術的には欠陥の生じやすい構造であったテルミット溶接部の除去、レールの疲労対策としての重軌条化(50Tレールの60kgレール化)、線路補修工事の機械化とそのための保守基地の強化等が実施された。

盛土のり面もさら強化された。1974年に、雨による災害が連続して発生し、運輸省からの指導もあって、新幹線の安全確保に関する恒久対策の中でのり面防災強化が計画され、場所打格子砕工が実施されることとなった。のり面の強化は、JR発足以降にも盛土のり面の張コンクリート工等が実施され、2003年には一連の降雨対策工事が完了したことにより、降雨時の運転規制の見直しが行われている。

■270km/h 運転時代の到来と新幹線品川駅の設置

① 輸送力強化の背景

1964年10月の東海道新幹線開業時の最高速度は、当時の在来線のほぼ2倍に当たる210km/hであった。世界初の高速鉄道である東海道新幹線の開業とその成功は、鉄道斜陽論が出ていたヨーロッパの鉄道にも大きな影響を与えた。

所要時間も、それまでの在来線特急が東京～大阪間に6時間30分を要していたのを、開業時の「ひかり」は東京～新大阪間を4時間で結び、さらに1965年11月には本来のダイヤである3時間10分運転に移行した。まさに日本の高度成長期と重なり、東海道新幹線はその圧倒的なスピードと安全・正確な大量輸送によって、東海道メガロポリスの大動脈として日本経済の発展に貢献してきた(図1)。

しかしスピードの面では、1965年以降、最高速度210km/h、東京～新大阪間3時間10分の時代が約20年続いた(国鉄最後のダイヤ改正が行われた1986年秋には車両及びATC等の改造を行い、ようやく最高速度が220km/hに引き上げられた。)。これは、国鉄が年間1兆円もの設備投資を行いながら、全国一元経営の下で東海道新幹線に本来必要な戦略的投資を行わなかったこと、労使関係の悪化等から技術が停滞していた面があったことも否定できない。

このような状況の中、東海道新幹線1987年4月、JR東海に引き継がれ、その後の輸送需要の増加等も背景に、民営化されたJRによる長期的な施策の下、大きな進化を遂げていった。

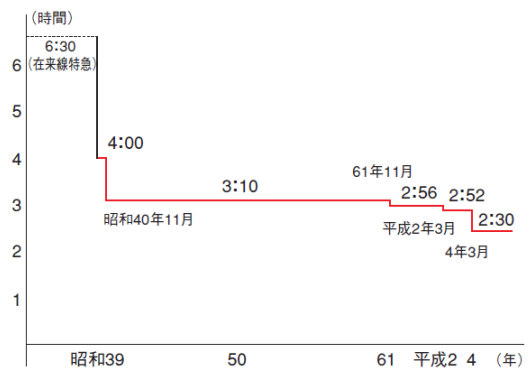


図1 東京～新大阪間所要時間の変遷

② 速度向上プロジェクトの設置

国鉄が分割民営化され、JR東海が発足した初年度である1988年1月、東海道新幹線の270km/hへの速度向上の実現に向け、「東海道新幹線速度向上プロジェクト委員会」が設置された。

この速度向上プロジェクトを進めていくうえでのポイントは、東京～新大阪間の所要時間を2時間30分とすることであった。最高速度の向上は、まず当時の最高速度を10km/hアップの230km/hにし、以降順次段階的に上げていく方法もあったが、この場合、東京～新大阪間における所要時間の短縮は数分にすぎず、時間短縮効果を乗客に実感してもらえるようにするためには、少なくとも20～30分短縮し同区間を2時間30分で結ぶ必要があった。そこで、270km/h運転を前提として、①車両、②土木・軌道・電気・その他の地上設備、③ダイヤ編成、の3分野について総合的に検討を行った。人口密集地域を通過し、かつ曲線が多い東海道新幹線で、いかに沿線の環境を悪化させることなく、最高速度を上げ所要時間の短縮を行うかという点も大きなポイントであった。国鉄時代には、このように条件の厳しい東海道新幹線で速度向上を行うことは無理だと考えられていた。しかし、関係部門が一致協力し取り組んだ結果、地上設備の強化・改良はもちろんのこと、車両の大幅な軽量化などの数々の困難な課題を克服した。1988年5月に行った0系車両試験の結果、アルミ車体・ボルスタレス台車・VVVF方式等による車両の軽量化と、パンタグラフの削減・パンタカバーの設置・車両先頭形状の改良等による車体空力音の低減を行うことにより、270km/h運転は実現可能との結果を得て、新型車両の開発および営業運転への取組みを進めていくこととした。

③ 300系の開発

最高速度270km/h、東京～新大阪間2時間30分運転とする新型車両300系の開発に当たっては、220km/hから270km/hへと大幅な速度向上を、軌道や電気設備などに大きな負荷をかけず、また騒音・地盤振動など沿線の環境を悪化させずに実現することが大きな課題であり、これを解決するためには車両の大幅な

軽量化が不可欠であった。そのため、0系から100系へのモデルチェンジとは異なり、様々な分野の最新技術を導入し、車体・台車など各部門の開発を行う担当者それぞれが、部品1つずつの重量にまで目を向け、可能な限り軽量化を図るといふ、全く新しい発想で車両システムを構築することとした。

まず車体については、100系までの鋼製からアルミ合金製に変更するとともに、軽量ボルスタレス台車を開発し、採用した。また、電動機についても、従来の直流電動機ではなく、VVVF制御による交流誘導電動機を採用し、軽量・小型化を図った。そのほかにも、客室の床をハニカム構造としたり、軸箱やギアケース、腰掛の骨格をアルミ化するなど、あらゆる部品の軽量化に取り組んだ。このように新しい発想に基づき細部にまで及ぶ徹底した軽量化を行った300系は、0系に対し約30%、100系に対しても約25%軽量化することができた(図)。

このほか、300系ではパンタグラフ数を削減し集電騒音を低減するとともに、ノーズから屋根まで段差のないシャープな形にしたり、車体と窓ガラスの段差を可能な限り減少させるなど、ボディーの平滑化を徹底的に行い、車体の空力特性の向上を図った。さらに、交流誘導電動機の採用により、ブレーキ時に発電した電気を熱として放出するのではなく架線に返し再利用する電力回生ブレーキを採用するなど、大幅な省エネルギー化も実現した(図3)。

これらの技術の多くは、国鉄時代から試作を繰り返し、一步一步実績を積み重ねてきたものであった。つまり300系は、国鉄時代に日の目を見ることのなかった要素技術を、分割・民営化後の戦略、そして技術力で開花させたものであると言える。

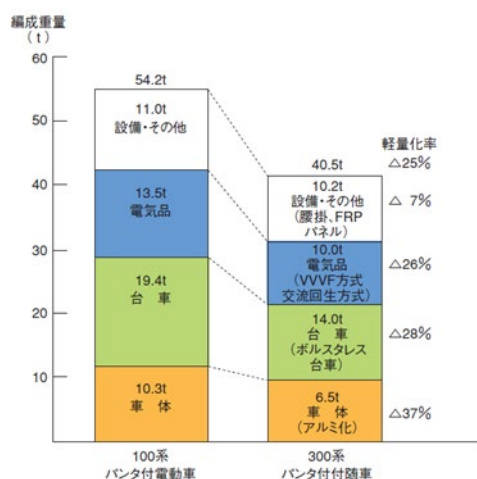


図2 100系と300系の重量比較

	0系	100系	300系
最高速度		220km/h	270km/h
制御方式	低圧タップ切換	サイリスタ位相制御	VVVF制御 (GTO)
構体		鋼製	アルミ合金製
編成重量	970t	925t	711t
電力消費量 (220km/h走行時)	100	79	73
	(電力消費量は0系を100とした場合の値)		
	昭和39年	昭和60年	平成4年

図3 新幹線車両の変遷

④ 270km/h 運転を支える地上設備の改良と保守

東海道新幹線の速度を従来より50km/h速い270km/hとするには、車両を軽量化し、構造物や沿線環境への影響を少なくすることが大きな課題であったが、その一方で地上設備においても様々な対策を実施した。

まず線路設備については、曲線部のカント(曲線部で車両にかかる遠心力を低減するために設ける左右のレールの高低差)を修正した。半径2,500mの曲線では、カントを180mmから200mmとして255km/hでの走行を可能とし、半径3,000mの曲線でも、270km/hに対応できるレベルにカントを修正した。このカント修正は、全線路延長の約23%、曲線部の約55%に当たる延長240kmにわたって行った。

また、だ行動防止と輪重変動を抑制するため、線形整備、レール頭頂面削正、レール溶接部落ちの矯正を行った。線形整備については、大型保線用機械であるマルチプルタイタンパを大幅に増備し精度よく実施し、270km/hでの乗り心地を220km/hと同程度とした。そして、平成5年以降は、レール溶接部落ちの対策として、専用の大型のレール輸送車を導入し、1晩当たり1,500mのロングレール交換を推し進めた。このロングレール化の進捗により乗り心地が大幅に改善され、軌道整備必要量も減少した。

環境対策についても、前述のパンタグラフ数の削減のほか、低騒音パンタグラフやパンタカバーの採用、車両重量の軽量化などの車両改良並びに防音壁改良、弾性マクラギ敷設、高架橋の端部補強などの対策を順次講

じた。このように、270km/h 化に向けての取組みは、単なるスピードアップのためだけでなく、地上設備の強化につながる効果もあり、一層の安全・安定性の向上が図られたと言える。

⑤ 新幹線品川駅設置の背景

東海道新幹線の輸送量は、1964 年の開業以来、日本の経済成長に合わせて大幅に伸びてきたが、低成長期に入った 1975 年代からは、度重なる運賃値上げ等の影響も加わり、輸送量は一進一退の状態が続いていた(図 4)。こうした状況下で、国鉄の分割・民营化時に政府が行った 1987 年度以降 5 年間の新幹線の輸送量予測の中でも、東海道新幹線の輸送量は微減状態が続くとされていた(図)。

しかしながら、1987 年 4 月の JR 発足以降、当時の好景気にも後押しされ、東海道新幹線の輸送量は年々増加に転じ、1987 年度に前年比 103.5%、1988 年度には前年比 113.1%となり、1991 年には JR 発足前と比べて 35%の増加に達した。この時期の「ひかり」自由席の乗車効率は、終日平均で 99%という驚異的な数値を示しており、朝・夕の時間帯は多くのお客様が着席できない状態が続いていた(図)。

このような状況の中、車両増備や設備改良を行いながら、それまで 1 時間当たり 6 本であった「ひかり」の本数を 1989 年 3 月には 7 本へ、1992 年 3 月には 8 本へと拡大した。これに伴い 1 日の列車本数も JR 発足時に比べて 53 本の増となった(図7)。しかし、既に東海道新幹線の輸送力は限界に来ており、その深刻な状況は将来にもわたると予測され、この間、東海道新幹線の抜本的な輸送力増強が大きな課題となってきた。これを踏まえ、将来輸送量に関する諸々の検討を行った結果、将来の新幹線通勤・通学等の需要も鑑み、東海道新幹線は 1 時間当たり 15 本のダイヤ設定が必要として、そのために必要な施策検討の深度化を行った。

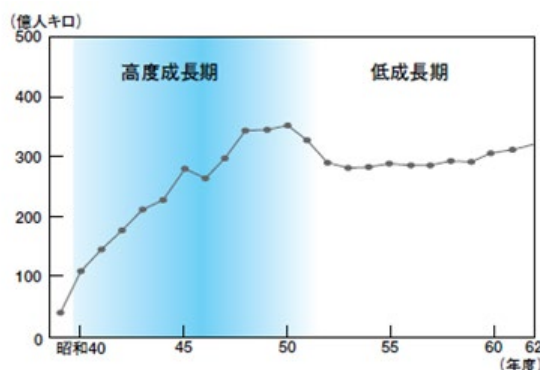


図 4 東海道新幹線輸送量の推移

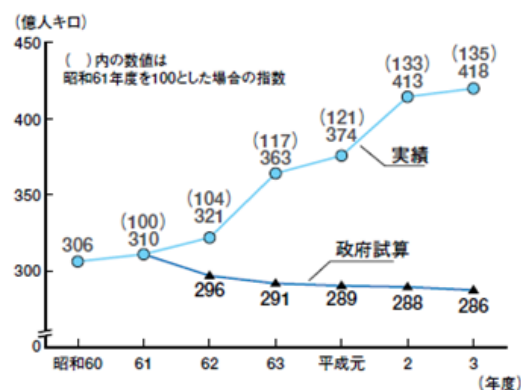


図 5 政府試算と実際の輸送量

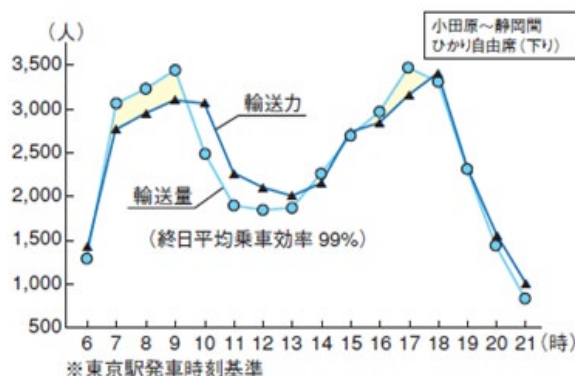


図 6 「ひかり」時間帯別乗車人員・乗車効率 (1989 年 10 月)

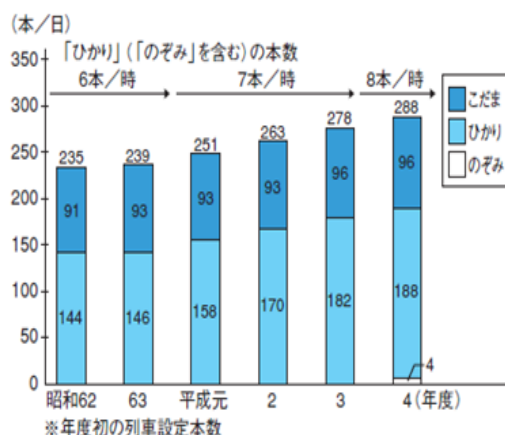


図7 東海道新幹線の列車本数

運行本数を増やすために必要な施策としては、主として車両の増備、電源供給設備の増強、駅・車両基地設備の改良等があるが、このうち駅・車両基地設備の改良に当たっては、特にターミナルとしての東京駅の能力を向

上することが輸送力増強に欠かせない課題であった。1989年3月のダイヤ改正時点では、1時間当たり「ひかり」7本、「こだま」4本の計11本の営業列車を運行していたが(その後、1992年3月に「ひかり」8本、「こだま」3本へのダイヤ改正実施)、同時に東京駅から大井車両基地への回送列車を4本運行する必要がある、輸送能力としては1時間当たり15本の運行が可能であるにもかかわらず、営業列車の運行本数としては11本が限界であった。そのため、1時間当たり15本の列車運行能力を最大限活用するためには、

(ア)大井車両基地への回送線分岐地点以西に、列車の折返し可能なターミナル機能を有する新駅及びこれに直接出入りできる車両基地を設置することが必要であり

(イ)設置箇所としては、在来線との接続も可能である品川が最適であるとの構想がまとまった(図8)。

品川に新駅及び車両基地を設置することは、品川以西における営業列車本数を1時間当たり15本に増発できるという単なる量の拡大にとどまらず、首都圏において東京駅、新横浜駅に次ぐ新たな玄関口ができることになり、東海道新幹線の利便性向上、すなわち質の向上というメリットにもつながる。同時に、東京駅のサブターミナルとしての機能を持たせることで、列車遅延時などの列車ダイヤの安定性・弾力性確保の観点からも大きな効果が得られることから、品川新駅及び車両基地の設置という施策は、東海道新幹線の輸送力増強における最重要施策として位置づけられることとなった。

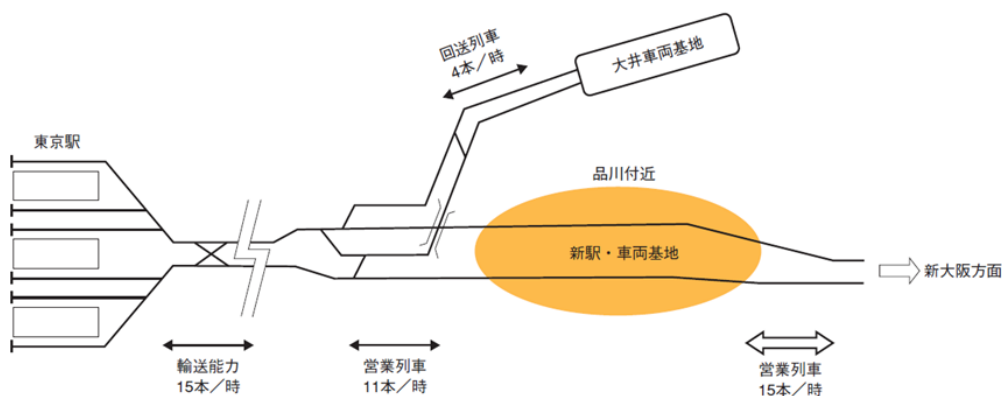


図8 新駅構想と列車設定本数

⑥ 品川駅新設工事の概要

新幹線品川駅の機能としては、列車遅延時の対応も含めて、折返し列車1時間当たり4本以上の設定を可能とし、本線・副本線への支障を少なくするため、駅設備は島式ホーム2面4線(ホーム長410m)、折返し留置線3線を本線が抱き込む形式で、駅部と直列に配置することとされた(図9)。

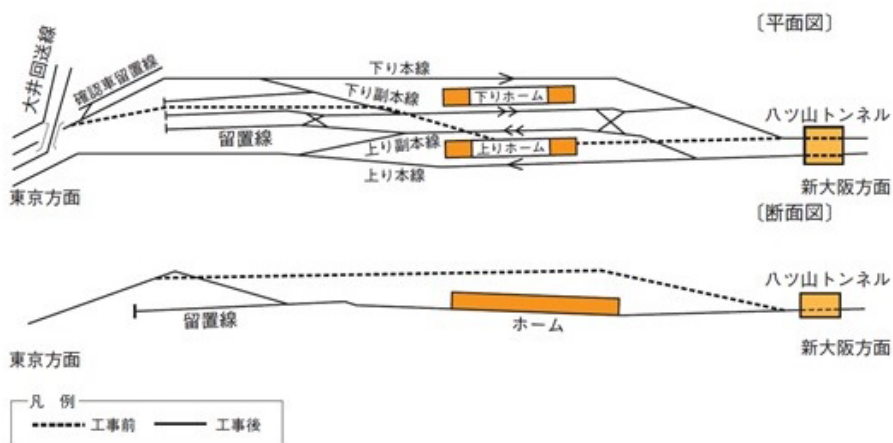


図9 品川駅新設配線略図

⑦ 新幹線品川駅の完成とオール 270km/h 運転の開始

車両がすべて 300 系・700 系の高速車両となり、必要な地上設備の整備も完了した 2003 年 10 月、構想期間を含めれば完成までに 15 年以上の長期にわたるプロジェクトが完遂され、「のぞみ」主体のダイヤへの移行が可能となり、東海道新幹線は飛躍的に輸送サービスが向上した(図 10)。

輸送力増強とスピードアップを設備投資の観点から見ると、本格的に着手した 1989 年度からプロジェクトが完成する 2003 年秋までの 15 年間の設備投資は、総額 7,800 億円に上る。この金額は、例えば整備新幹線として開業した長野新幹線(高崎～長野間)117km の建設費(車両は除く)約 8,300 億円と比較しても、鉄道のリニューアルとしては非常に大規模であったことが分かる。膨大なインフラを必要とする鉄道事業で輸送サービスの改善を図るためには、こうした大規模な設備投資によるハード面の改良が欠かせないが、これを短期間で集中的に整備することは容易ではない。特にこのプロジェクトは、日々の営業運転を続けながらの作業であったため、線路切換工事に代表されるように、安全・安定輸送を確保しながら手順よく着実に工事を進める必要があり、工期が長期化することは避けられない。また車両にしても、必要な編成数(約 120 編成)を、耐用年数を考慮しつつ数編成ずつ投入し、0 系・100 系を 300 系・700 系に置き換えていく息の長い作業が必要であった(図 11)。

そして、車両がすべて 300 系・700 系の高速車両となり、必要な地上設備の整備も完了した 2003 年 10 月に「のぞみ」主体のダイヤへの移行が可能となった(図 12)。このように、鉄道の輸送改善の成果はすべての準備が整った段階で一気に顕在化するという特性を持っており、長期的かつ綿密な計画を策定して取り組んだ成果として、速達性・利便性の高いサービスへのレベルアップにつながっている。

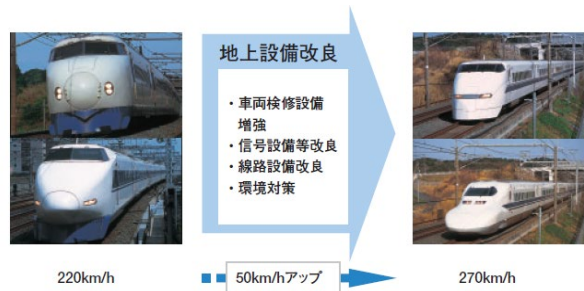


図 10 270km/h 化に向けた地上設備改良

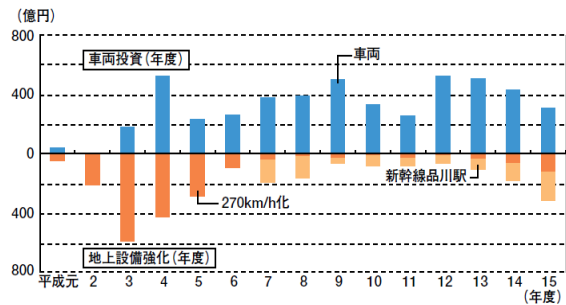


図 11 東海道新幹線の設備投資額推移

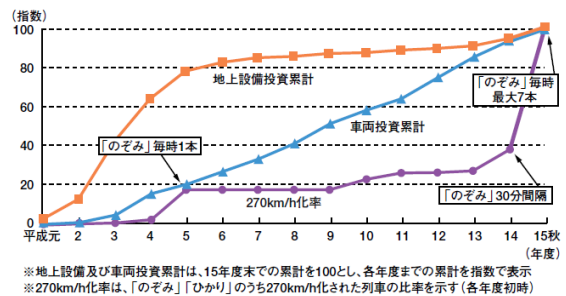


図 12 長期的な施策によるサービスの向上

<参考文献> 東海旅客鉄道株式会社発行:東海旅客鉄道 20 年史, 2007 年 9 月

(3) 超電導リニアの技術開発

リニアモーターカーの技術開発は、東海道新幹線開業 2 年前の 1962 年に国鉄において次世代高速鉄道として研究が開始された。1970 年からは超電導磁気浮上式に絞った高速鉄道の技術開発が本格的に始まった。1972 年には鉄道技術研究所構内で初の浮上走行に成功し、1979 年には宮崎実験線で最高速度 517km/h を記録し、その高速走行の可能性が証明された。

その後、超電導リニアの実用化には各種実験条件を備えた本格的な実験線の建設が必要であったことなどから、宮崎実験線に代わる新実験線建設地として山梨県が選定され、山梨リニア実験線が建設されることとなった。山梨リニア実験線では、JR 東海及び鉄道総合技術研究所により 1997 年から走行試験が開始され、実用化の基盤技術の確立を目指して、技術開発成果の性能検証、高性能確認試験等が実施された。

2013 年 8 月には、山梨リニア実験線の延伸工事が完了し、延長 42.8km での走行試験が開始された(写真 1)。2015 年 4 月には、長距離走行試験で 1 日の走行距離 4,064km を記録したほか、高速域走行試験により時速 603km を記録し、鉄道の世界最高速度を更新しギネス世界記録に認定された。これらの技術開発により、超電導リニアの技術は、2017 年 2 月に「超電導磁気浮上式鉄道技術評価委員会」において「営業線に必要な技術開発は完了」との評価を受けている。

その後、JR 東海では 2020 年 8 月には営業列車の仕様策定に向けて、L0 系改良型試験車(写真 2)の走行試験を開始しており、さらにこれからは高温超電導磁石(図 1)の運用安定性確立や更なる保守の効率化等を目指した技術開発を進めていく計画としているほか、更なる保守の効率化のために、技術革新が著しい AI や機械学習などの ICT 技術等の活用についても検証が進められる予定である。このように超電導リニアの技術開発は着実に進捗してきており、今後さらにブラッシュアップが行われる予定である。

<参考文献> 特別号 リニア中央新幹線とスーパー・メガリージョン構想, 土木施工, 2018 年 10 月号



写真 1 実験線延伸後の出発式



写真 2 L0系改良型試験車

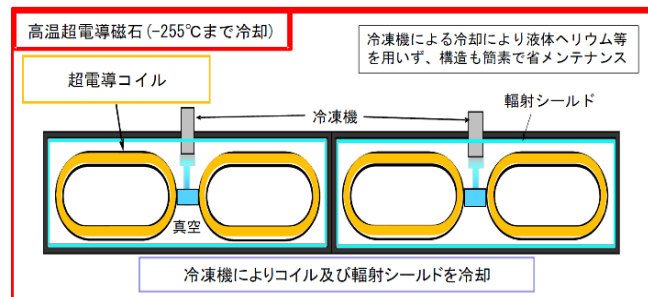


図 1 高温超電導磁石

インフラ体力診断小委員会(第3弾WG)

新幹線WG 主査 金山洋一 (富山大学)

石井雅樹 (東海旅客鉄道)
加藤浩徳 (東京大学)
川島雄一郎 (国土交通省鉄道局)
柴山多佳児 (ウィーン工科大学)
常松伸章 (東日本旅客鉄道)
依田淳一 (鉄道建設・運輸施設整備支援機構)
ヴァンソン藤井由美 (フランス都市政策研究者)

(作業協力)

Ángeles Táuler (スペイン鉄道協会)
何玘 (計量計画研究所)
仮屋崎圭司 (鉄道建設・運輸施設整備支援機構)
神田政幸 (鉄道総合技術研究所)
熊越祐介 (SYSTRA)
Gerog Dissertori (ウィーン工科大学)
坪井洋友 (鉄道総合技術研究所)
David Moncholí i Badillo (IDOM)
Barbara Laa (ウィーン工科大学)
松田康治 (鉄道建設・運輸施設整備支援機構)
Leo Kostka (ウィーン工科大学)