

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信  
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

# 新幹線のさらなる高速化をめざして

新幹線は210km/hの運転を実現することで、当時は斜陽といわれていた鉄道のイメージを大きく変え、高速鉄道という新しい価値を作りました。どこの国でもShinkansenでわかってもらえ、日本が世界に誇れる技術の一つです。しかし、日本は山がちな国土であり、たくさんの人が狭い平地に住む中で高速列車を走らせるので、アメリカやヨーロッパの大平原を走行するのと違い、複雑な問題がたくさんあります。ここでは新幹線の高速化の歴史を簡単に紹介し、高速化の制約条件と今後のさらなる高速化に向けての課題を紹介します。



佐々木 君章

Kimiaki Sasaki

研究開発推進室  
主管研究員

[専門分野] 鉄道車両、  
制御

## はじめに

1964(昭和39)年10月の東海道新幹線の開業以来、新幹線は半世紀にわたって日本の輸送を大動脈として支えています。この間、高速列車としては非常に高密度の運転を行っているにも関わらず、「乗客の死亡事故ゼロ」で、1分を切る平均遅延時間など、安全で信頼性の高い交通機関としての地位を確立してきました(☞参照)。

新幹線は210km/h運転を実現した世界初の高速鉄道として、当時は斜陽といわれていた鉄道のイメージを変え、世界的な再評価とその後の鉄道の発展のきっかけとなりました。本稿ではその高速化の歴史をたどり、さらなる高速化に向けた課題と取り組みを紹介します。

## 新幹線高速化の道のり

新幹線の開業の日、私は小学生でしたが、日本全体を包みこんだ高揚感が今でも覚えています。☒1に新幹線の高速化の歩みを示します。新幹線の開業から20年ほどは、高速化よりも輸送力増強や営業路線の延伸などに力がそそがれ、最高速度は向上されませんでした。

一方で、1960年代中ごろから航空路線の大衆化が始り、航空機は徐々に新幹線のライバルになっていきました。また、海外においては1981年にフランスのTGV(パリーリヨン間)が開業し、260km/hの営業運転を行うようになりました。

このような状況から新幹線でも速度向上の必要性が増し、高速化に向けた

### ☞ 新幹線の車検

自動車と同じように、新幹線にも車検があります。自動車の車検と違い、新幹線では決められた時間か走行距離に達する早い方で行われます。一番徹底的に行われるのが全般検査で、車両各部を分解して行い、最近の新幹線車両では120万kmまたは3年以内の周期になっています。安全走行に重要な台車周りを徹底的に検査するのが台車検査で、周期は60万kmまたは1年半です。ものすごく長いようですが、新幹線は月に6万km位走りますから、あっという間に期限が来てしまいます。期限の超過は許されないので、検査を行う時期は車両ごとに綿密に計画されます。新幹線車両の信頼性・安全性はこうして守られています。

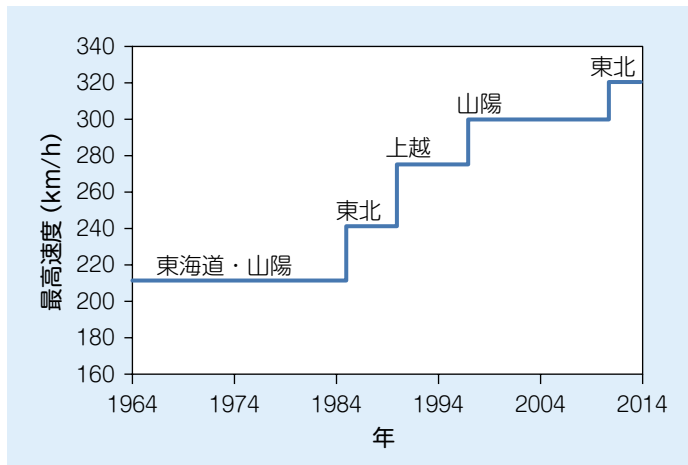


図1 新幹線の営業最高速度の推移

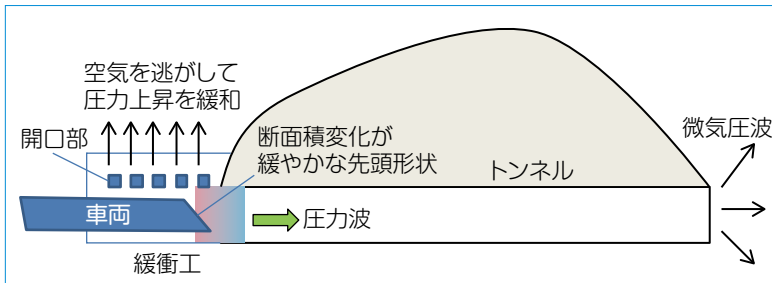


図2 トンネル微気圧波の発生と抑制方策

さまざまな技術開発が行われるようになりました。

しかし、日本では高速化を阻む厳しい条件があり、これを解決しながら進めなければならない新幹線の高速化は簡単な問題ではありませんでした。この制約の筆頭は騒音、地盤振動、トンネル微気圧波などの環境問題です。

1975(昭和50)年7月に定められた騒音に関する環境基準(環境庁告示)を表1に示します。住宅地70dB、商業地75dBと基準値が定められ、さらに達成目標期間も定められました。日本では人口密集地を走行することが多いため、ヨーロッパ(250km/hで87dB、300km/hで91dB)と比べてかなり厳しい制限となっています。また、速度による緩和がない点も厳しくなっ

ています。

新幹線の地盤振動については、公的な規制値は設定されていませんが、1976(昭和51)年3月に環境庁長官から運輸大臣あてに出された勧告の指針値70dBが目安となっています。

これらの問題を解決するため、防音壁の設置・高性能化やパンタグラフの低騒音化、車体の平滑化、車両の軽量化など、さまざまな対策が取られています。パンタグラフでは低騒音の形状にすると高速時の性能が下がるなど、高速化と低騒音化への方策が相反する場合も多く、一つ一つ効果を確かめながら改善が図られてきました。

また、山陽新幹線以降に建設された路線はトンネルが多く、トンネル微気圧波や車両の空力動揺などのトンネル

表1 新幹線騒音の環境基準

地域の類型	基準値
I (住宅地)	70dB以下
II (I以外の商工業地)	75dB以下

※午前6時から午後12時までの新幹線騒音に適用  
(昭和50年7月 環境庁告示)

走行特有の問題が、速度向上に伴って顕著になりました。

トンネル微気圧波は、図2のように車両が高速でトンネルに進入する時に、トンネル内の空気が圧縮されて発生した圧力波が、トンネルを抜けるときに微気圧波となって、大きな音を発生する現象です。

トンネル突入時に時間当たりの圧力増加が大きいと大きな微気圧波になることが分かっています。このため、最近の車両は鼻を長くして、圧力の立ち上がりを緩やかにしています。また、トンネル入口に緩衝工という構造物を付けて、自動車のマフラーのように圧力の立ち上がりを緩和する対策が行われています。

高速で走行する車両にはトンネル内で横揺れの原因となる強い空気力が働きます。これは車両表面を流れる空気が渦を作り、周期的に生成と剥離を繰り返すために起こるもので、おおよそ表面流速の2乗に比例して大きくなるとされています。トンネル内では車両表面の流速が大きくなるため、この力が増大し、最後尾車両やパンタグラフのある車両では乗り心地を悪化させる大きな要因となります。

走行する車両を揺れさせる力の伝搬

経路は図3のように2つあり、一つは線路の不整から台車を経由して車体を揺らすもの、もう一つは空力動揺のように車体に対して直接加わるものです。

前者による車体の揺れを小さくするには台車と車体間のばね係数や抵抗を小さくして、台車から車体に伝わりやすくする方法が有効です。一方、後者による車体の揺れを小さくするには台車-車体間の抵抗力を大きくして、台車に踏ん張らせる必要があります。このように両者に対する対策は正反対ですが、高速になるほど両方の力が大きくなるので、普通の防振装置では対応が難しくなってきます。

このため、新幹線では台車-車体間に働く力を制御して動揺を小さくする振動制御装置が開発され、高速にもかかわらず良好な乗り心地を提供できるようになりました。図3に制御の一番簡単な例を示しました。車体の側に動かない壁があるものと仮定して、車体と壁の間にダンパーを設置すると、このダンパーは台車の動きと無関係なので台車からの振動が車体に伝わりません。したがって、いくらでも抵抗力の大きいダンパーを使うことができます。

現実にはこのような壁やダンパーを作るのは不可能ですが、車体の加速度を測ると、計算上このダンパーの発生力が求められます。この力を車体-台車間で発生してやると車体の振動を良く抑えることができます。このような制御を「スカイフック制御」と言います。

また、鉄道車両は行きの先頭車両が帰りには最後尾車両になりますが、先頭で良い形状が最後尾でも良いとは限りません。したがって先頭車両の形状はトンネル微気圧波、騒音、空力動揺など、たくさんの要求を高い水準で満足するよう、大きな努力のもとに決定されています。

新幹線の高速化は総合的な技術の結

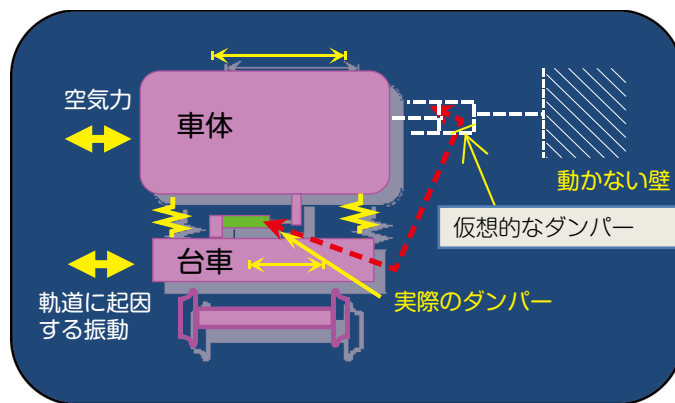


図3 走行中の車両に加わる振動と振動制御の例

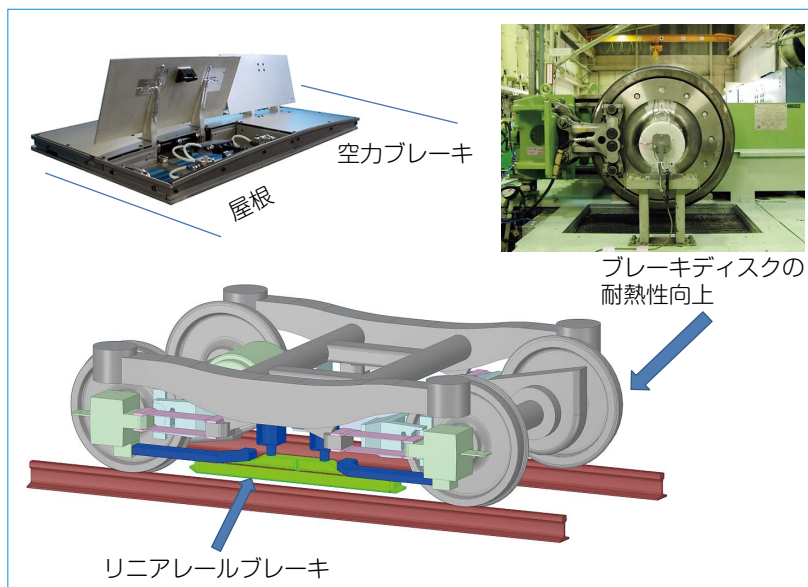


図4 新しいブレーキシステムの開発

集であり、上記のほかにも電動機の交流化、車体軽量化、中空車軸、車体傾斜など、ここで列挙できないほどさまざまな技術開発が行われてきました。

### 新幹線高速化における研究課題

鉄道の高速化にはさまざまな技術の集積が必要になりますが、新幹線のさらなる高速化を進めていくためには、特に次の3つの課題の克服について研究を進めて行く必要があると考えています。

- (1) 環境問題
- (2) ブレーキシステム
- (3) 集電システム

#### (1) 環境問題

環境問題への対応は、すでに乾いた雑巾を絞る様相を呈しており、困難な

課題ですが避けて通れない問題です。

#### ①騒音

空力音の強さは速度の6乗に比例して増大するとされていますので、主要な発生源であるパンタグラフや台車周りの低騒音化が重要な課題です。

パンタグラフについては、低騒音化に向けた形状がこれまでも提案されていますが、低騒音のパンタグラフ形状は気流による揚力の変動で、押し上げ力が変化しやすく、高速時の集電性能が悪くなりやすい欠点があります。このため、低騒音で揚力変動の小さいパンタグラフの開発が課題です。

台車周りの騒音では台車カバーの設置により、ある程度効果があることが分かっていますが、メンテナンスの邪魔にならない台車カバーの構造や、床

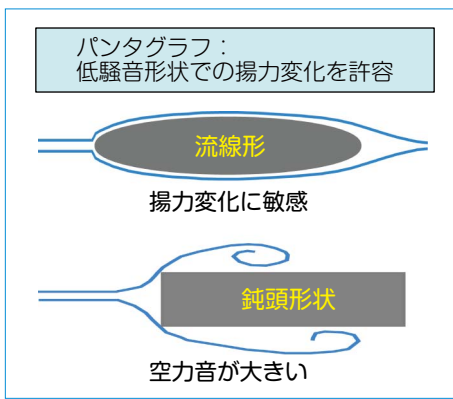


図5 パンタグラフの低騒音化

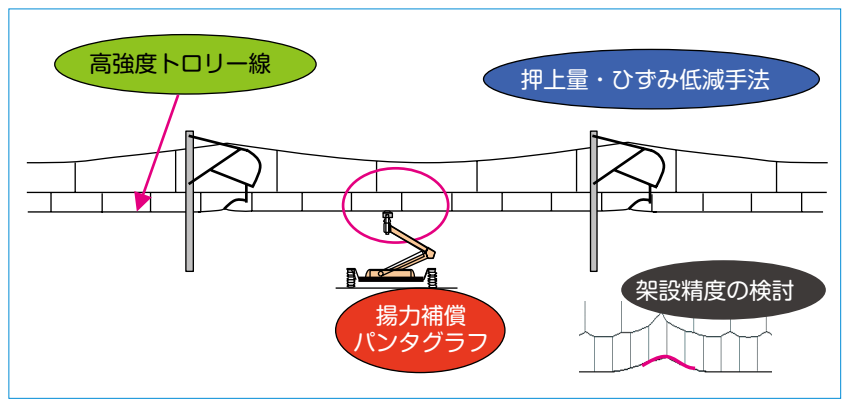


図6 高速化に対応した集電システム

下の空気流の解析の深度化などが必要と考えられます。

また、地上設備ではより効果的な防音壁の構造や防振スラブ軌道などの開発を進めていきたいと考えています。

### ②トンネル微気圧波

車両のトンネル突入速度が大きくなると、より長い緩衝工や鼻の長い先頭車両形状が必要になってきますが、これらを大きく延長することはコストや営業上の理由から困難な状況です。このため、まず微気圧波の挙動を高精度に予測するシミュレーション手法を開発し、有効な対策をコンピューター上で探索する計画です。

### (2) ブレーキシステム

ブレーキ性能が同じだとすると、停止までの走行距離は速度の2乗に比例します。在来線における停止距離の定め(600m以下)のようなものは、現在のところ新幹線にはありませんが、地震などによる緊急事態を想定すると新幹線の速度向上にはブレーキ性能の向上が必要です。

図4に、ブレーキシステムに関して現在検討している項目を示します。

車両の運動エネルギーは車両の重さと速度の2乗に比例するので、速度が上がるとブレーキが吸収しなければならないエネルギーが急速に増えていきます。地震の時などには周辺の列車も一斉にブレーキをかけると思われますから回生ブレーキは期待できず、自車でのこのエネルギーを吸収しなければ

りません。

また、高速域ではレールと車輪間の摩擦係数も低下するため、滑走しやすくなります。これらの点から

- ①高耐熱性のブレーキディスク
- ②高精度な滑走制御
- ③非粘着ブレーキ(空力ブレーキ、レールブレーキなど)

などを総合的に組み合わせて、性能の向上を図っていきます。

### (3) 集電システム

高速走行時に車両に安定した電力が供給されなければ高速化は不可能です。図5に示すように、高速走行中はパンタグラフに強い気流が当たり、パンタグラフを押し上げる揚力が働きます。パンタグラフを翼のような断面にするなど騒音の抑制に効果があるのは分かっていますが、パンタグラフに働く揚力の変化も大きくなるため、架線を押上げる力が変化し、離線を起こしやすくなるなどの弊害が出ます。鈍頭形状はこの反対に揚力変化は抑えられますが、空力騒音が大きくなる欠点があり、高速域での集電性能と低騒音性が相反する傾向があります。

速度向上にはこれらを両方満たすパンタグラフの開発が必要です。一つの方法として、パンタグラフ形状は低騒音に特化したものを開発し、空力的な揚力変動を制御などの別の方法で補償して集電性能を向上する方法が考えられます。

図6に高速化に対応する集電システム

の開発イメージを示します。

パンタグラフがトロリー線を押し上げて走行すると、その変位は波動としてトロリー線を伝わっていきますが、波動が伝わっていく速度(波動伝播速度)より車両の方が速く走ると、パンタグラフやトロリー線に大きな力が加わり、壊れてしまう可能性があります。波動伝播速度はトロリー線の張力と単位長さあたりの重さで決まりますので、車両が高速で走行するためには、架線の張力を高めて、架線の波動伝播速度を大きくする必要があります。このため、高強度のトロリー線の開発など、素材面での検討も行っていく必要があります。

また、現状でも架線とパンタグラフ(すり板)は毎秒90m近い速度でこすれあっており、信頼性を保つためには架線の架設精度、架線押し上げ量・ひずみの低減、耐摩耗性の向上など地道な研究が欠かせません。

### おわりに

高速化は技術の集大成としての側面があり、ここで述べた項目以外にもさまざまな技術開発を組み合わせ、一歩一歩着実に進めて行く必要があります。また、高速化のために開発された技術は多くの場合、より低速の用途であっても信頼性の向上などの波及効果を持ちます。鉄道総研では平成27年度から中期的な課題としてこの問題に取り組んでいく計画です。RRR