

新幹線に関する研究開発の概要

Outline of Research and Development on Shinkansen

東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター
先端鉄道システム開発センター 上席研究員

川上 修



Research and development on Shinkansen at our company puts special emphasis on increasing operating speed. We also aim to employ our research and development activities to bring about improvements in all areas of Shinkansen operation, utilizing lessons learned in day-to-day operations, and anticipating future issues in efficiency and services.

This special issue introduces a wide range of content in recent research and development.

1. はじめに

当社は今年2017年4月に会社設立から30周年を迎えます。当社の新幹線はこの間、ネットワーク拡大の歴史を積み重ねてきました。1982年開業の東北・上越新幹線は1991年の東京・上野間の延伸開業により起点を東京とし、山形新幹線の開業・その後の新庄への延伸、秋田新幹線の開業、北陸新幹線（高崎・長野間）の開業およびその後の金沢延伸開業に伴うJR西日本との相互乗入れ、東北新幹線の盛岡・八戸間および八戸・新青森間の延伸開業と北海道新幹線開業に伴うJR北海道との相互乗入れを経て、大きくネットワークを広げてきました(図1)。



図1 ネットワーク拡大の歴史

なかでも在来線区間を走行する山形新幹線と秋田新幹線には、ミニサイズの新幹線を運行させて、それぞれ福島駅、盛岡駅でフルサイズの新幹線と分割・併合を行うという独特な運行形態を構成することで、乗換えを不要とするサービスを提供しています。また、上越新幹線の越後湯沢駅と、新幹線駅直結のスキー場・ガーラ湯沢間を結んで、リゾート開発と一体となった新幹線輸送も実現してきました。このように

当社管内の新幹線は多種多様な運行区間、運行形態であることから、いくつかの特徴をもっています。

当社において新幹線に関する研究開発は、高速化をめざした研究を大きな柱として進めてきました。加えて、これら特徴から生じる課題も含めて、新幹線のレベルアップをめざし、日常の運行の中で生じてきた課題の解決や、効率性やサービスレベルをより向上させるために幅広い技術領域において研究開発に取り組んでいます。

本号では昨今行ってきたこれら研究開発の内容を紹介いたします。

2. 当社の新幹線ネットワークの特徴と技術課題

東京を起点に5方面に伸びる当社の新幹線ネットワークには、技術的な課題につながるいくつかの特徴があります。これらについて解説します。

2.1 長距離移動の時分短縮

5方面のネットワークの中で一番直通距離の長い東京・新函館北斗間は800kmを超え、現在最速達の「はやぶさ」号はこの間を4時間2分で結んでいます。目的地までの所要時間、費用、利便性などにより交通機関を選択されるお客さまに鉄道をご利用いただくためには、長距離になればなるほど選択されやすい航空機に対抗して、所要時間を短縮することが新幹線にとっての大きな課題です。そこで2002年以来、営業最高速度360km/hを技術目標として高速化の技術開発を進めてきました。また高速化と合わせてご利用中、快適に過ごしていただくために、乗り心地の向上や車内の快適性向上にも取り組んでいます。これまでの研究開発を通じて、車両の革新とともに、従来のグリーン車よりもワンランク上のサービスの提供も展開してきました(図2)。



図2 E7系グランクラス(JR東日本プレス資料より)

高速化の技術的な課題としてはまず、走行により生じる騒音を低減する対策があげられます。騒音には発生源により種類がありますが、中でも速度の6~8乗に比例して音響パワーが大きくなる空力騒音に対しては、過去の新幹線高速試験電車(FASTECH)でも低騒音型のパンタグラフやパンタグラフ遮音板、全周ホロなどを開発してきました。

360km/hでの営業運転の実現をめざし、さらなる低騒音化を図るには、従来の実験等による試行錯誤的な手法だけでなく、より効率的に開発を進めるために、シミュレーションにより音源の発生機構を把握して対策を検討する手法が求められます。そこで今回紹介する「数値シミュレーションを用いたパンタグラフの空力騒音の低減」の取組みでは、走行時のパンタグラフ周辺の音圧レベルを数値シミュレーションで予測し、風洞試験との比較によりシミュレーションの精度が妥当であることを確認しました。シミュレーションを用いることで、騒音発生源を細かく見極め、対策形状の検討をしたり、形状変更の効果をシミュレーションで評価したりすることが可能となりました。

高速化により沿線環境へ及ぼす影響として前述の騒音のほか、列車がトンネルに突入する際にトンネル内に発生する圧力波が出口部で放射され(トンネル微気圧波)、発破音などを生じる問題があります。車両の先頭形状が同じであれば速度が上がるほどトンネル微気圧波は大きくなるため、速度向上に向けた車両における対策として、車両断面積を小さくしたり、先頭部から徐々に大きくなる断面積を急激に変化させないような形状を開発したりしてきました。地上側での対策としては、トンネル進入側の坑口にトンネルよりも大きい断面積をもつフード(トンネル緩衝工)を設置してきています。この緩衝工には、圧縮された空気の一部を外部へ解放することにより同じ長さでもより性能を向上させるためのスリットと呼ばれる窓が開いています(図3)。

微気圧波対策としては有益なスリットですが、このスリットからは騒音が漏れるため、トンネル出入口付近の騒音レベルを悪化させる要因となりえます。そこで今回紹介する「緩衝工スリットの走行音対策工の開発」では、スリットの微気圧波対策としての性能は維持しつつ、騒音低減を図る機構を



図3 トンネル緩衝工スリット(本号特集論文より)

ぞして開発を行いました。6種類の形状・大きさの装置を提案し、模型によりその効果の確認試験を行いました。

次に、高速走行時の乗り心地に対する課題です。

車両の乗り心地については、乗客が受ける左右・上下・前後方向の加速度が大きく影響します。そこで車両性能の確認においては、車体の振動加速度の測定値に対し、振動の周波数に応じて人が不快と感じる度合いを重みづけして評価していますが、近年、乗り心地において問題となる車両の振動の周波数は以前よりも高い範囲になってきています。

車両を新たに開発する際、乗り心地を左右する車体の振動が、実際の車両を作って走行させて初めてわかるのでは、乗り心地に関する進化は遅いものとなってしまいます。そこで、走行時の車両の振動を事前に精度よくシミュレーションできれば、設計時点でさまざまな検討が可能となると考えられます。今回紹介する「設計時の乗り心地向上検討に用いる車両振動解析モデルの構築」では、今後の車両開発に向け、高周波振動も加味した振動シミュレーションを行うことをめざし、シミュレーションモデルの構築を行いました。走行中の車両振動を再現するために、構体・内装・床下機器のモデルを組み合わせた車体モデルと台車のモデルを組み合わせて1両の車両モデルを作り、軌道や走行条件のデータによって車両モデルを走らせた走行モデルにより、走行中の車体振動をシミュレーション可能としました。これによるシミュレーションデータと実測データと比較することでシミュレーション精度の検証を行いました。

このように速度向上による空気の振動(騒音、微気圧波等)や車両の振動の悪影響をいかにコントロールするかが、新幹線の高速化における大きなテーマとなっています。

2.2 豪雪地帯と新在直通運転

東京を起点として5方面にのびるネットワークは途中駅で枝分かれしています。線路は枝分かれしても、お客さまには乗換えをしていただくなくてもよいよう、直通化を図っていますが、これら5方面のほとんどの列車が東京を始発駅もしくは終着駅とするため、東京・大宮間には各方面からの列車が集中します。現在、東京駅からは最短4分間隔で列車が発車しており、方面ごとに単独編成を走行させたのでは、東京・

大宮間がボトルネックとなって、必要な列車本数を設定することができません。そのため、山形新幹線「つばさ」号は東北新幹線「やまびこ」号と、秋田新幹線「こまち」号は東北新幹線「はやぶさ」号と連結し、1本の列車として運転することで東京・大宮間の列車本数を減らし、必要な列車本数の設定を可能にしました。

「つばさ」号は福島・新庄間、「こまち」号は盛岡・秋田間で在来線区間を走行するため、新幹線区間とは異なる地上設備の規格にも合った車両であることが必要になります。これはサイズだけでなく、信号システムなど新幹線と在来線で異なる機能については両方に対応しなければなりません。そのため、小さなサイズの車体に多くの機器や機能を搭載しなければならないことも課題です。走行性能としても、方向性の異なる新幹線区間での高速安定性能と在来線区間での曲線通過性能とを両立させるといった難しい課題もあります。

加えてこれら在来線区間は冬に降雪の多い地域です。雪の多い在来線区間を走った新在直通車両には、雪の巻き上げなどにより車両への雪の付着が発生します(図4)。付着場所は特に、車体がくぼんでいる台車のまわりです。この雪が新幹線区間で高速走行中に落下すると、地上設備などの損傷を引き起こします。

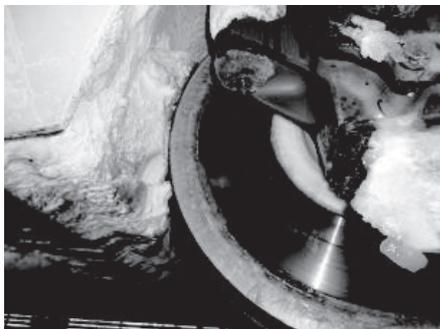


図4 端部カバーへの着雪状況(本号特集論文より)

高速走行をする新幹線区間へ雪を持ち込まないために、盛岡駅では人手による除雪も行っていますが、車両側の対策として着雪させないためのヒータを以前から開発してきました。しかしこの開発品をつけたE6系でも降雪量が多いと依然として着雪するため、さらなる改良開発に取り組みました。今回紹介する「融雪ヒータ付台車端部カバーの改良」では、ヒータの熱量をふやすのではなく、カバーを改良することで熱を有効に使うことができるものを検討・試作し、その効果を確認しました。

走行中の落雪による地上設備の損傷例としては、信号設備の地上子があげられます(図5)。

今回「新幹線位置補正用地上子の高速化対応の基礎研究」では、車両に補正用の位置情報を伝送するためレール間に設置している地上子の開発について紹介します。さらなる高速化への対応に向け、高速走行で車両が地上子の上を通過する一瞬の車上・地上間データ伝送を確実にするた

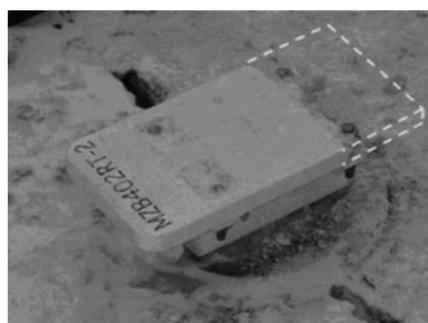


図5 破損した地上子(本号特集論文より)

めの開発が中心ですが、車両に付着した雪が走行中に落ちた場合の衝撃が高速化により大きくなるリスクを回避するために、コンクリート製のスラブの上面から地上子までの高さを低くすることを合わせて検討しました。これに伴い、スラブ面と地上子との距離が近くなることによってスラブ内の鉄筋が地上子・車上子間の無線伝送品質に与える影響を調査しました。

降雪の多い新幹線区間には、積雪を妨げるために建設当初から散水消雪設備を設けています。スプリンクラーから散水する水は、加熱機により10℃前後に昇温を行っており、そのための燃料(灯油)消費量が莫大となることから、ランニングコストやCO₂排出量を低減させることが課題となります。今回紹介する「散水消雪設備の省エネ化に向けた基礎調査」では、散水時の高架橋の各部位での温度を測定し、加熱された熱量がどこで消費されているか等を確認しました。その結果、今後、散水消雪設備の運転制御を省エネ化するうえで参考となる知見を得ることができました。

雪と共に、車両は幅広い気温に対応していかなければなりません。車両には潤滑剤を必要とする機器が多くあり、特に走行に関係する台車関係の機器においてはその重要性が高まります。この機械潤滑の油においても、さらなる性能向上をめざしています。今回紹介する「新幹線用低温対応ギヤ油の開発」では、さらなる低温に対応しつつ高速化を想定し、かつコストアップを抑制することも目標にしました。性能試験等の結果が良好であり、耐久性についても現在検証を続けています。

このように、冬の厳しい気候条件への対応が技術課題として数多くあります。

3. 効率性やサービスレベルの向上にむけて

ここまで運行区間や運行形態に起因する技術課題について述べてきました。このほかにも、効率性の向上やサービスレベルの向上をめざした研究開発について紹介します。

3.1 車両機器のメンテナンスの効率化

列車がトンネルを通過する際に耳ツン現象などの不快感を覚えないよう、この急激な圧力変動を緩和するために新幹線

車両は室内の空気を閉じ込めた構造（気密構造）となっています。一方で、車内の空気は換気が必要であるため、換気装置により強制的に換気を行っています。

換気装置の空気取り入れ口には塵埃を防ぐためのフィルタが装備されていますが、使用を続けていくとこれが目詰まりして車内圧力の低下などの不具合を引き起こすため、定期的なメンテナンスが必要となっています。今回紹介する「新幹線車両用サイクロン式集塵装置の開発」では、このフィルタのメンテナンスの軽減をめざして、昨今家庭掃除機でも多くみられるようになったサイクロン式（図6）による集塵装置を開発しました。

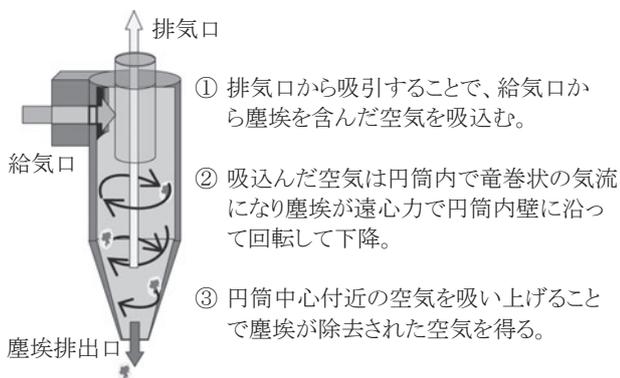


図6 一般的なサイクロン式集塵装置の仕組み(本号特集論文より)

3.2 老朽設備のスリム化更新

設備更新への対応も課題となってきています。土木構造物については2031年からの大規模改修の計画に入りましたが、パンタグラフを通じて車両に電気を供給する電車線についても設備更新時期を迎え、更新方法についての検討が進められています。

高速走行をする新幹線の電車線構造においては、従来3本の線で構成されるコンパウンドカタナリ（図7）が標準でしたが、線材の進化や車両のパンタグラフ搭載数の減少といった状況の変化により、2本で構成される簡素なシンプルカタナリも選択が可能となりました。今回紹介する「新幹線電車線のスリム化（シンプル化）」の取組みでは、更新時でのシンプルカタナリ化をめざして線材の選定や、シミュレーションなど机上検討を行いました。さらに320km/hでの走行試験を行っ

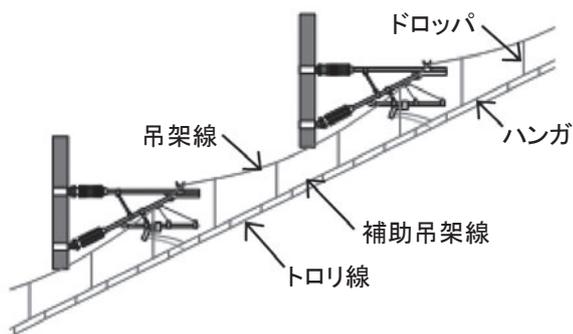


図7 コンパウンドカタナリ(本号特集論文より)

た結果、シミュレーションと同様な結果を得るなど、性能上問題ないことを確認しています。更新工事の容易化と、設備の簡素化による保守軽減効果が期待される技術であり、さらに開発を進めています。

3.3 詳細な輸送ニーズの把握

高速・大量輸送を担う新幹線の列車ダイヤは、年に1度程度行われるダイヤ改正や、季節ごとの臨時列車の設定など、お客さまのニーズを踏まえて計画されています。1日あたりの輸送能力だけでなく、時間帯によるニーズも踏まえた計画とするために、列車ごとのご利用実績は重要なデータとなります。

これには車掌があらかじめ決められた区間でお客さまの最大人数をカウントする乗車人員報告（通称・ノリホ）を用いて、輸送断面での人数を把握してきました。

一方で、当社の新幹線駅には新幹線の自動改札機が導入されており、ここで乗車券類の有効・無効の判断を行う際に読み取るデータは保存し、指定席分については車内改札を省略するための新幹線車内改札システムで活用されています。そこで、各駅の自動改札機データを集約し、分析することで、乗車駅・降車駅およびご利用の列車を見極める手法の研究が2002年度から行われてきました。このデータを用いた手法による推計は、お客さまがどこからどこまで乗車したかというデータを得ることができ、ノリホより精緻な分析を可能とするものでした。

今回紹介する「新幹線乗車人員シミュレータの推計精度向上に関する研究」では、過去の手法では反映できなかった運休や遅延の実績も把握して反映させるなど、精度向上のために活用するデータを増やしてアルゴリズムを改良し、実測データとの比較検証を行いました。今後さらに外部データとの組み合わせにより将来予測を行ったり、お客さまへの情報提供などにも活用したりする等、データ活用によるサービス向上の可能性は広がっています。

4. おわりに

今回、当社における新幹線に関する研究開発の一部をご紹介しました。研究開発にご協力いただいている関係研究機関やメーカ等の皆さまに感謝申し上げるとともに、今後とも連携を図りながらオープンイノベーションを推進していきたいと考えています。

今年2017年は、3月22日に開業20周年を迎える秋田新幹線を皮切りに東北・上越新幹線開業35周年など、当社の新幹線の周年記念にあたります。研究開発部門として、これまで築いてきた技術にさらに磨きをかけると共に、これからも価値ある移動手段として新幹線を末永くお客さまにご利用いただけるよう、新たな可能性を追求し、次世代の新幹線に向けた研究開発を進めていきたいと考えています。