

沿線環境に適合する 新幹線の高速化



齋藤 実俊
Sanetoshi Saito

前 環境工学研究部長
(現 環境工学研究部 主管研究員)

はじめに

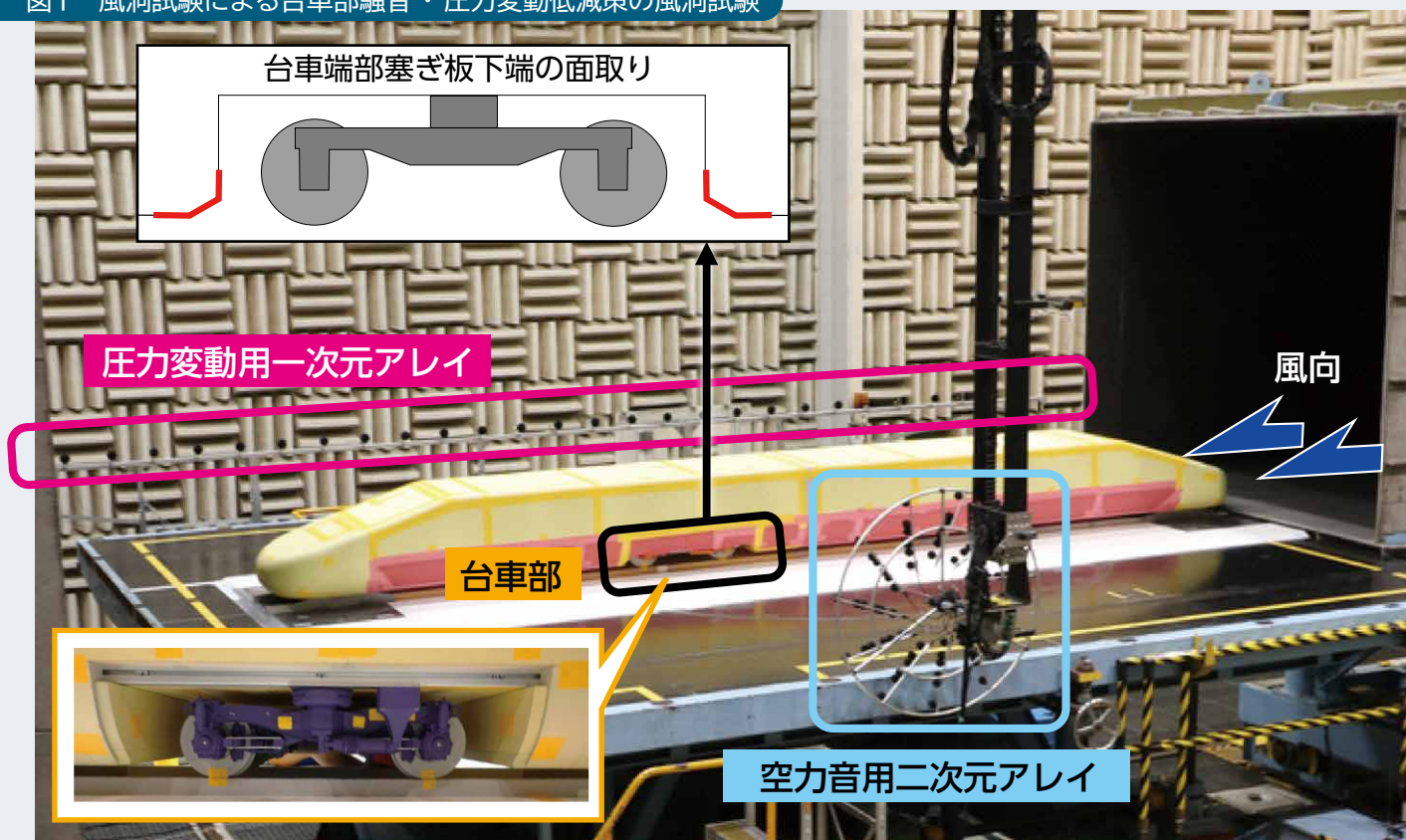
鉄道の利便性向上の方策のひとつとして高速化による到達時間の短縮があげられますが、新幹線沿線の多くは人口密集地域であることから、高速化に際しては騒音などの沿線環境に配慮する必要があります。また、近年は、北陸地方や北海道など積雪地域にも沿線が伸びており、雪に対する安全性の確保も重要な課題となってい

ます。そこで、大課題「沿線環境に適合する新幹線の高速化」では、高速化に伴う沿線環境問題や積雪地域での安全・安定輸送問題について予測評価手法や低減対策に関する研究開発に取り組みました。

沿線騒音対策

新幹線の走行時に発生する騒音は沿線環境に

図1 風洞試験による台車部騒音・圧力変動低減策の風洞試験



おける重要な課題のひとつです。高速走行時の騒音・圧力変動は空力音の寄与が大部分を占めますので、空力音を低減させることが重要となります。また、低減対策の開発や効果確認のためには正確な音源探査と騒音予測が求められます。本研究では高速列車を対象とし、騒音低減策、音源探査法、予測手法の開発を行いました。

台車部騒音・圧力変動の低減策

台車部から発生する空力音には耳に聞こえる騒音成分と、耳には聞こえないが沿線家屋の建具などのガタツキの原因となる低周波数域の圧力変動があります。これまでも風洞試験などを活用して低減策を提案してきました¹⁾が、本研究では車両装束への影響を小さくした方法として、台車格納部の端部塞ぎ板の下端面取りに

追従性能

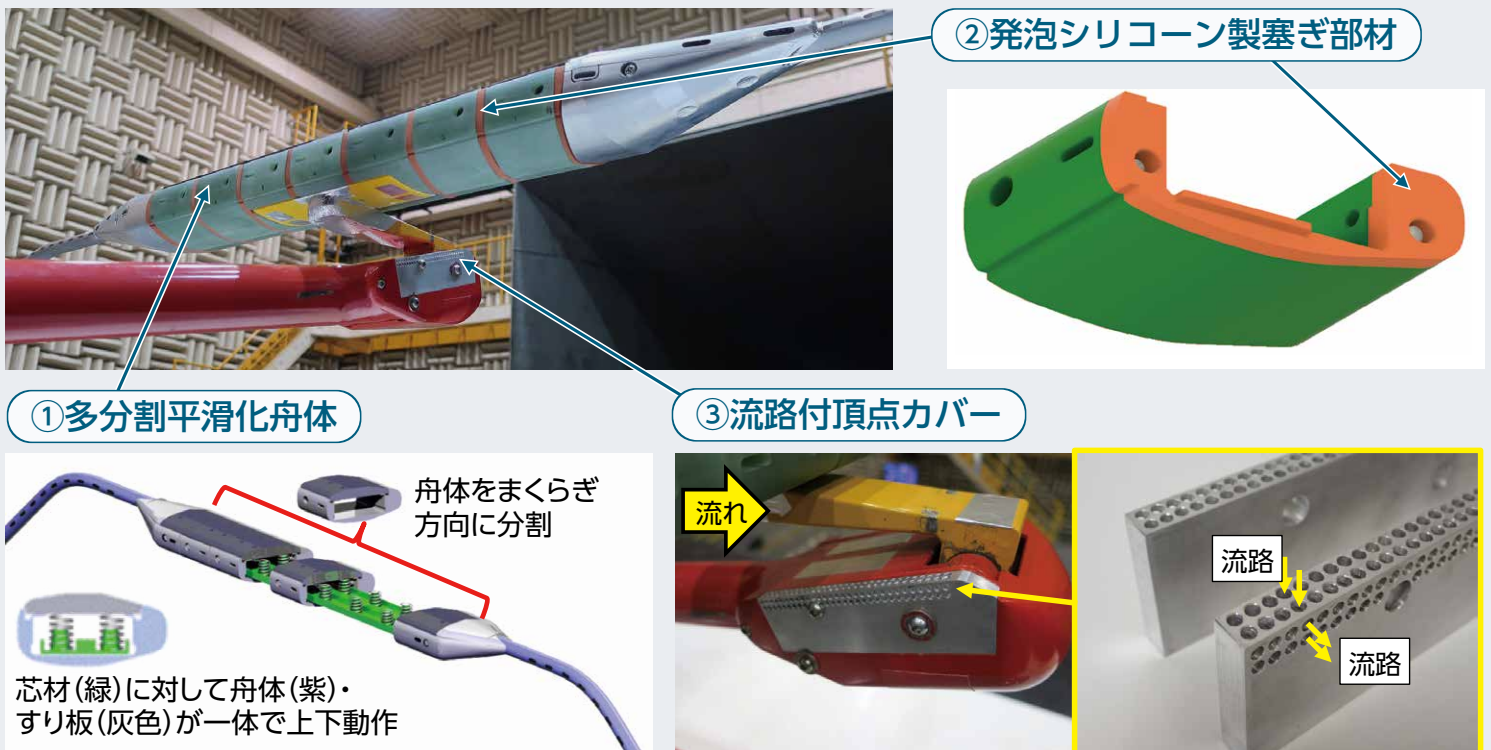
架線の動きに合わせてパンタグラフがどれだけ動作できるかを表す性能です。

よる低減効果について風洞試験により評価しました(図1)。その結果、面取り角度などを適正化することで台車部からの騒音・圧力変動をともに1 dB以上低減できることを確認しました。

パンタグラフ空力音の低減策

新幹線の主要音源のひとつであるパンタグラフから発生する空力音の低減方法についてはこれまでも多くの研究が行われていますが、その際には集電性能にも留意する必要があります。本研究では過去に提案した低減策を改良し、さらなる空力音の低減と集電性能の両立を目指しました²⁾。具体的には多分割平滑化舟体の寸法を適正(短縮)化(図2①)し、空力音の発生源となる舟体要素間の隙間を発泡シリコン製の柔軟部材によって塞ぐ構造(図2②)にすることで、低騒音性と追従性能[®]を両立しています。また、舟支え部上面側の角部に多数の穴(流路)を設けたカバー(流路付き頂点カバー)を取り付けることにより角部で生じる渦を弱め、

図2 パンタグラフの空力音低減対策



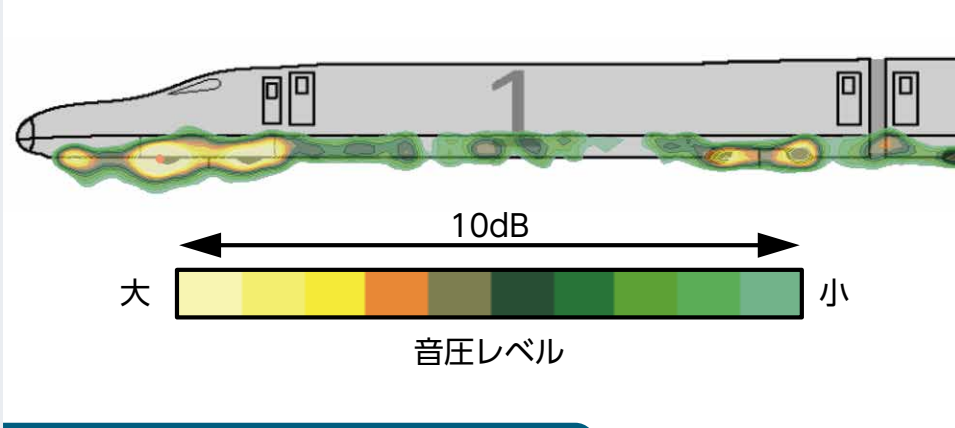


図3 二次元マイクロホンアレイと音源分布の例

空力音低減を図りました (図2③)。これらの対策により、良好な集電性能を確保しつつ、現用のパンタグラフに対し3dBの空力音低減効果が得られることを確認しました。

沿線騒音予測手法

低減策による効果を正確に評価するためには騒音が車両のどこからどの程度の大きさで発生し、どのように観測点に伝わるのかを正確に予測する必要があります³⁾。そこで、多数のマイクロホンを円状に配置した二次元マイクロホンアレイ (図3) による測定結果と、音響模型実験などにより決定した騒音の伝搬特性^{④)} (図4) を組み合わせた、沿線騒音予測手法を開発しました。本手法は車両の音源分布を二次元的かつ高解像度で可視化でき、その詳細な音源分布から観測点における騒音がどこからどの程度発生しているかを算

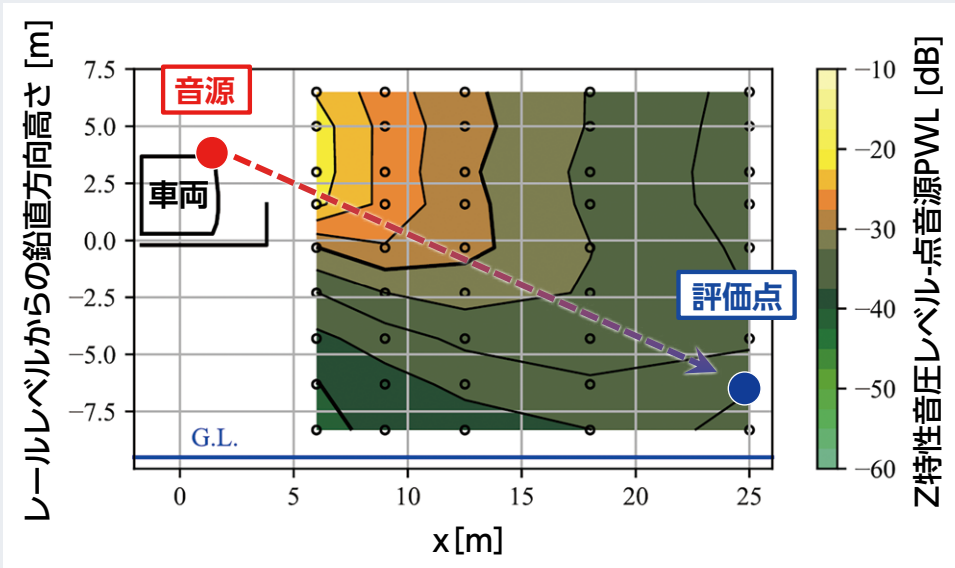
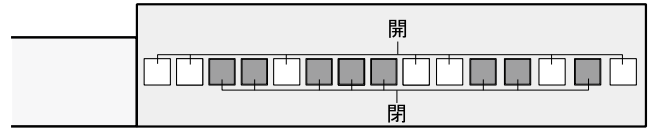
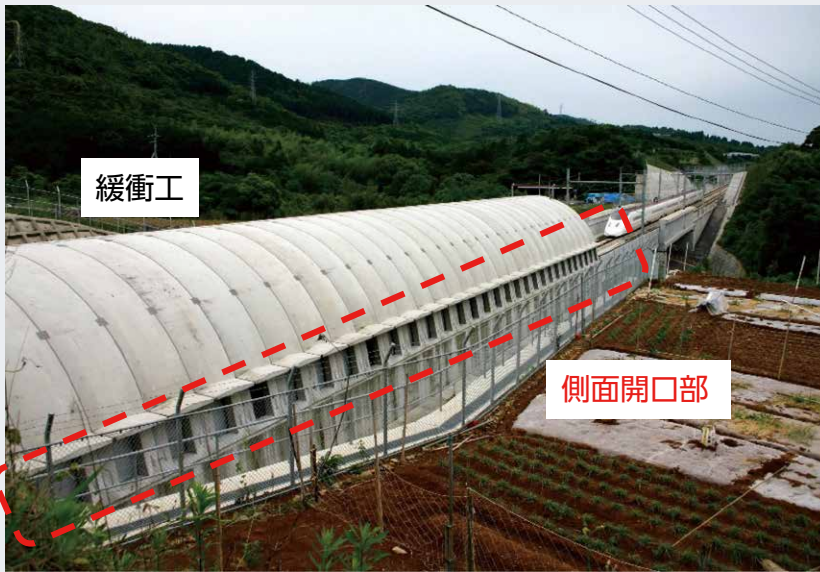


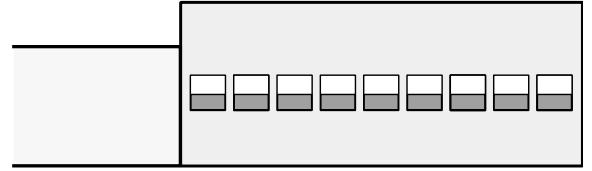
図4 音源から騒音評価点までの伝達関数の分布

④ 騒音の伝搬特性

観測点での音圧レベルから音源の音響パワーレベルを周波数バンドごとに差し引いたもので、車両から観測点間における音の伝搬特性(減衰量)を表します。



(a)開口部の開閉パターンによる調整



(b)開口部の開口率の一斉変化による調整

①緩衝工と側面開口部

②側面開口部の調整方法

図5 トンネル緩衝工と側面開口部の調整方法

定できます。今回開発した台車部とパンタグラフに対する騒音低減策を施した場合、防音壁の嵩上げ^{かさ}などの地上側対策と組み合わせることで、360km/h走行時において沿線騒音を現状程度に維持できることが試算されました。

トンネル微気圧波対策

列車が高速でトンネルに突入した時にトンネル内に発生する圧縮波^⑤が反対側の坑口に到達すると外部にパルス状の圧力波（微気圧波）が放射され、発破音が生じたり建具を揺らすといった問題を引き起こすことがあります。本研究では、トンネル入口にトンネルより大きいフード状の構造物（緩衝工）（図5）を設置する地上側対策と、列車先頭部の延伸・形状の適正化による車両側対策について性能向上を図り、微気圧波対策の低コスト化を目指しました。

緩衝工の性能向上

緩衝工の性能向上策として、側面開口部の効率的な最適配置決定手法と、断面積の2段階化を提案しました⁴⁾。緩衝工には側面に多数の窓

（開口部）があり（図5①）、性能を十分に発揮するためにはその配置を適正に調整する必要があります。現在は図5②(a)のように開口部の開閉パターンを数値計算や模型実験によって試行錯誤的に調整していますが、開口部が多数ある場合、全ての開閉パターンの中から最適配置を探索することは非常に困難です。そこで、本研究では、全開口部の開口率を一斉に調整する方法（図5②(b)）を試みました。数値計算や模型実験によって、この手法を用いることで最適な開口率の決定が数回の試行錯誤で可能であり、微気圧波低減性能も従来と同程度あることが実証されました。また、音響理論^⑥による解析により、先端部分の断面積をさらに大きくした断

⑤ 圧縮波

空気中を伝わる圧力波のうち、通過後に通過地点の圧力や密度が増加する波を圧縮波といいます。逆に減少する波を膨張波といいます。

⑥ 音響理論

ここで用いられている音響理論では列車先頭部や緩衝工と微気圧波の関係を簡単な式で表すことができ、物理的にわかりやすい指針を得ることができます。

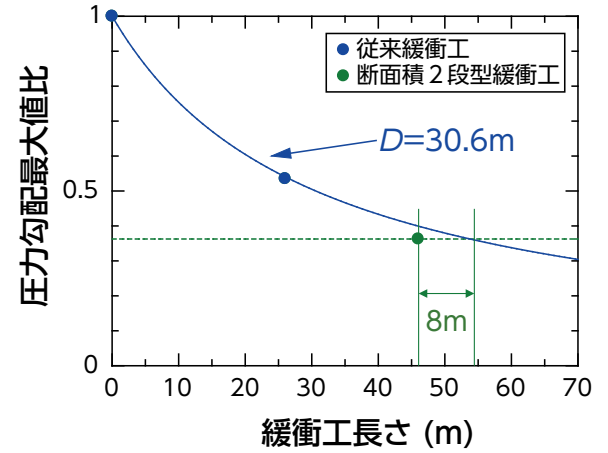
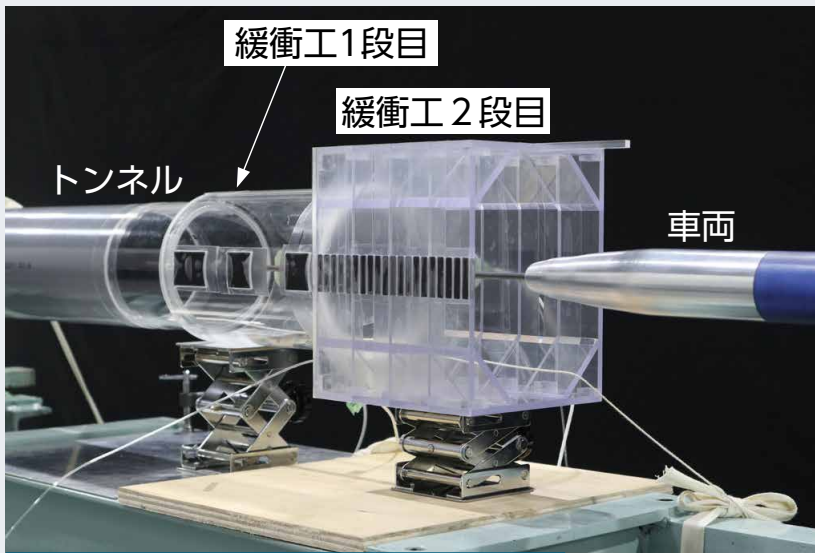


図6 断面積2段型緩衝工と全長の短縮効果

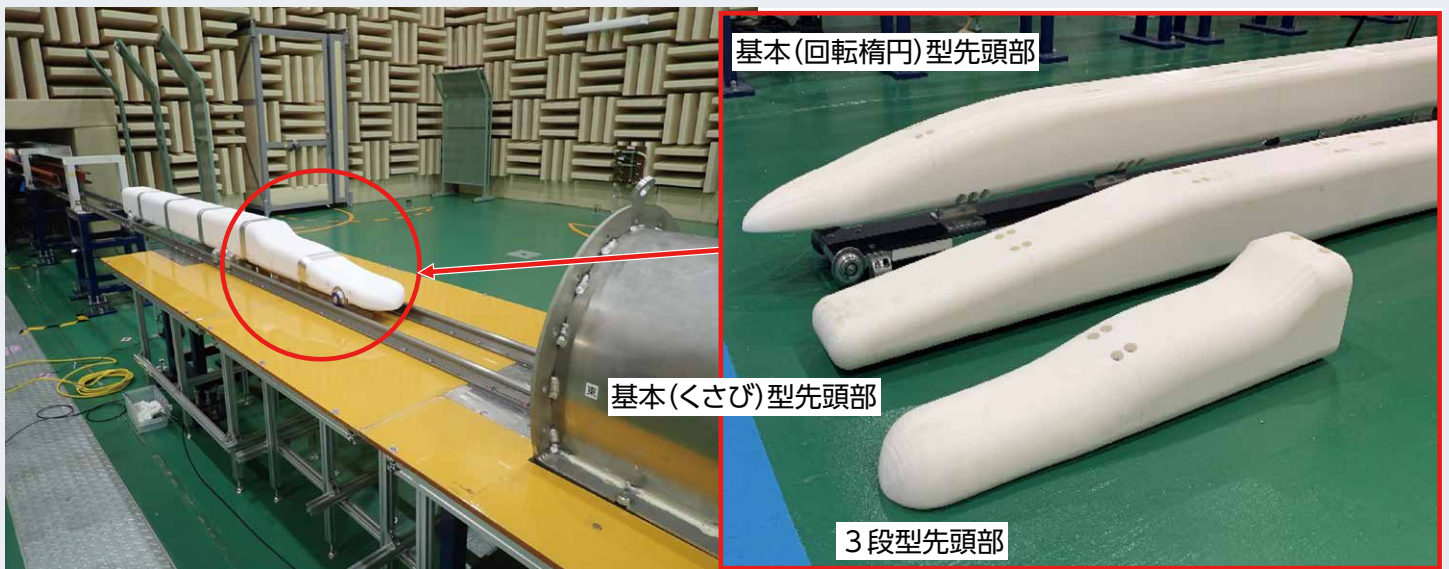


図7 3段型先頭部の微気圧波低減性能確認試験

面積2段型緩衝工にすることで微気圧波低減性能が向上することがわかりました。その効果を模型実験によって評価し、従来の緩衝工より短くできることを確認しました(図6)。

車両先頭部の性能向上

従来の新幹線先頭部は、先端部分の断面積変化率を大きくし、中間部以降ではほぼ一定の変化率になっています。近年、音響理論による解析によって、15m程度の長い先頭部の場合、先端部のほかに中間部分でも断面積を変化させ

た方(3段型先頭部)が微気圧波低減効果の高いことがわかりました⁵⁾。この知見をもとに、本研究では具体的な先頭部形状について3次元数値シミュレーションによる性能評価を行うとともに、車両模型走行装置を用いた実験手法の開発を進めています(図7)。

本研究で提案したこれらの地上側対策・車両側対策を組み合わせることで、速度向上時の微気圧波対策の低コスト化が図れます。

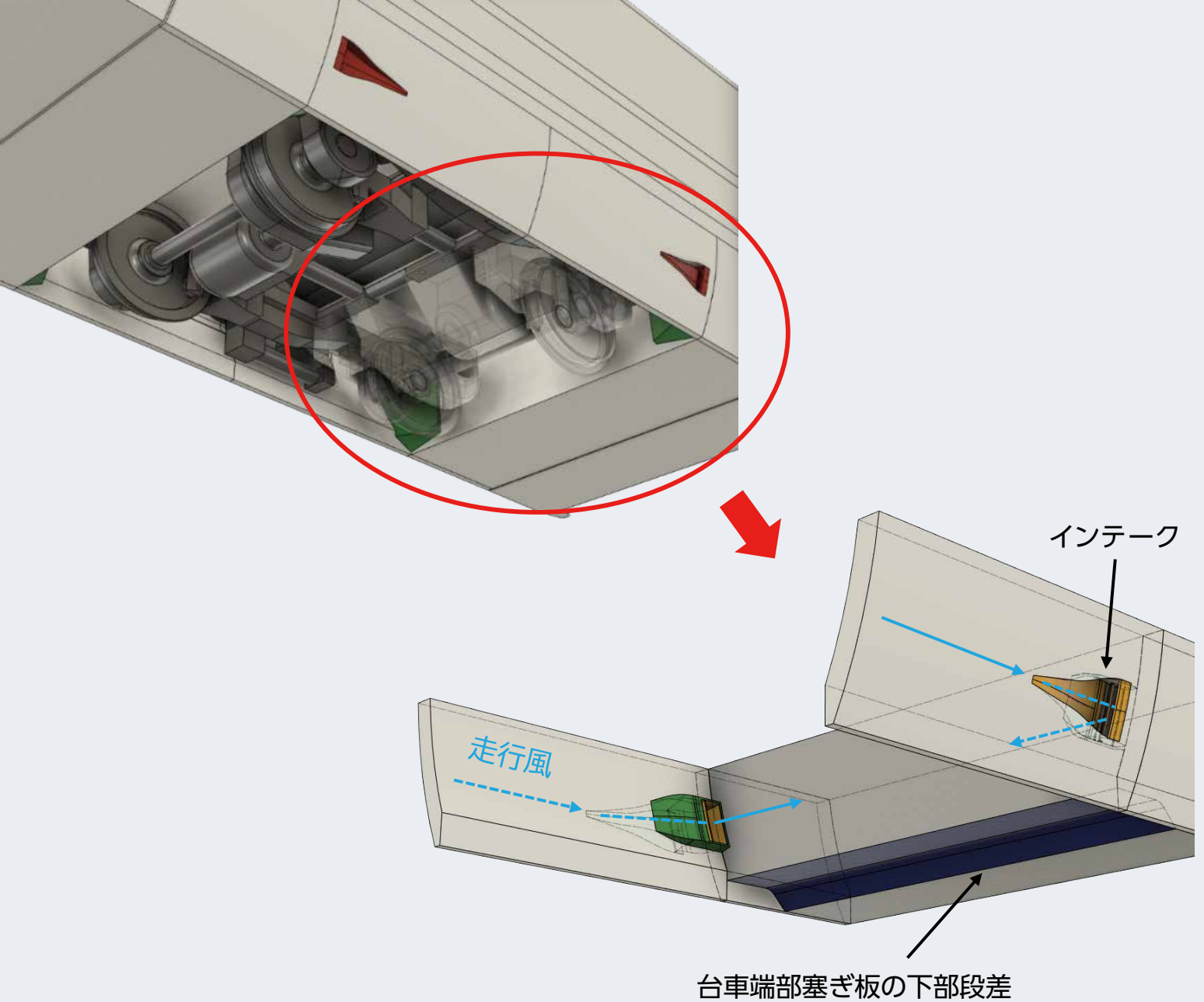


図8 走行風を利用した台車部着雪抑制策

台車部着雪抑制策・着落雪リスク評価

新幹線が積雪区間を走行すると車輪回転や列車風で舞き上げた雪が台車部に付着します。付着した雪が気温の上昇(温暖地域やトンネル内)や振動などで塊のまま落下すると、地上設備や車両に衝突し、被害を発生させることがあります。そのため着雪量が一定以上生じた場合は途中駅で車両の融雪作業を行うなどの対策が実施されていますが、非常に多くの労力が必要となります。そこで、より効果的・効率的な雪への対策として、台車部への着雪抑制策および落雪に

よる被害リスクの評価手法の開発を行いました。

台車部着雪抑制策

台車部への着雪抑制策として、特に着雪が成長しやすい台車後方の端部塞ぎ板を対象に、走行風を利用した手法を検討しました。本手法は走行中の車両側面に生じる高速の空気の流れ(走行風)を台車内部に取り込み端部塞ぎ板へ吹き出す給気口(着雪対策用インテーク)⁶⁾と、端部塞ぎ板下部に段差を設けるもの(図8)です。インテークによって端部塞ぎ板の表面の流速を

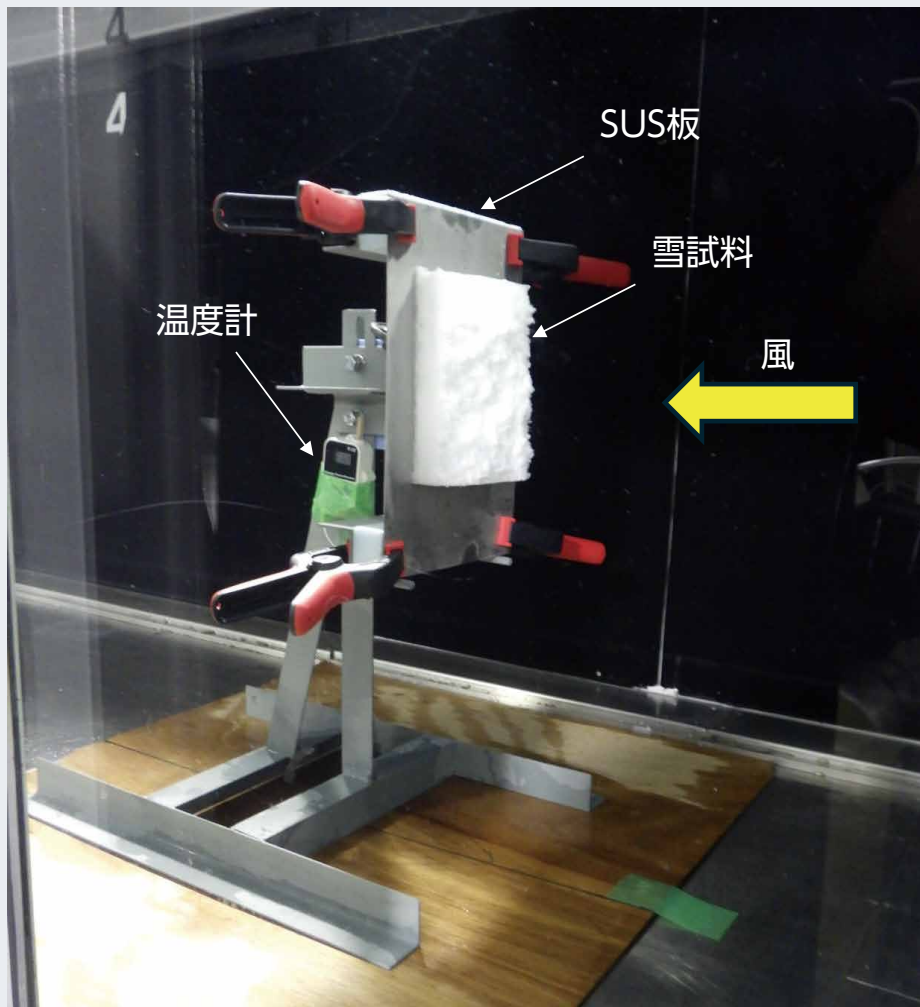


図9 雪風洞による落融雪試験

増速させることで着雪量を抑制し、さらに、インテークによる走行風が到達しにくい塞ぎ板下部に段差を設け、最下部を斜めにする事で雪の衝突角度を大きくして着雪を抑え、かつ、台車空間内への雪の流入量を減らすことを目指します。模型実験などによって本手法の効果を確認したところ、端部塞ぎ板への着雪量を半減できる見込みを得ました。走行中は常に走行風が無動力で得られるため、本手法の効果は低コストで維持できる特長があります。現在、これらの対策案についてJR東日本により現車試験による性能確認試験が進められています。

着落雪リスク評価

雪に対する安全性確保のためには着雪量抑制策だけでなく、落雪による被害を正確に推定し、駅での融雪作業の要否の決定や設備点検を効率的に行うことが重要です。これまでに鉄道総研では沿線の気象情報をもとに台車部での着雪量と落雪位置を推定する手法（着落雪推定手法）の開発を行ってきました。本研究では、落融雪試験（図9）によってトンネル等の温暖な環境下における落雪と表面融雪を再現するモデルを構築し⁷⁾、先に開発した着落雪推定手法に組み込むことで落雪位置の予測精度の向上を図りました。さらに、設備の損傷記録を分析することで落雪によるリスクを評価し、着落雪推定手法を

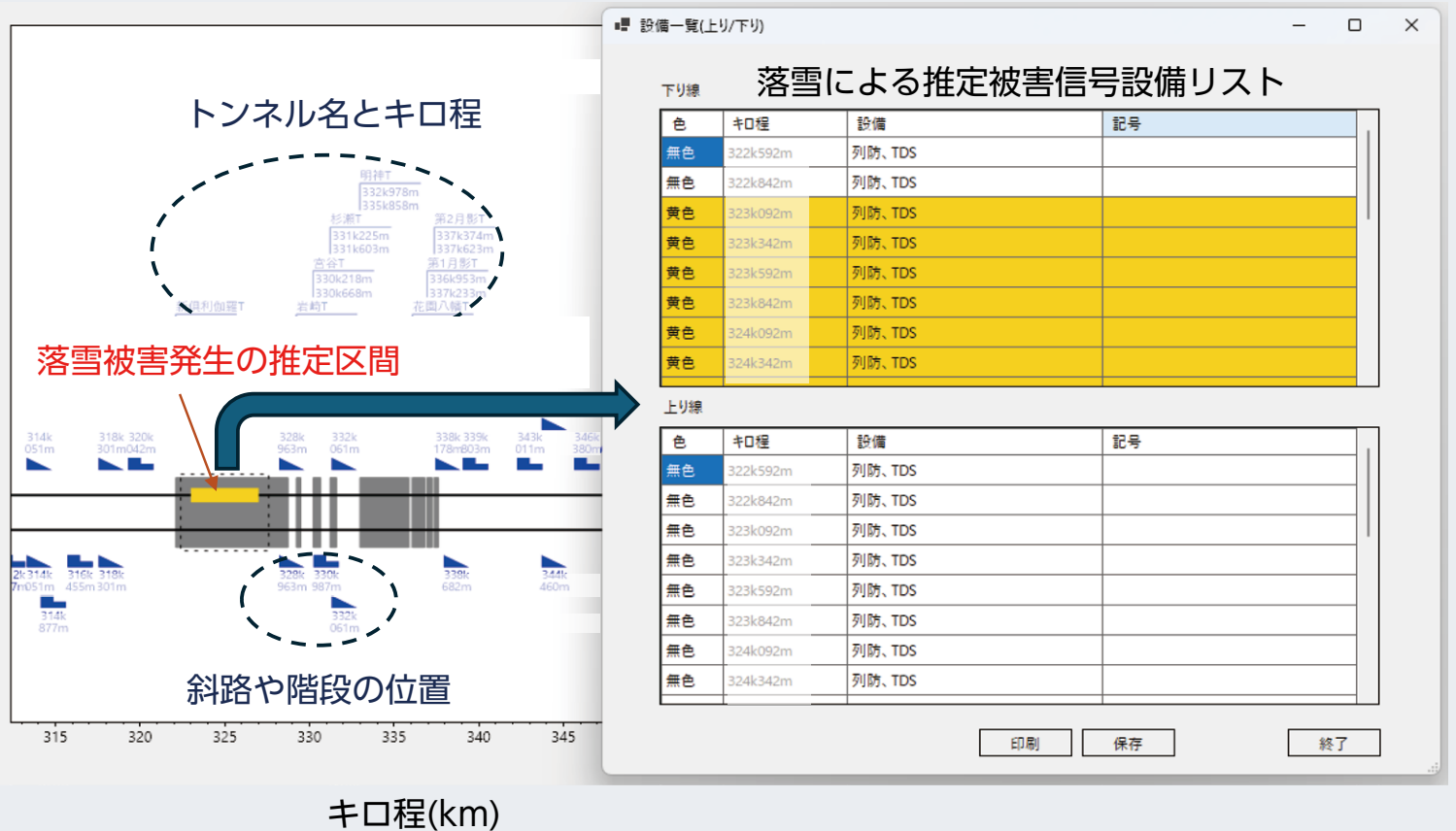


図10 落雪被害推定表示ツールの入力画面と着雪伸長量の計算例

コア技術とした落雪被害推定表示ツールとして整備しました(図10)。本ツールを活用することで駅での融雪作業や設備点検作業などの要否判断を支援し、作業の効率化が期待できます。

おわりに

本研究で提案した様々な低減対策方法の実用化のためには、車両ぎ装やメンテナンス性との整合などさらなる検討が必要です。引き続き、本研究で得られた高精度な予測方法を活用しながら、より実現性の高い対策方法の提案を目指して研究開発を継続する予定です。

なお、本記事で紹介した成果の一部は、DB Systemtechnik(ドイツ鉄道システム技術会

社)、DLR(ドイツ航空宇宙センター)、防災科学技術研究所との共同研究により得られたものです。RRR

文献

- 1) 宇田東樹, 阿久津真理子, 兔内龍也: 台車から発生する空気を低減する, RRR, Vol.81, No.2, pp.14-19, 2024
- 2) 光用剛, 天野佑基, 阿部巧: 静かなパンタグラフを実現する, RRR, Vol.81, No.2, pp.20-25, 2024
- 3) 小方幸恵, 宇田東樹: 新幹線の沿線騒音を予測する, RRR, Vol.81, No.1, pp.32-37, 2024
- 4) 福田傑, 宮地徳蔵, 齊藤実俊: トンネル緩衝工の微気圧波低減性能を向上する, RRR, Vol.78, No.11, pp.8-11, 2021
- 5) 宮地徳蔵, 菊地勝浩, 大久保秀彦: 高速列車の先頭形状を多段化してトンネル微気圧波を低減する, RRR, Vol.78, No.11, pp.4-7, 2021
- 6) 高見創, 新木悠斗: 空気を利用した車両の着雪対策, RRR, Vol.80, No.6, pp.20-25, 2023
- 7) 鎌田慈, 辻混樹, 高橋大介: 鉄道車両からの落雪現象を模擬した落雪実験とモデルの作成, 鉄道総研報告, Vol.38, No.1, pp.9-15, 2024