

台車から発生する空力音を低減する



宇田 東樹
Toki Uda
環境工学研究部
騒音解析研究室長



阿久津 真理子
Mariko Akutsu
環境工学研究部
騒音解析研究室
副主任研究員



兎内 龍也
Tatsuya Tonai
環境工学研究部
騒音解析研究室
研究員

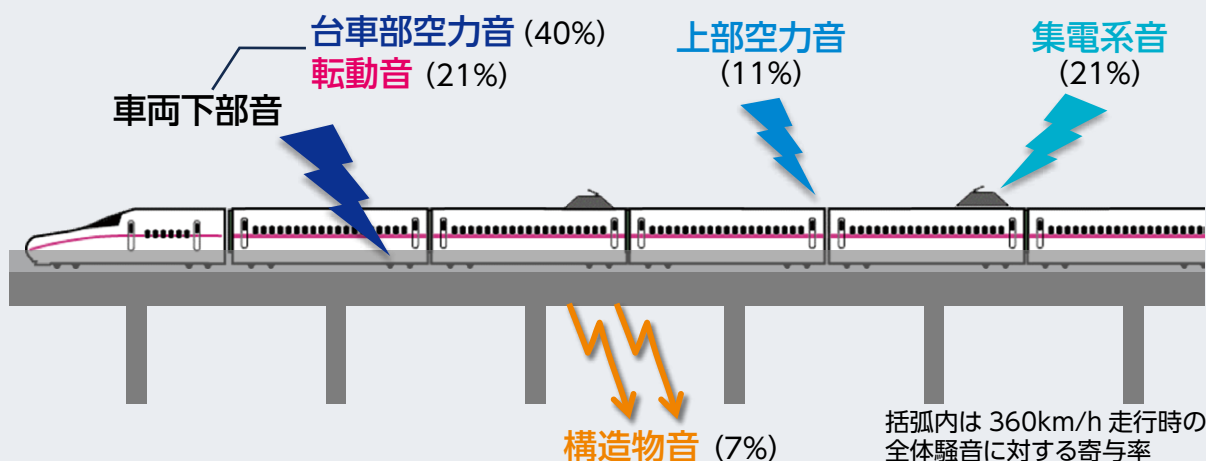
はじめに

新幹線は沿線の環境負荷が小さいモビリティであると同時に、営業最高速度320km/hの高速走行により目的地に早く到達できる点が大きな魅力です。代表的な沿線環境の課題として、騒音・トンネル微気圧波・地盤振動などがあります。これらのうち、特に騒音については厳しい環境基準をクリアしなければならないため、より静かな新幹線の実現に向けて、技術革新

を継続していく必要があります。このような静かな新幹線を実現するためには、新たな防音壁の開発などといった構造物側の騒音対策と同時に、車両の低騒音化が欠かせません。

図1に新幹線車両走行時の騒音発生状況を部位別に示します。同図中の括弧内の数字は、全体騒音に対する寄与率を意味しています¹⁾。これより、新幹線車両の大きな騒音源は、集電系（パンタグラフ）と車両下部（台車）であること

図1 新幹線車両走行時の騒音発生状況



沿線騒音の発生源	各騒音発生源の説明
①車両下部音	台車付近から発生する空力音, 転動音
②集電系音	パンタグラフから発生する空力音・スパーク音
③上部空力音	車間部を含む車両上部から発生する空力音
④構造物音	列車走行時の振動に起因して、高架橋などから放射される固体音

がわかります。したがって、全体騒音に対する寄与の大きいパンタグラフや台車から発生する騒音を重点的に減らしていくことが重要です。ここでは列車走行時に台車から発生する風切り音(空力音)に関する研究開発を紹介します。なお、パンタグラフについては本誌の特集記事「静かなパンタグラフを実現する」をご参照ください。

音源別の速度依存性

図1では、発生部位別に騒音を分けましたが、音源の性質ごとには大きく「固体音」と「空力音」に分類できます。固体音は、車輪とレールが接触し、両者が振動することで放射される転動音や列車通過時の加振力が高架橋などに伝わって構造物から放射される構造物音が相当します。これらの固体音は図2に示すように走行速度の2~3乗に比例して増加します。一方、空力音は、列車や航空機などの物体が高速で移動する際に近くの空気が乱されて生じる風切り音を指し、物体の振動ではなく、空気の動きによる空気力学的な要因で生じます。空力音は、走行速度の6乗に比例して急激に増大する性質をもつため、新幹線車両が300km/h程度より高速で走行する際には空力音を下げることが必要不可欠です。

台車部空力音の対策と抑制効果 対策による台車部空力音の抑制効果

台車部空力音を抑制する対策として、図3に示す「デフレクター」「隅部丸み付け」を考案し、その効果を大型低騒音風洞²⁾において検証しました。デフレクターは、三角形の部材を台車

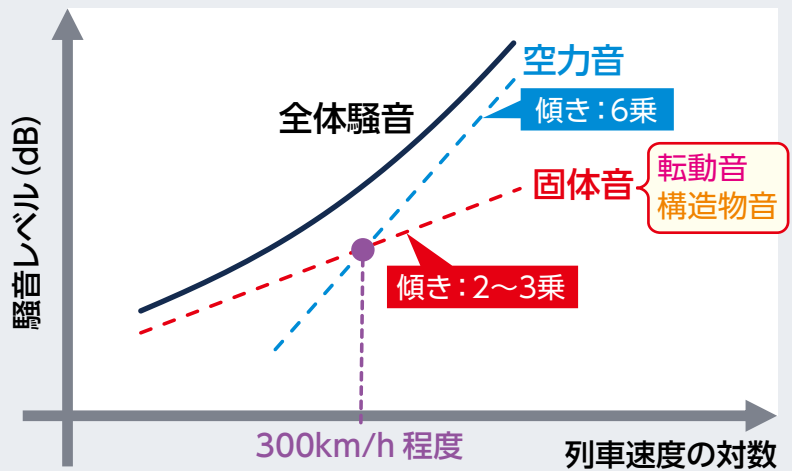


図2 音源別の速度依存性

図3 台車部空力音に対する対策



大型低騒音風洞

空力音の調査には風洞試験が有効なツールとなります。風洞とは、送風機で人工的に作り出した高速の気流を列車の縮尺模型などに当てて、車両に働く空気抵抗などの空気力あるいは空力音を精緻に測定することのできる装置です。鉄道総研は、鉄道の技術開発に特化した大型低騒音風洞(滋賀県米原市)を有しており、幅3m×高さ2.5mのノズルで最大400km/hの送風試験を実施することが可能です。

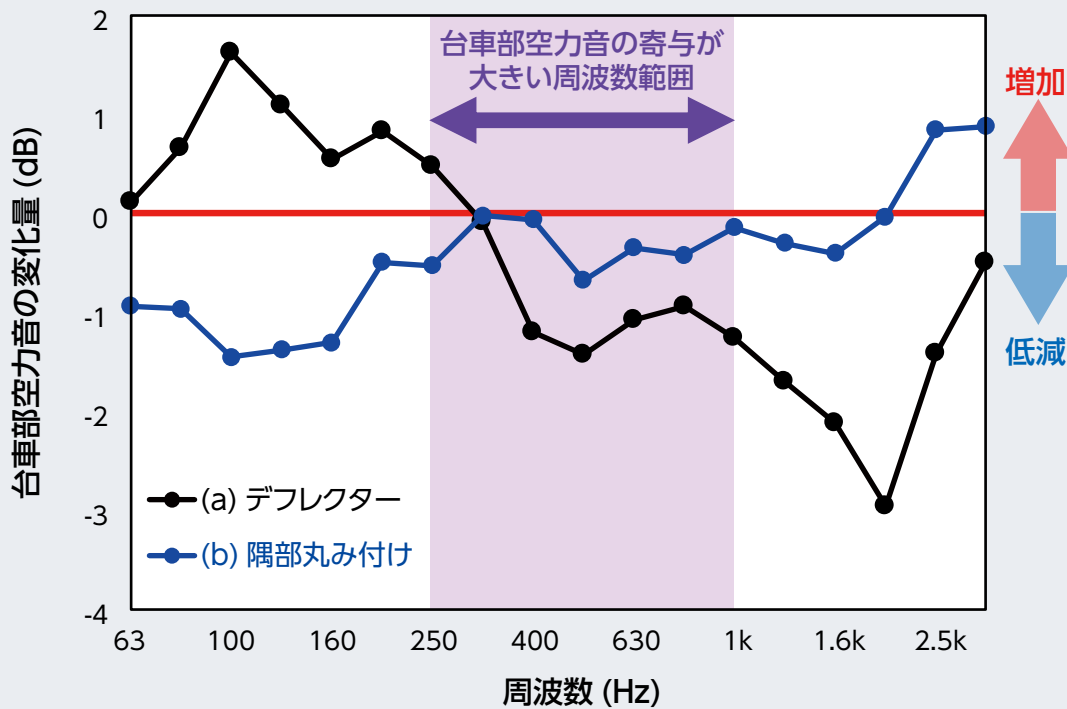


図4 対策による台車部空力音の変化量

前後に取り付けた対策，隅部丸み付けは台車を格納する空間の鉛直方向の隅部を大きく埋める対策です。

図4に台車部空力音の比較結果を示します。赤線のゼロのラインが現状を表し，縦軸は対策による台車部空力音の変化量を意味しています。同図より，デフレクター対策は400Hz帯以上で台車部空力音の抑制効果が認められます。一方，63～250Hz帯の低い周波数帯においては，現状より増大する傾向があります。また，隅部丸み付け対策はほぼすべての周波数帯にわたって，音圧レベルが平均的に0.5dB程度低下しており，対策の有効性が確認できます。なお，全体騒音に対して台車部空力音の寄与が大きくなるのはおおむね250Hz～1kHz帯になるため，この周波数帯に着目するとデフレクターによる平均低減量は0.7dB，隅部丸み付け対策は0.3dBとなります。

400Hz帯以上の空力音の抑制効果としては隅部丸み付けに比べてデフレクターの方が良好ですが，デフレクターは現状の車両下面よりさらに下方に飛び出る形状になり，車両限界との

余裕量などは少なくなります。一方，隅部丸み付けは車両下面から下方に飛び出ることはないため，デフレクターに比べて実用性が高い対策と考えています。

台車部空力音が抑制されるメカニズム

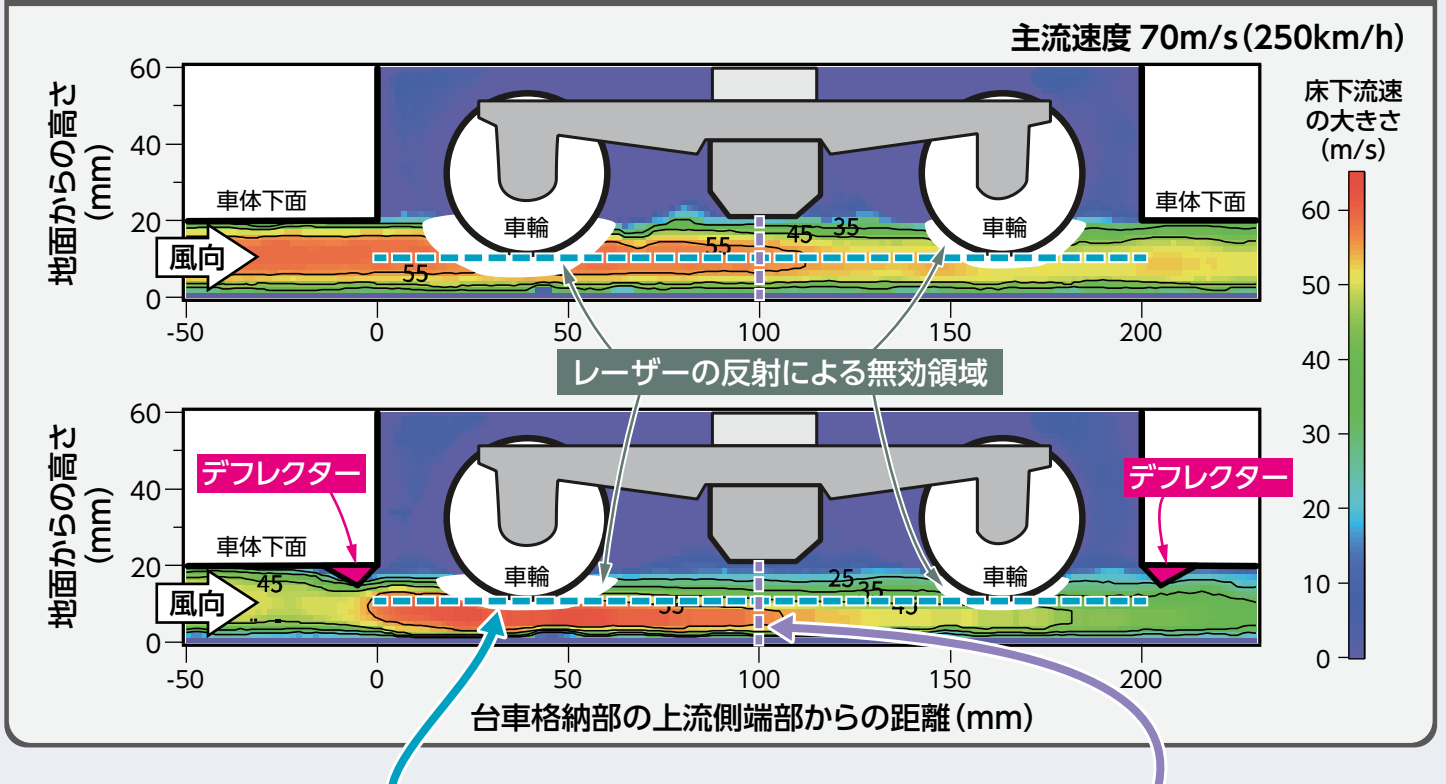
空力音は物体周辺の空気の流れによって発生するため，台車付近の流れの様子を捉えることで，デフレクターや隅部丸み付けの対策が空力音を抑制するメカニズムを調査・解析しました。

デフレクター対策

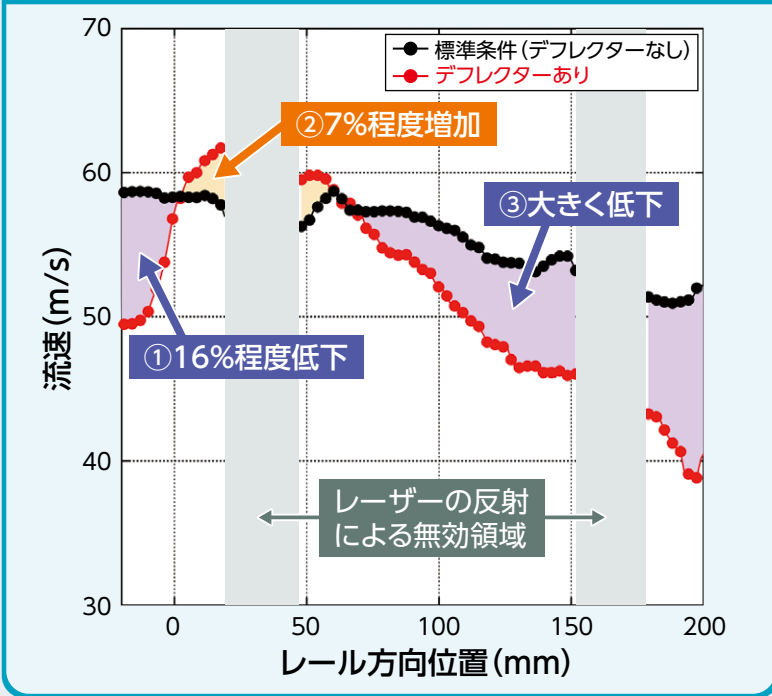
デフレクター対策を対象に，鉄道総研の小型低騒音風洞において，実機の1/20縮尺の台車模型を用いて，流れの可視化を行いました。空気の流れは人間の目には見えませんが，粒子画像流速計測法(PIV)とよばれるレーザーを用いて流れを可視化する手法により，二次元の面的な速度分布を計測することが可能です。

図5に台車付近の空気の流れの速度分布(まくらぎ方向中心位置)を示します。同図のカラーマップの色は，緑色から赤色に近づくほど流れが速く，緑色から青色に近づくほど流れが遅い

(a) 台車付近の流れ(実スケールの 1/20 縮尺)



(b) レール方向の流れの速度分布



(c) 鉛直方向の流れの速度分布

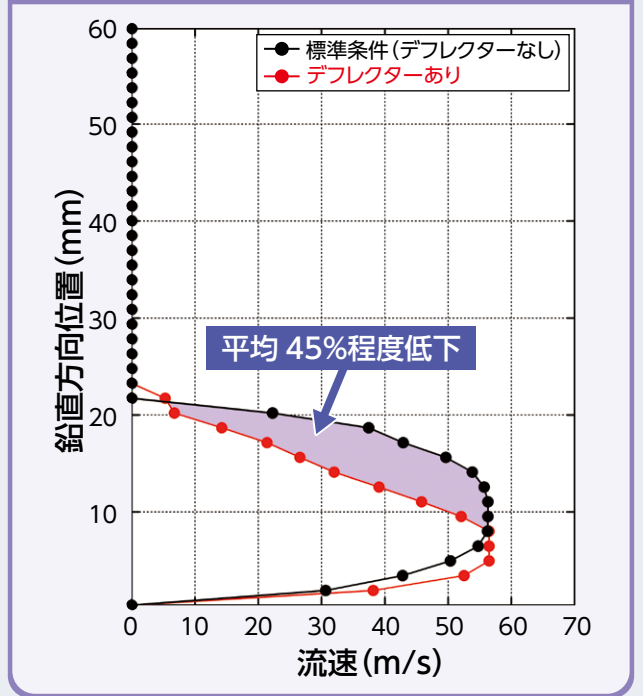


図5 台車付近の流れの速度分布

ことを表しています。空力音は300km/h以上で全体騒音に対して支配的になるものの、風速が十分高速であれば、流れの性質が大きく変わることはありません。このため、風速は250km/hに設定して試験を行いました。同図

(b) は地面からの高さ10mm (車両下面と地面の中間高さ) における流れの速度を比較したグラフです。デフレクターを取り付けると、①台車格納部に流入する速度が16%程度低下、②上流側の車輪付近(レール方向位置10mm～

60mm)は7%程度増速、③上流側の車輪より下流(レール方向位置60mm以降)は大きく低下することがわかります。①の理由は、空気が流入していく経路にデフレクターが存在するだけで周囲の圧力が変化するためと考えられます。また、台車の上流端から100mmの場所における鉛直方向の速度分布を表す同図(c)を参照すると、デフレクターを取り付けることで、鉛直方向10mm~20mm付近(台車を構成する車輪や主電動機・歯車装置の存在する領域)における流れの速度が平均45%遅くなる様子が確認できます。これらの速度変化の影響を単純に足し合わせることはできませんが、空力音の大小関係は流れの速度に大きく左右される(たとえば、流れの速度が10%低下すると空力音は2.7dB抑制されます)ことから、デフレクターにより台車部空力音が低下するメカニズムは、①流れの速度が低下、②台車を構成する部材(主電動機、歯車装置など)から発生する空力音抑制、と推定できます。

隅部丸み付け対策

つぎに、隅部丸み付け対策によって、空力音が低減するメカニズムを解明するため、車両が速度360km/hで走行している条件において、数値シミュレーションを用いた流体解析を行いました。計算条件は、隅部丸み付け対策ありとなしの2パターンです。ここでは、台車部付近の空力音の発生状況を把握するため、流れ場に存在する渦をQ値[※]で可視化しました。

図6に台車格納部の側カバー付近(図6上の視点における点線部での断面)の渦の可視化結果を示します。ここでは、強い渦(Q=250000)

※ Q値

流れ場中の渦を明瞭に可視化できる方法として広く用いられている指標の一つです。Q値は渦運動の強さとひずみ速度の大きさの差を表し、 $Q>0$ であれば渦運動の強さが大きいことを意味しています。

と弱い渦(Q=10000)の等値面を示します。

(1) 強い渦の分布

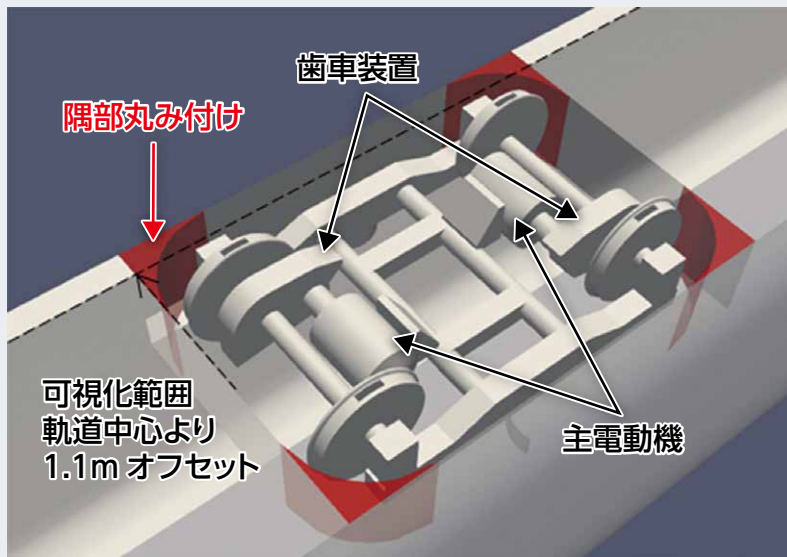
図6上を参照すると、隅部丸み付け対策なしでは台車格納部の上流側に強い渦が分布しますが、隅部丸み付け対策ありでは強い渦が発生しないことがわかります。これは、隅部を丸み付け形状としたことに起因すると推察され、隅部丸み付けは上流側から放出される渦の強さを低減させる効果があると考えられます。

(2) 弱い渦の分布

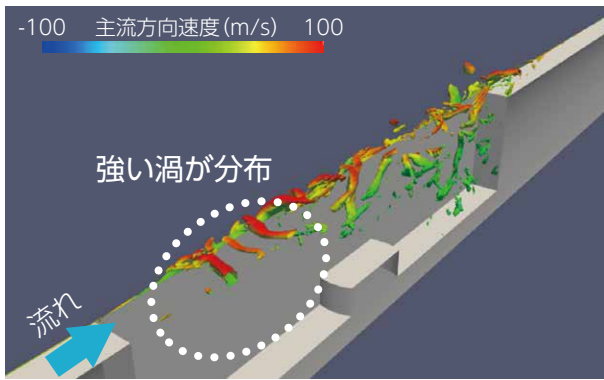
図6下を参照すると、隅部丸み付け対策ありでは流れ方向の渦間隔がおよそ一定であり、周期的に整った渦が放出されていることがわかります。これに対して、隅部丸み付け対策なしでは周期的に放出される渦に加え、それらの間に副次的に生じる渦が出現していることがわかります。さらに、渦が下流側に流されるにつれて、周期的な渦と副次的に生じる渦同士が干渉して渦が細かく崩壊・変形します。隅部丸め付けの適用により、これらの副次的な渦の発生や崩壊が抑制されることが、空力音の低減に寄与していると考えられます。以上をまとめると、「隅部丸み付け」対策によって台車部空力音が抑制されるメカニズムとしては、①上流側で強い渦の放出が弱められること、②下流側で副次的な渦の生成が抑制されることであると考えられます。

おわりに

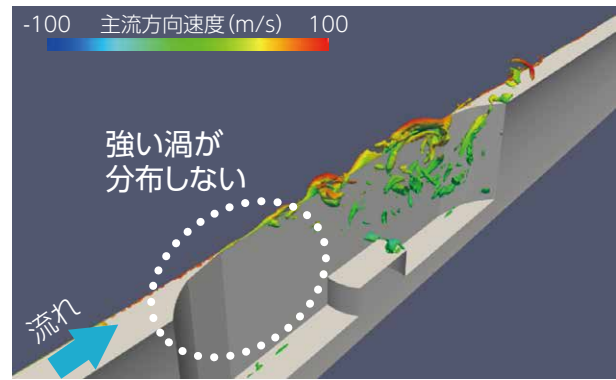
新幹線の魅力の1つは高速走行により目的地に早く到達できることです。さらなる高速化を目指した取り組みとして、新幹線車両の台車部から発生する空力音の抑制対策とそのメカニズムの解析例を紹介しました。こうした対策のコンセプトが実際の営業車で採用されるまでには、導入にかかるコスト、安全性への担保、メンテナンスへの影響などさまざまな条件を考慮して決めなければならず、長い時間がかかります。



強い渦 (Q=250000)

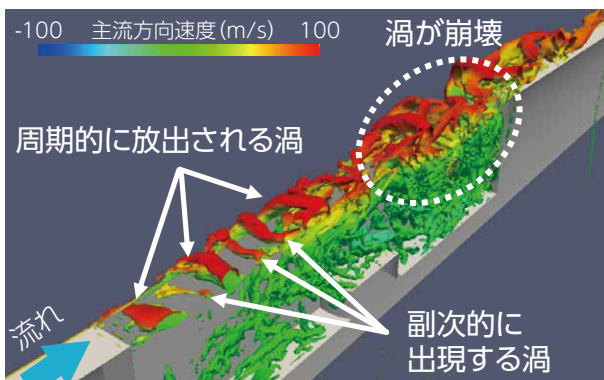


隅部丸み付け対策なし

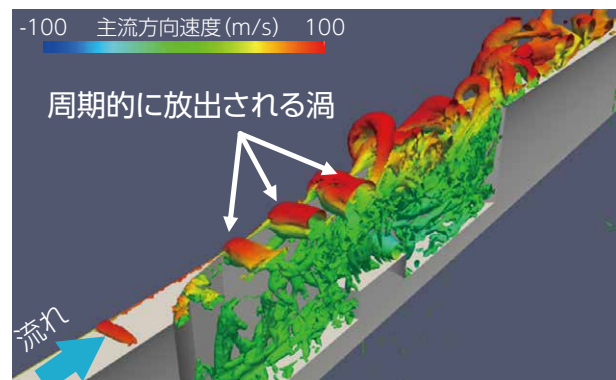


隅部丸み付け対策あり

弱い渦 (Q=10000)



隅部丸み付け対策なし



隅部丸み付け対策あり

図6 台車付近の渦の様子

将来を見据えた鉄道の基礎研究をおろそかにすることなく、今後も鉄道事業者と連携しながら沿線環境の負荷低減に向けた実用的な研究開発を推進します。RRR

文献

- 1) 飯田雅宣：高速化のための沿線環境の評価・対策，RRR，Vol.72，No.7，pp.44-47，2015
- 2) 井門敦志：大型低騒音風洞における鉄道の技術開発の変遷，RRR，Vol.79，No.3，pp.4-9，2022