

台車キャビティ部の形状変更による 空力音低減メカニズムに関する数値解析

環境工学研究部 騒音解析研究室

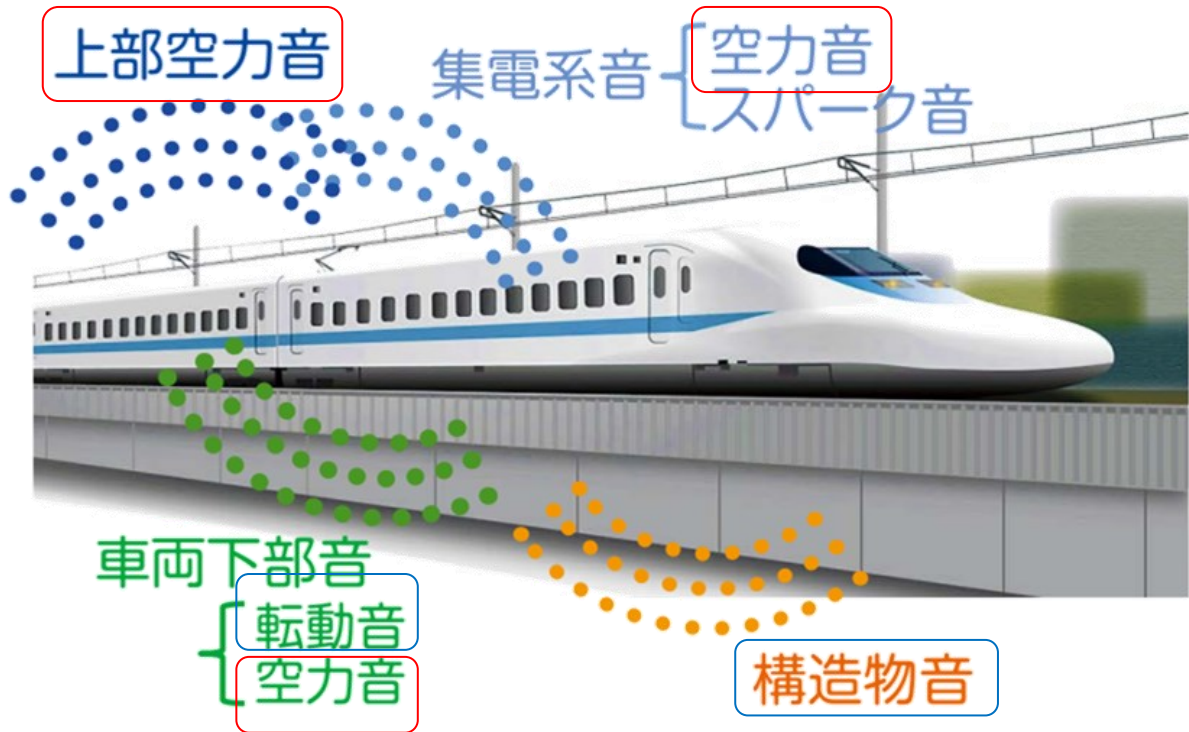
研究員 兎内 龍也

本日の発表

- ◆ 新幹線走行時に発生する騒音 / 台車部空力音の低減手法
- ◆ 台車部空力音の低減メカニズムの調査
- ◆ まとめ・成果の活用

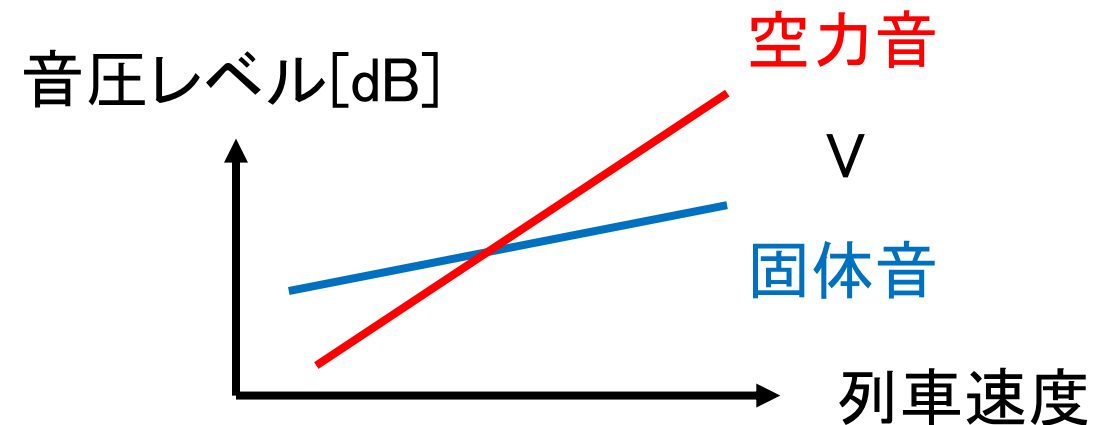
新幹線走行時に発生する騒音

◆ 新幹線騒音の音源 [長倉, 善田, 2000]



◆ 発生機構の分類

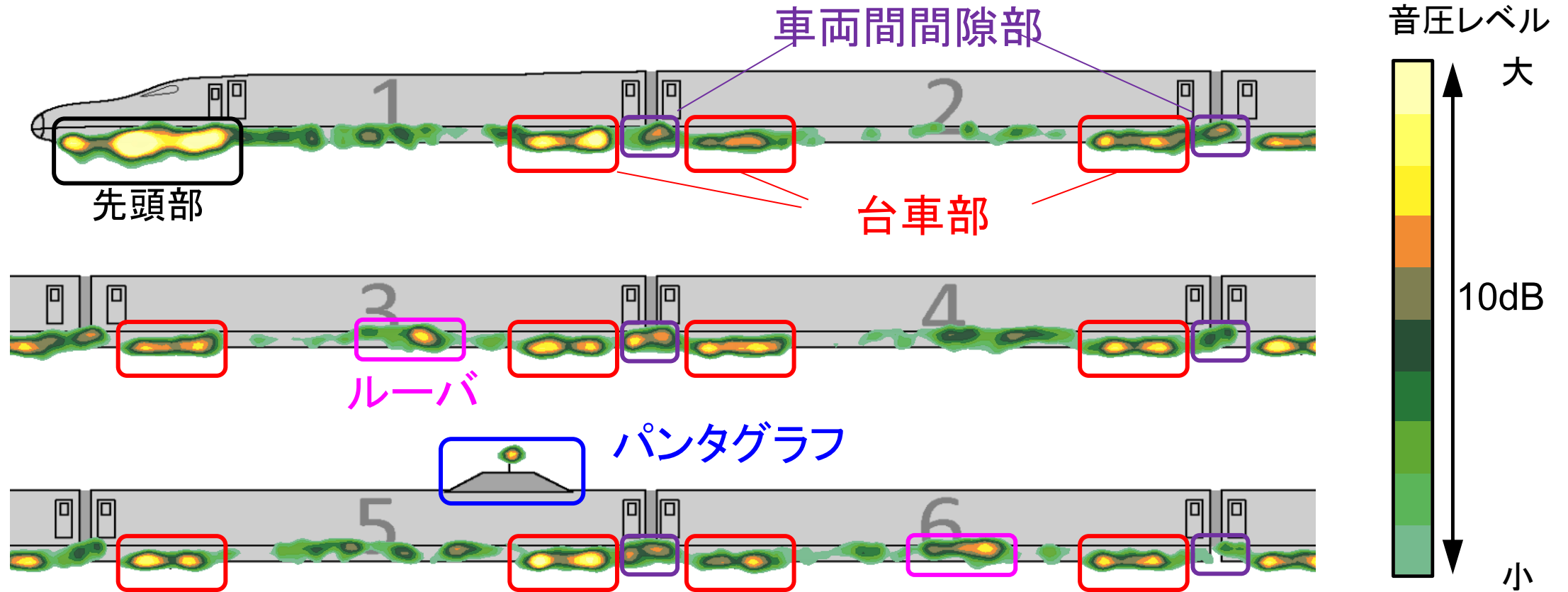
- ✓ 空力音 (速度の6~8乗に比例)
- ✓ 固体音 (速度の2~3乗に比例)



高速走行時には**空力音**が支配的

新幹線走行時に発生する騒音

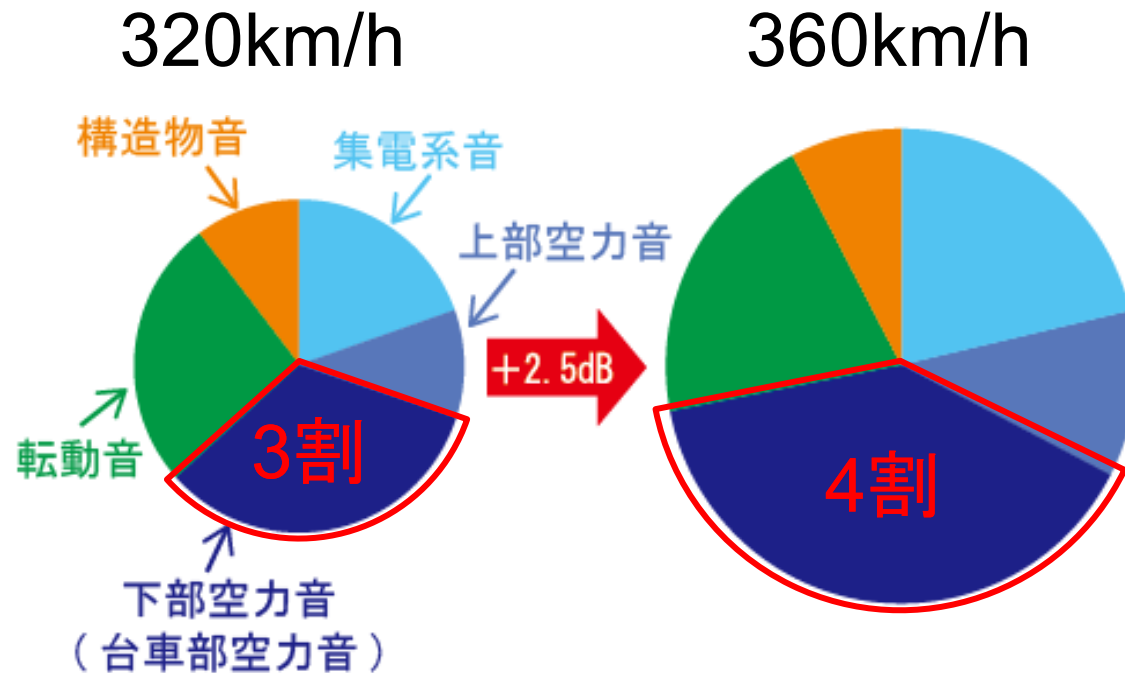
◆ 地上測定で取得した2次元音源分布(300km/h) [Uda et al., 2022]



列車速度 300km/h POA値(160 Hz ~ 6.3 kHz、周波数重み付け特性:A)

新幹線走行時に発生する騒音

- ◆ 台車部空力音が高速走行時に最も寄与が大きい [飯田, 2016]



列車速度が速くなると
台車部空力音の寄与が増大
↓
列車速度向上のためには
台車部空力音の低減が必須

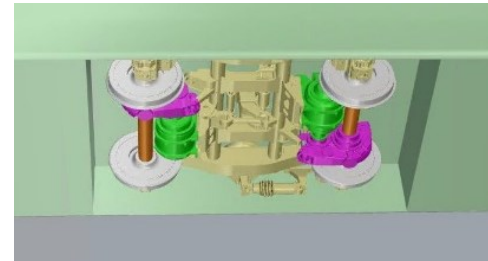
列車速度増加時の音源別寄与度(地上25m地点予測値)

台車部空力音の低減手法

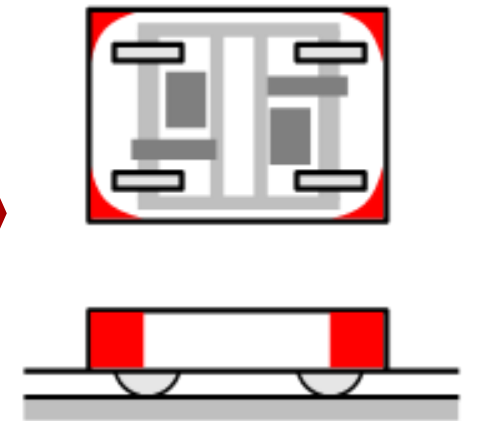
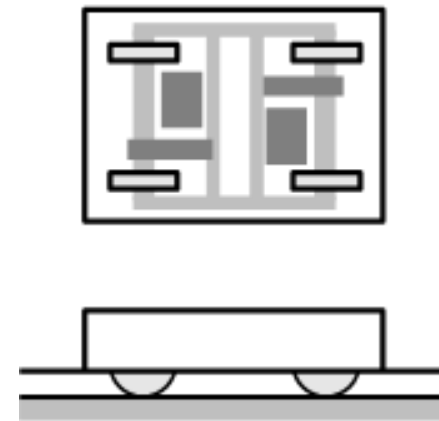
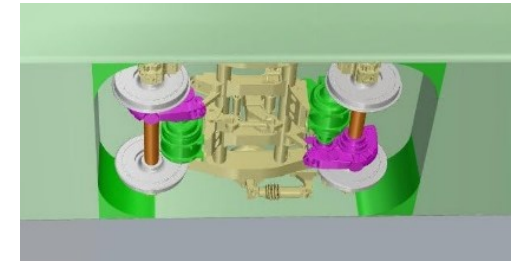
◆ 隅部丸み付け形状

- ✓ 台車キャビティの四隅を丸み付ける
- ✓ **1dB 程度**の騒音低減(100Hz-1kHz)を風洞試験で確認 [Uda, Kitagawa, 2019]
- ✓ 実現可能性を考慮した台車部空力音の低減対策

基本形状



隅部丸み付け



台車部空力音の低減手法

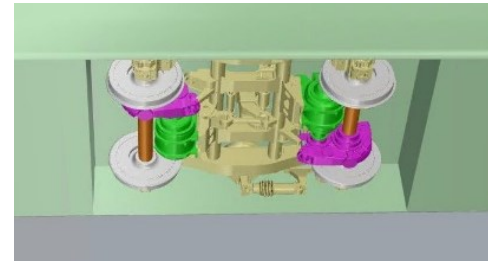
◆ 隅部丸み付け形状

- ✓ 台車キャビティの四隅を丸み付ける
- ✓ 1dB 程度の騒音低減 (100Hz-1kHz) を風洞試験で確認 [Uda, Kitagawa, 2019]
- ✓ 実現可能性を考慮した台車部空力音の低減対策

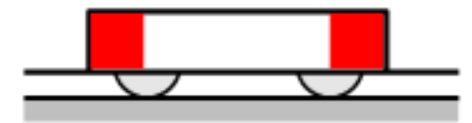
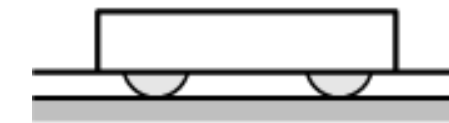
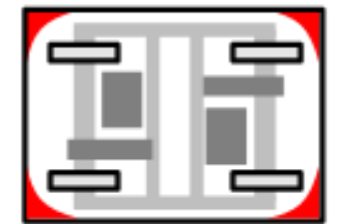
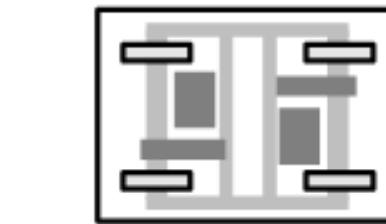
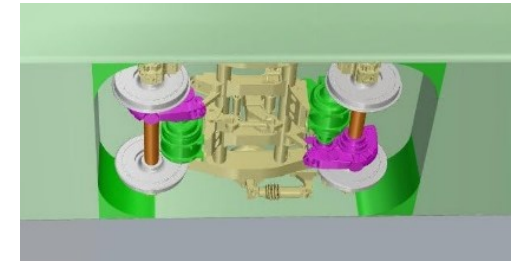
◆ 詳細な低減メカニズムは不明

- ✓ 台車部付近の流れ場は複雑
- ✓ 実験的な流れ場の把握が困難

基本形状



隅部丸み付け



低減メカニズム解明により、低減対策の深度化が期待される

本日の発表

- ◆ 新幹線走行時に発生する騒音 / 台車部空力音の低減手法
- ◆ 台車部空力音の低減メカニズムの調査
- ◆ まとめ・成果の活用

台車部空力音の低減メカニズムの調査

◆ 方針：数値解析により流れ場を調査

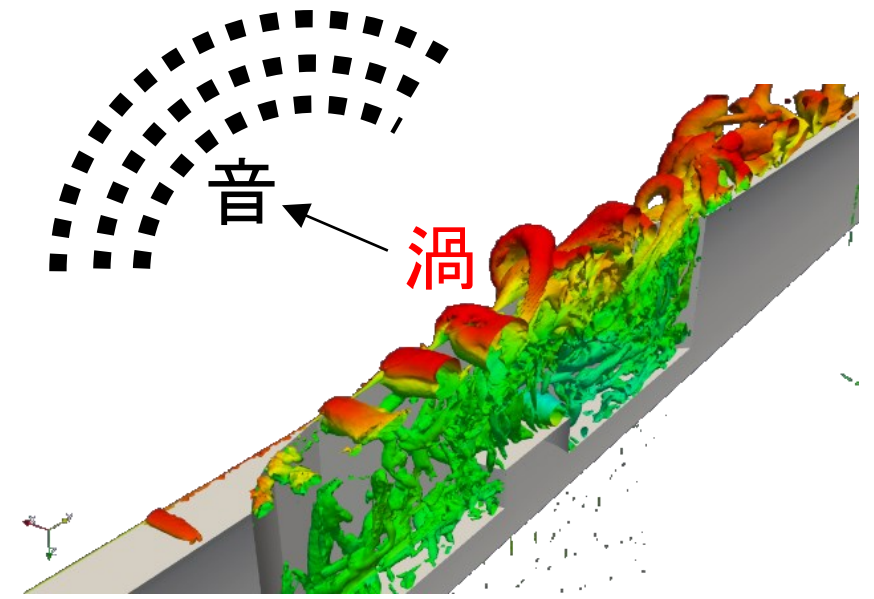
- ✓ 流体力学に基づく数値シミュレーション
(コンピュータを用いて、流れの速度や圧力などを計算)
- ✓ 風洞試験よりも、大規模な流れ場の把握ができる

◆ 着眼点：空力音に影響を与える因子

- ✓ 台車部への流入速度
∵ 空力音パワー \propto 流速の 6~8 乗

✓ 渦運動

- ∵ 空力音は渦の非定常運動に由来
(生成、崩壊、変形など)



空力音の発生イメージ

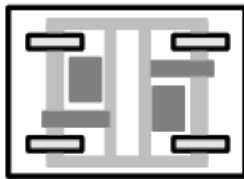
解析モデル

*地面からの視点

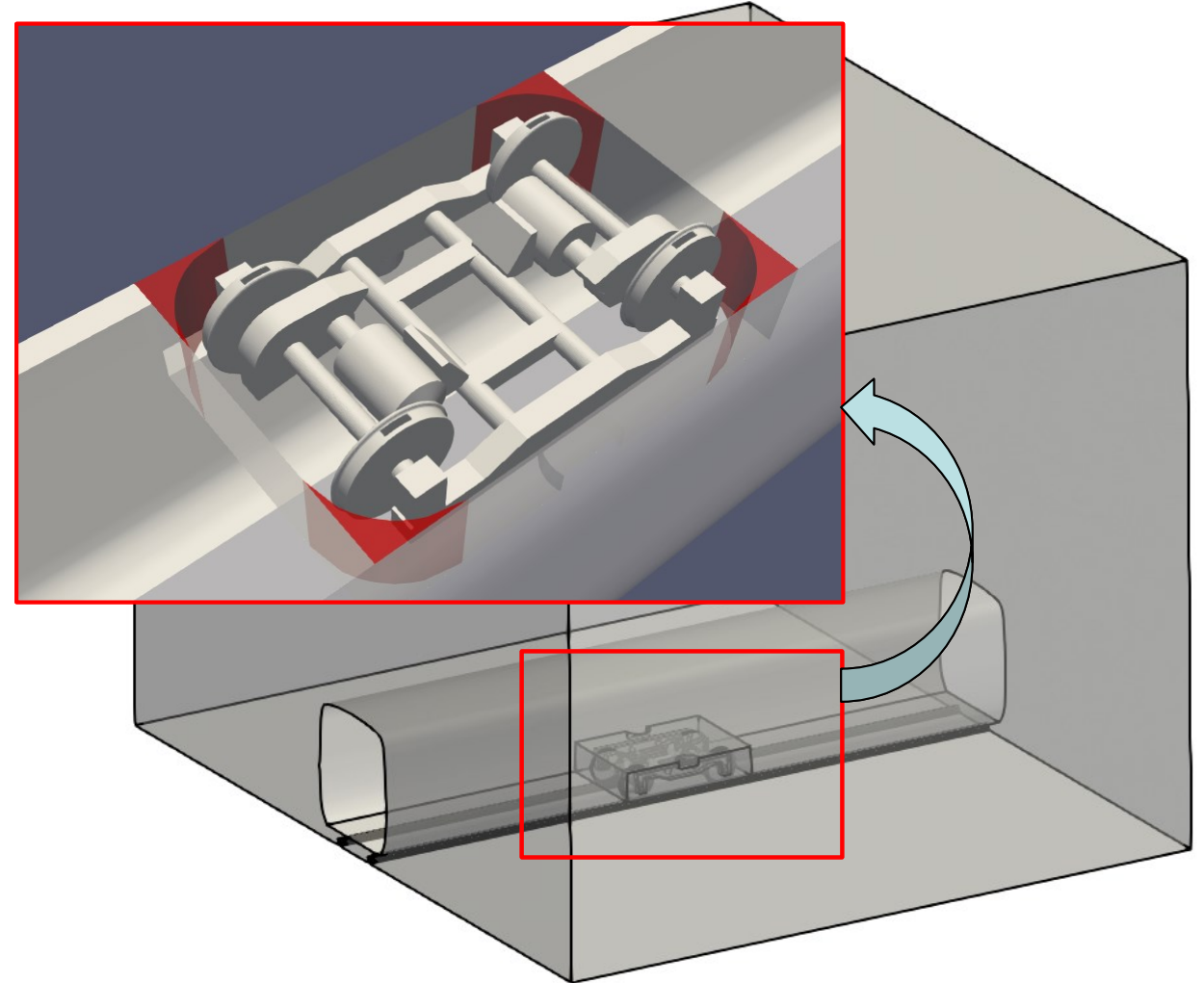
◆ 1台車モデル

- ✓ 車体の中心に台車
- ✓ 台車:簡易(計算コスト低)
- ✓ 台車キャビティ:

基本形状



隅部丸み付け



解析モデル

*地面からの視点

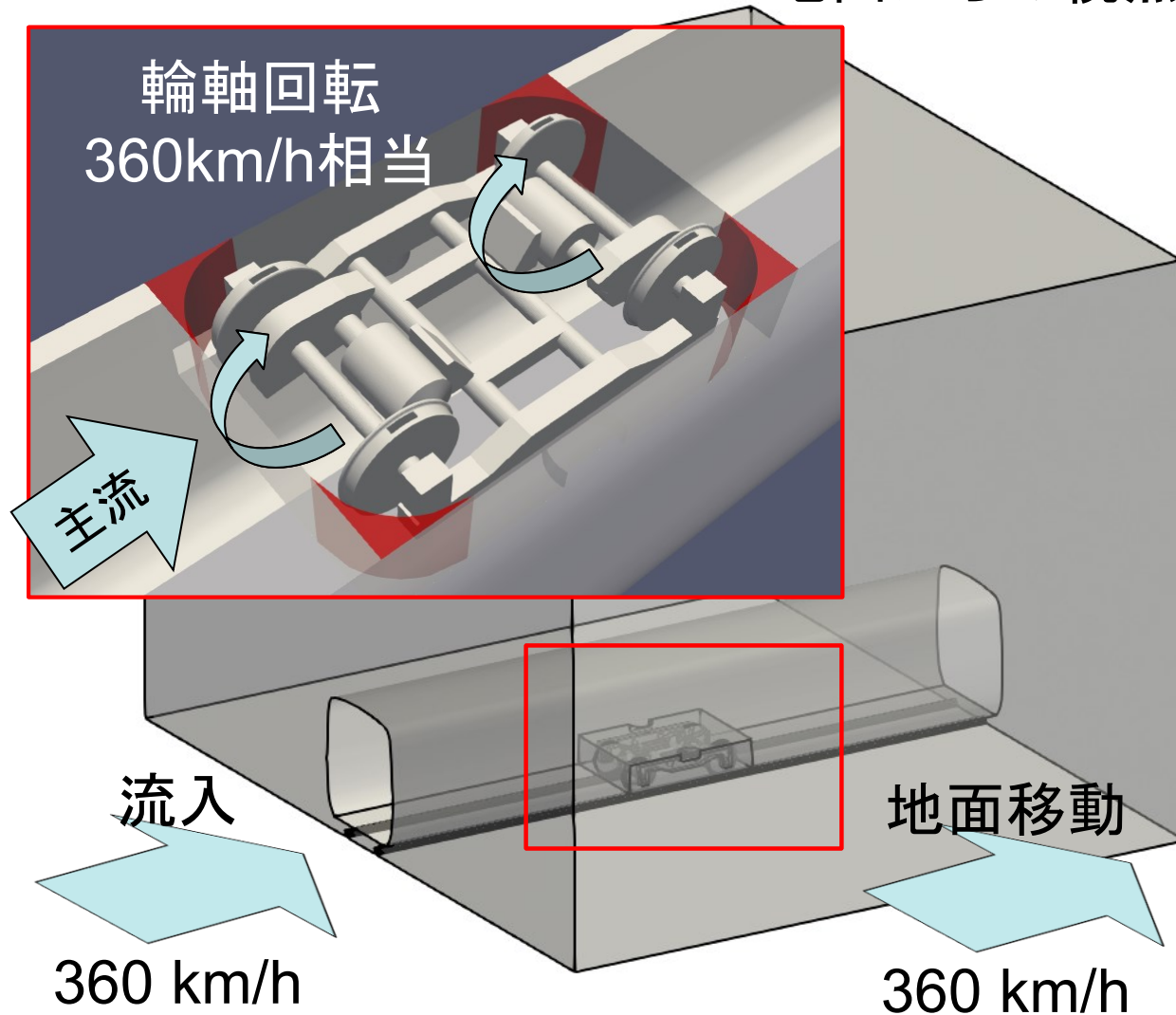
◆ 1台車モデル

- ✓ 車体の中心に台車
- ✓ 台車:簡易(計算コスト低)
- ✓ 台車キャビティ:
基本形状 隅部丸み付け

◆ 走行速度 360km/h を想定

- ✓ 流入速度 360km/h
- ✓ 地面・レール移動
- ✓ 輪軸の回転

風洞試験では再現困難



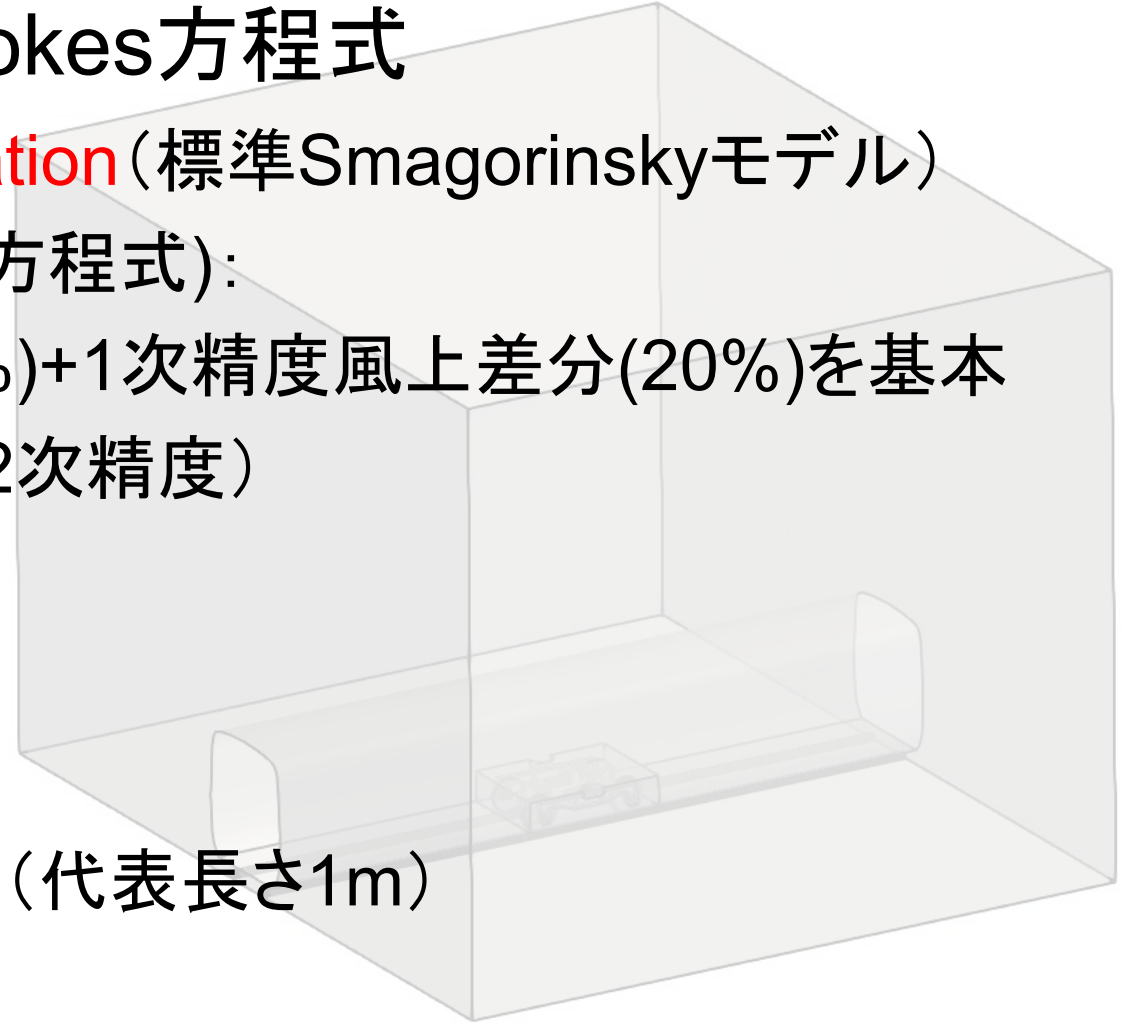
解析条件

◆ 支配方程式: 圧縮性Navier-Stokes方程式

- ✓ 乱流モデル: **Large Eddy Simulation** (標準Smagorinskyモデル)
- ✓ 離散化スキーム (Navier-Stokes方程式):
 - 対流項: 2次精度中心差分(80%)+1次精度風上差分(20%)を基本
 - 時間積分: Crank-Nicolson法 (2次精度)

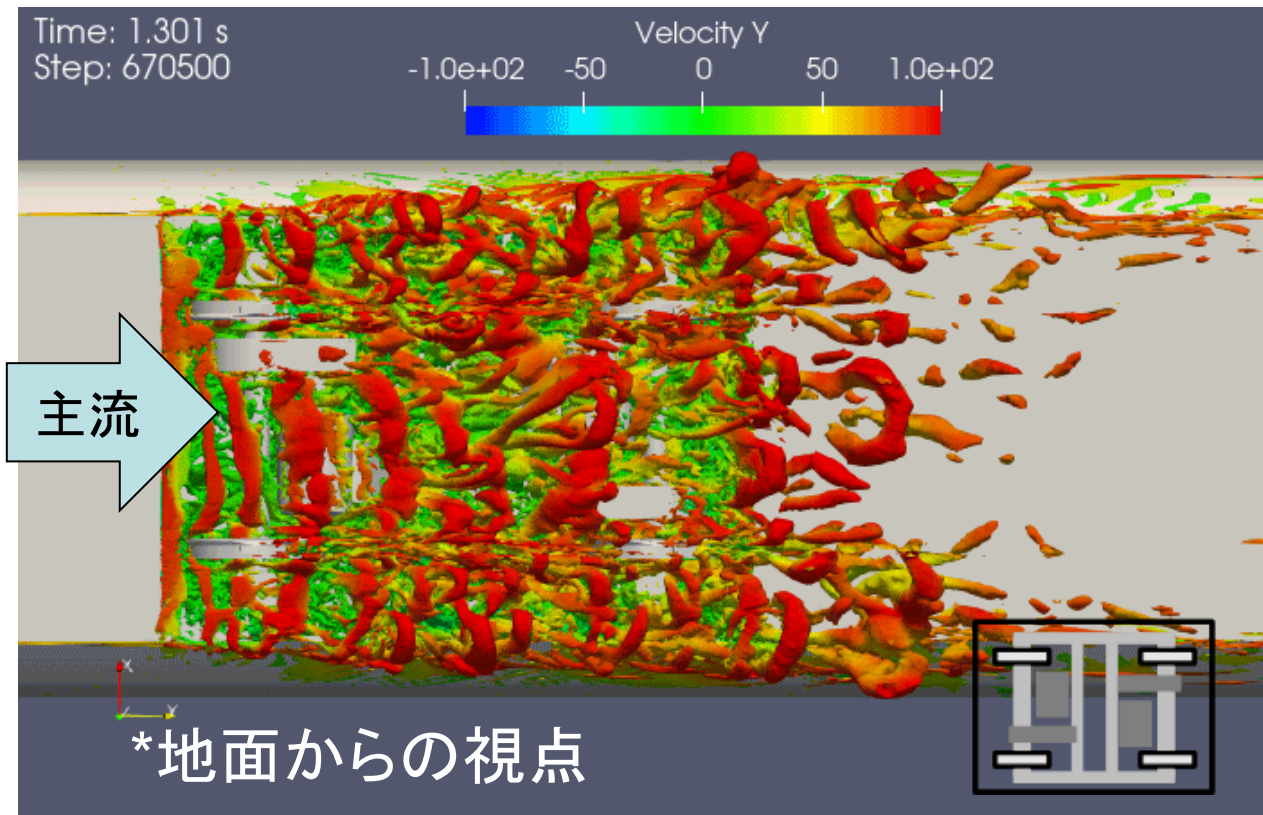
◆ 主流 (標準大気)

- ✓ 主流マッハ数 $M_\infty = 0.3$
- ✓ 主流レイノルズ数 $Re_\infty = 6.1 \times 10^6$ (代表長さ1m)



台車部付近の流れ場(基本形状)

◆ 渦が周期的に放出され、下流へ移流



Q=10,000 の等値面、主流方向速度で色付け

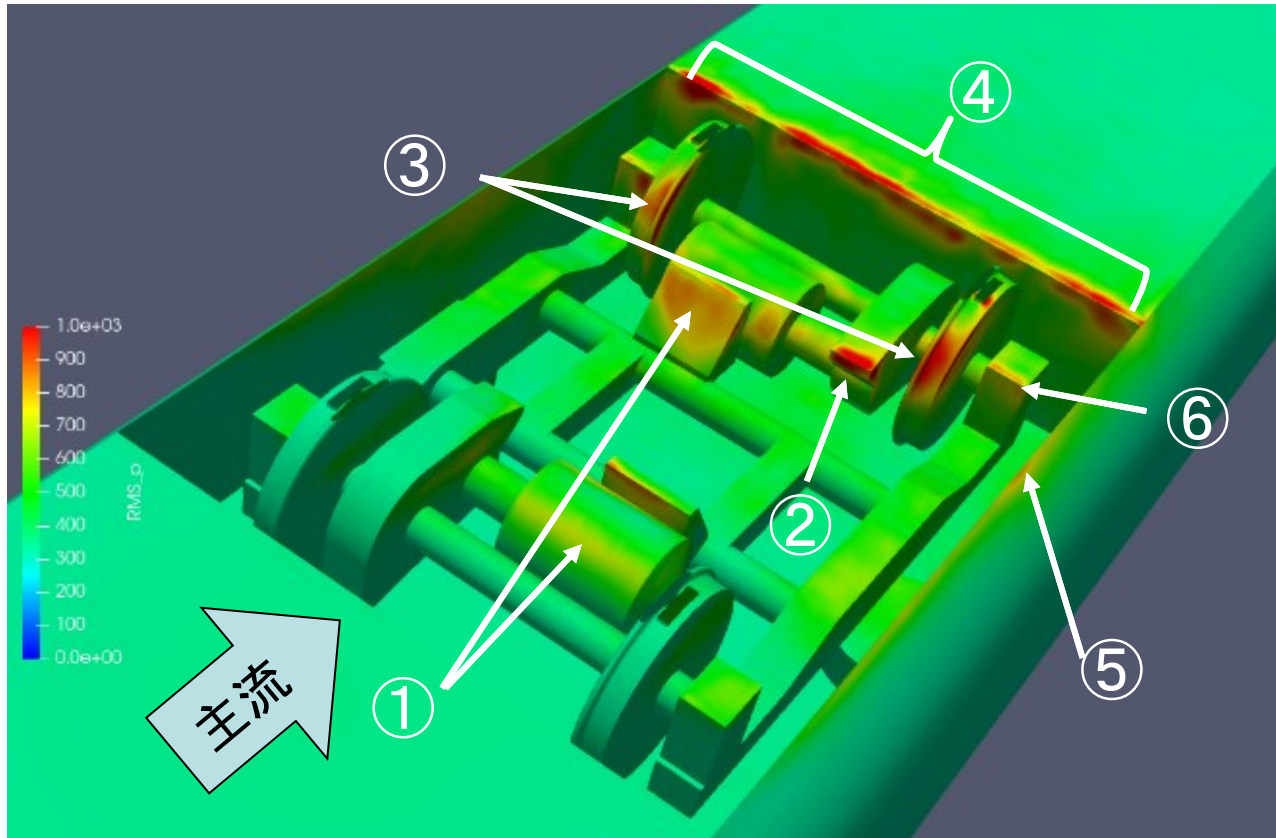
- ① まくらぎ方向に長い横渦が放出
- ② 台車各部へ衝突し変形
- ③ 下流側で細かい渦へ

Q値とは?

- 速度勾配テンソルの第2不変量
- 等値面を描くことで渦の分布がわかる
- Q値の大きさは回転の強さを表す

台車部付近の流れ場(基本形状)

◆ 局所的に圧力変動のRMSが増加



圧力変動のRMS(0.2s間で算出)

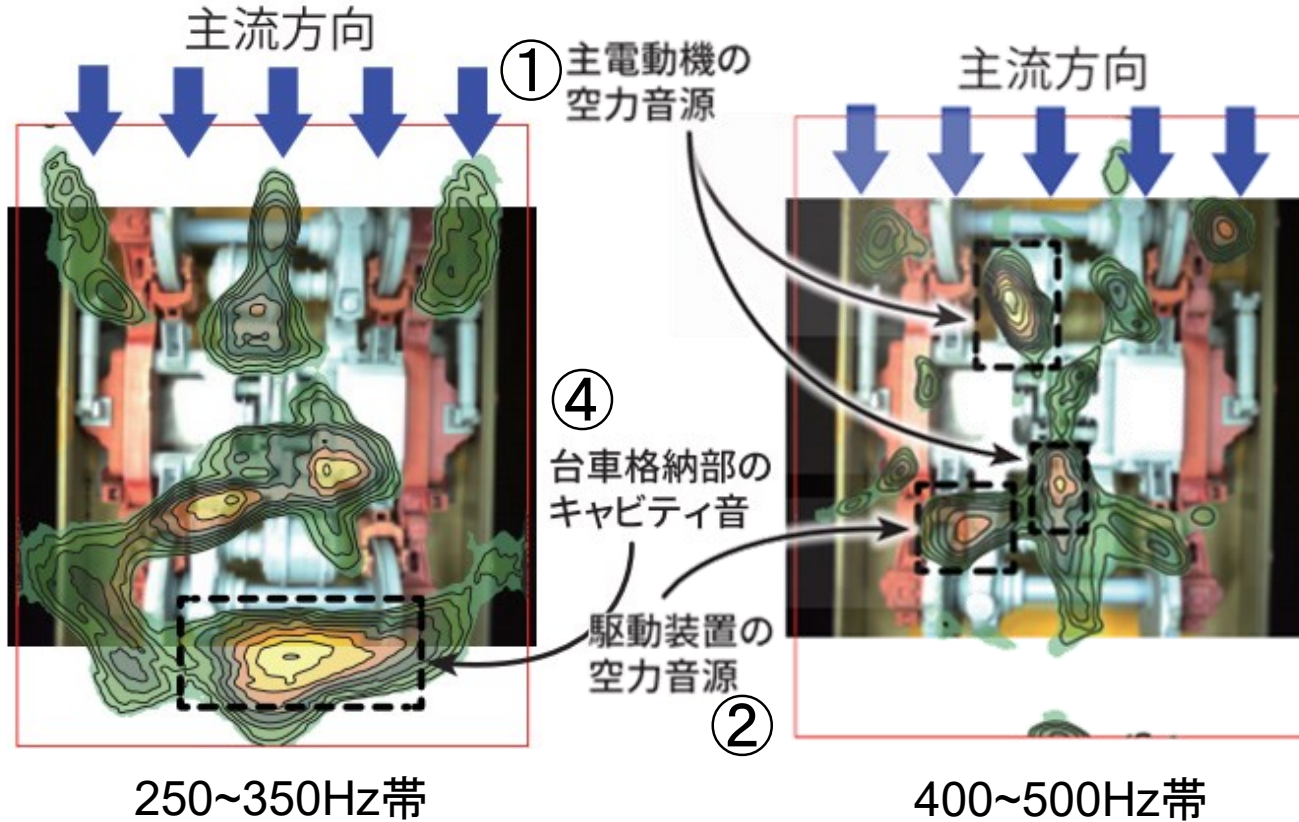
圧力変動のRMSが増加した位置

- ① 主電動機(上・下流側)
- ② 歯車装置(下流側)
- ③ 車輪(下流側)
- ④ 台車キャビティの後縁
- ⑤ 側カバー端部
- ⑥ 台車枠(下流側軸箱に相当)

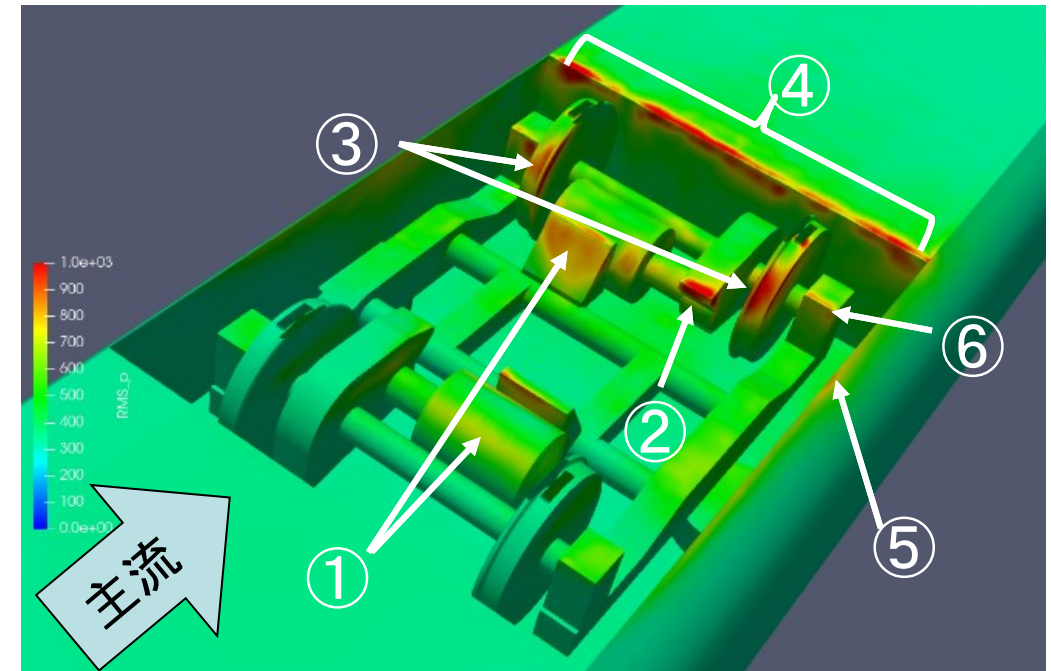
渦の衝突によって
圧力変動のRMSが増大

台車部付近の流れ場(基本形状)

◆ 台車部直下から測定した音源分布(風洞試験)との比較



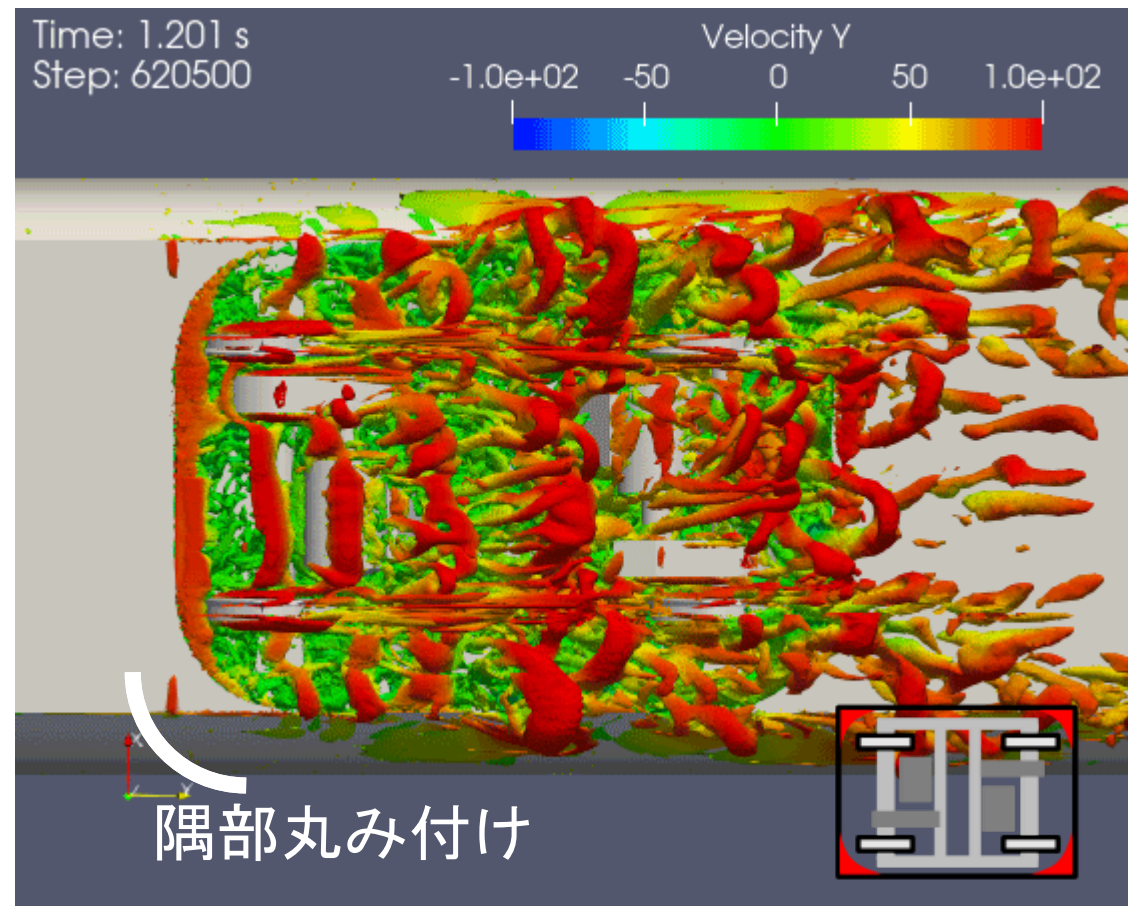
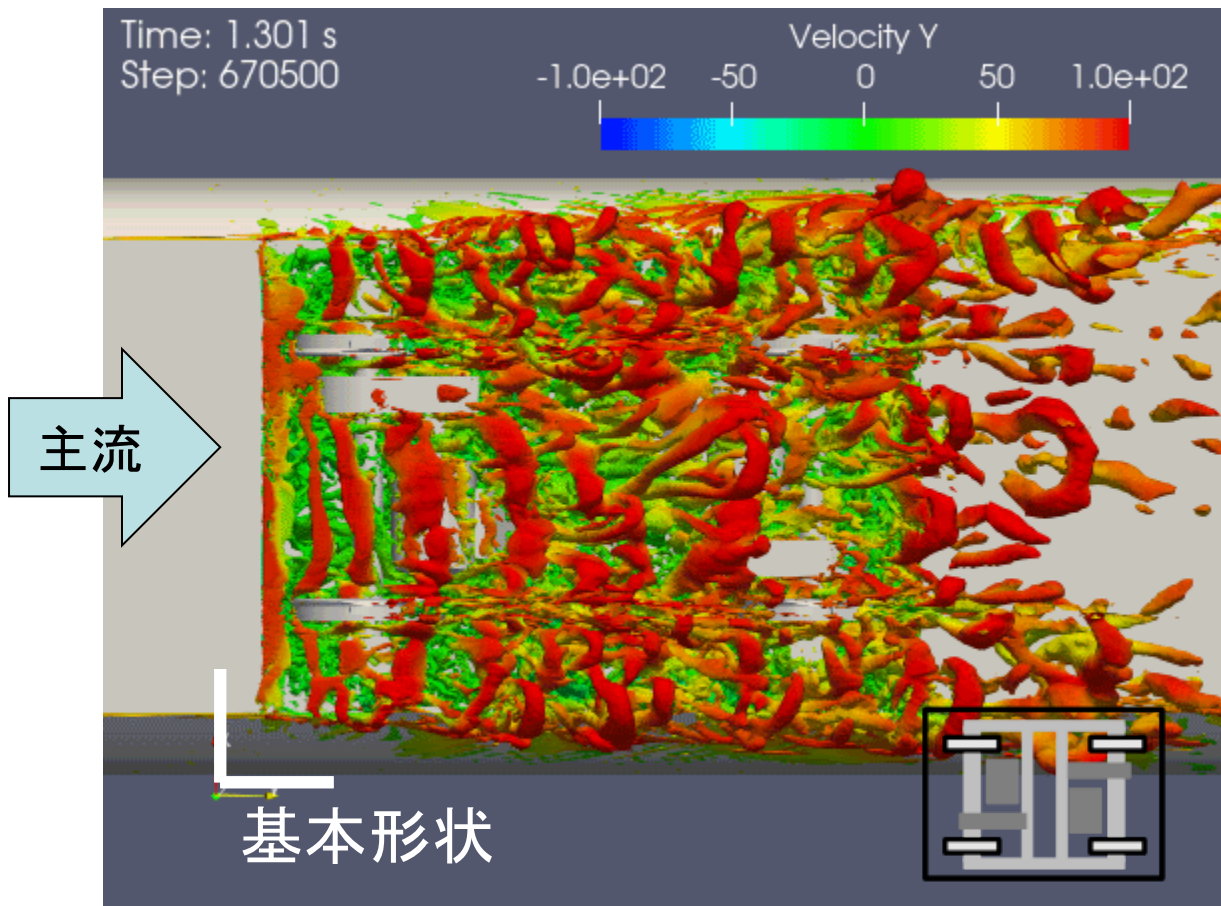
音源分布 [宇田, 北川, 2020]



圧力変動のRMS(本研究)

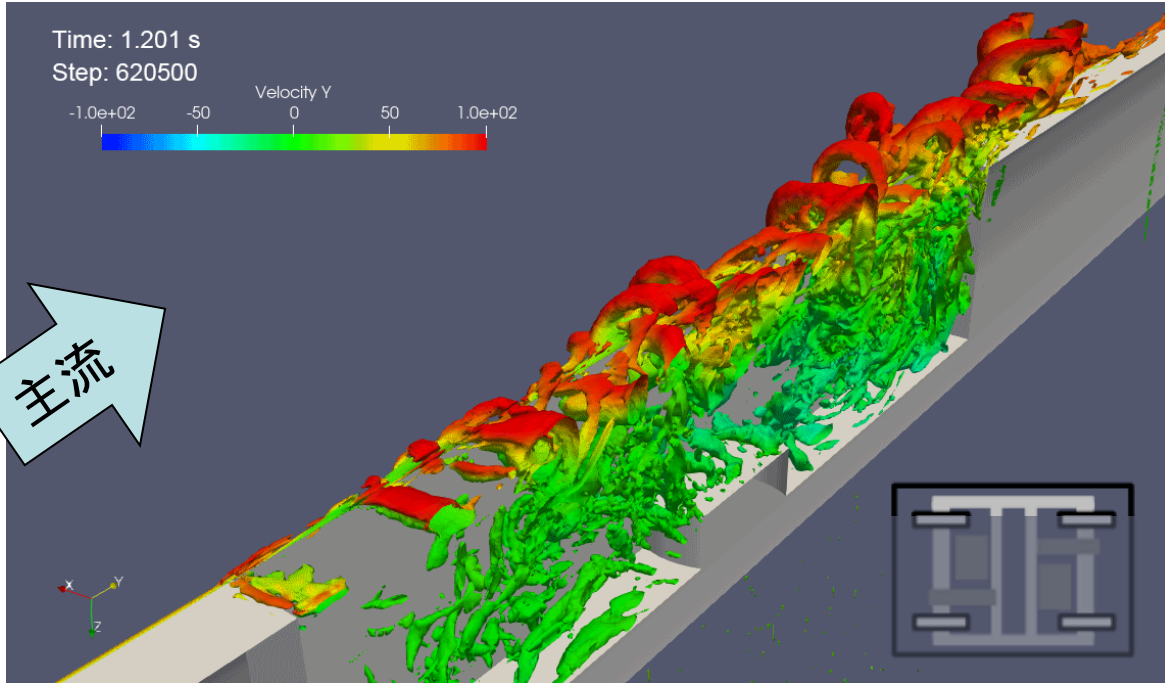
隅部丸み付けによる流れ場の変化

◆ 渦の分布の比較 (Q=10,000、主流方向速度で色付け)

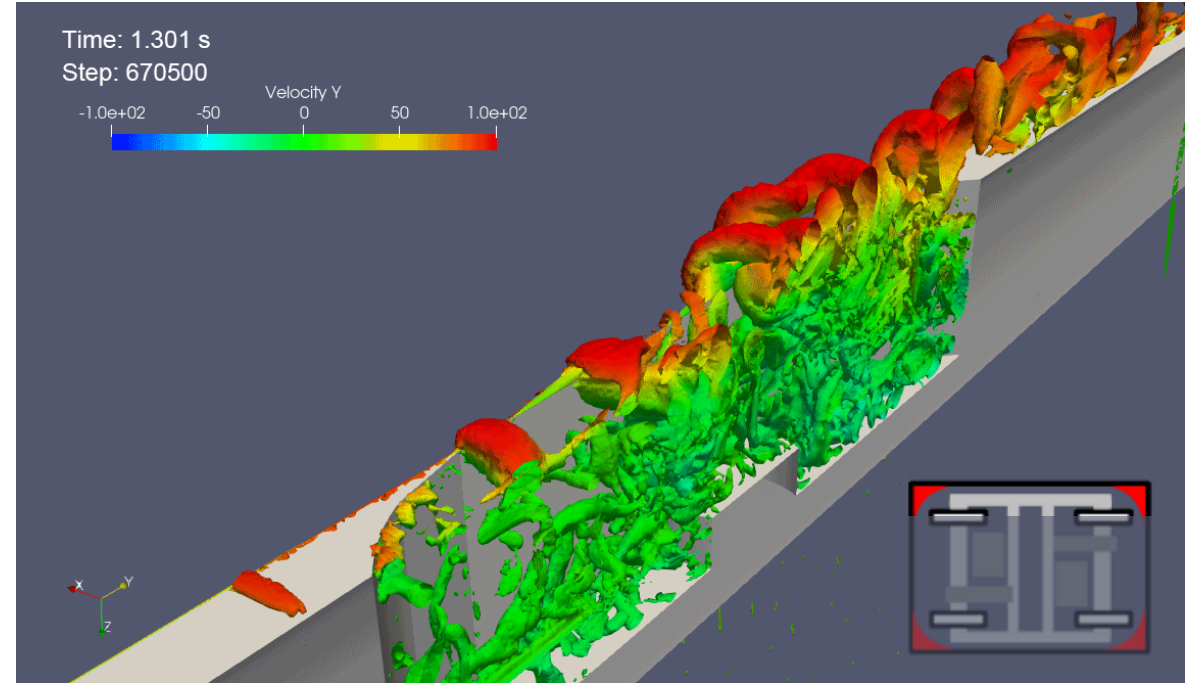


隅部丸み付けによる流れ場の変化

◆ 側カバー付近の渦が変化 (Q=10,000、主流方向速度で色付け)



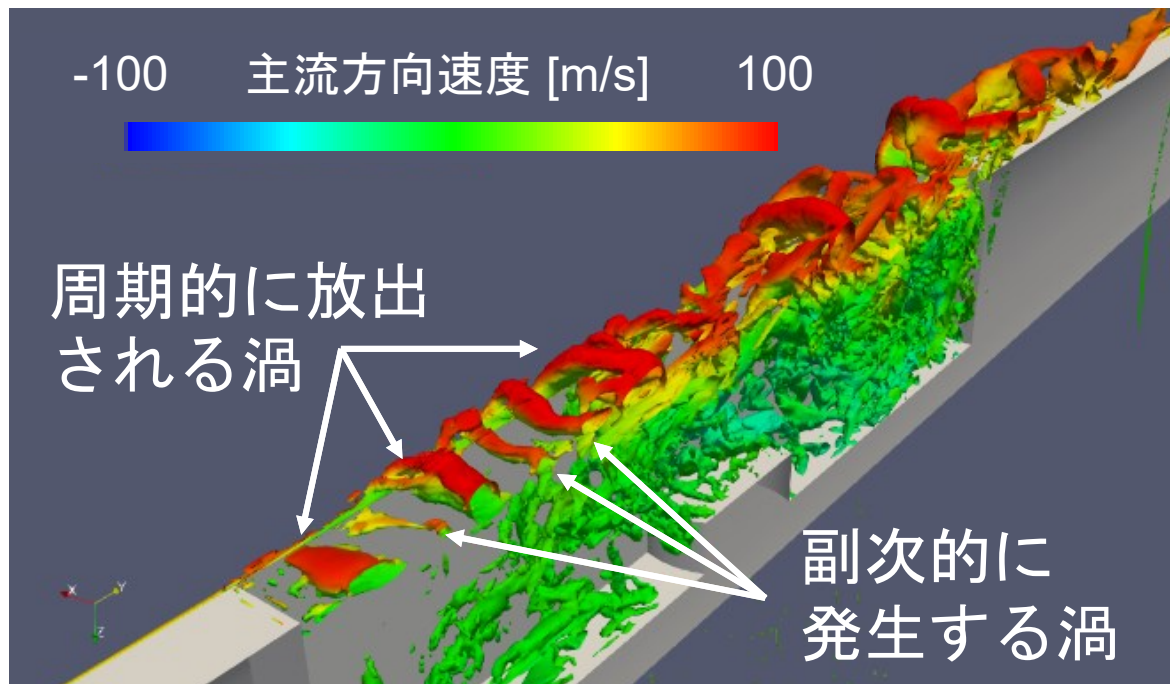
基本形状



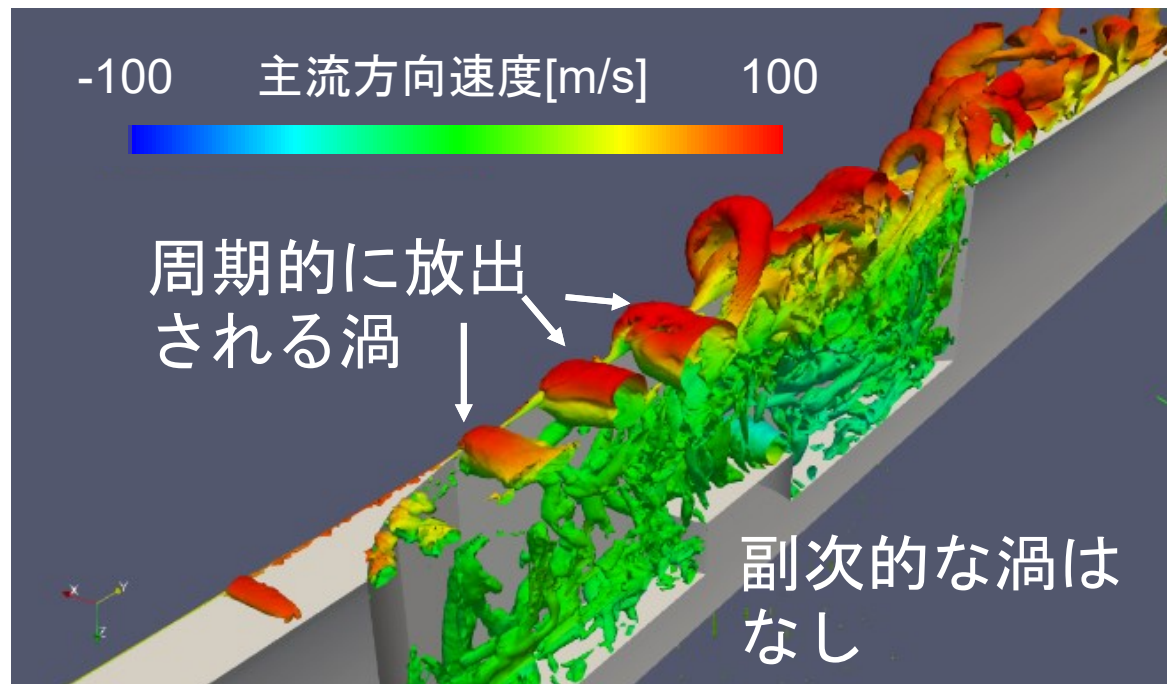
隅部丸み付け

隅部丸み付けによる流れ場の変化

◆ 側カバー付近の渦が変化 ($Q=10,000$ 、主流方向速度で色付け)



基本形状

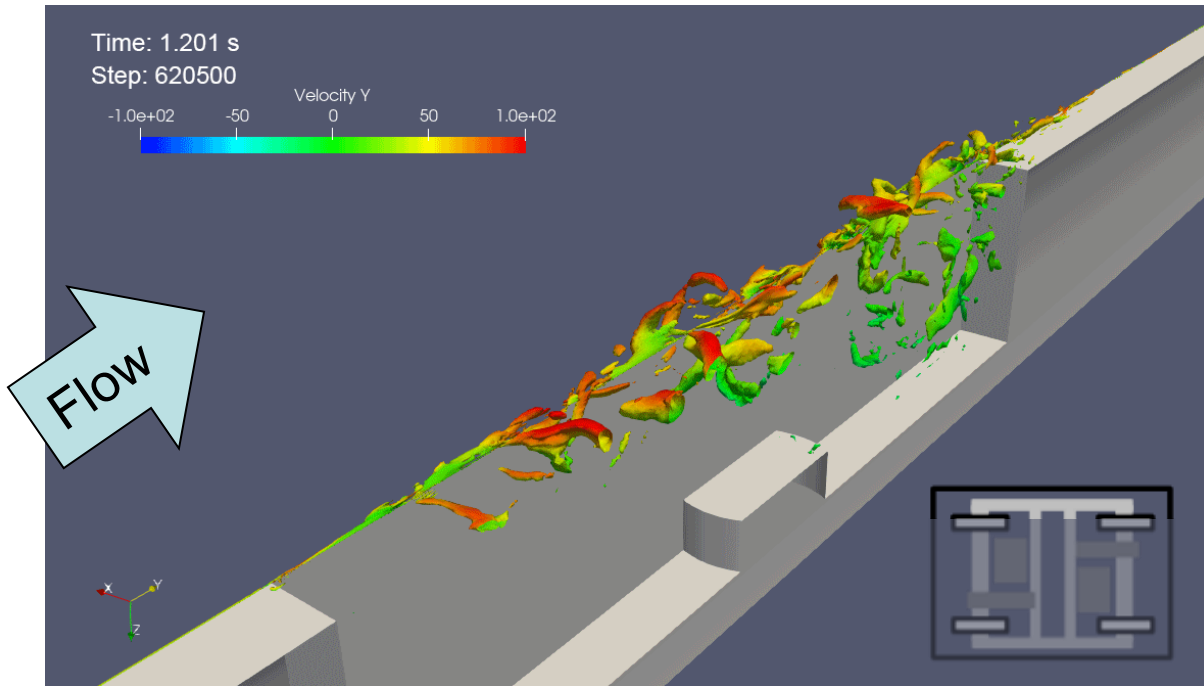


隅部丸み付け

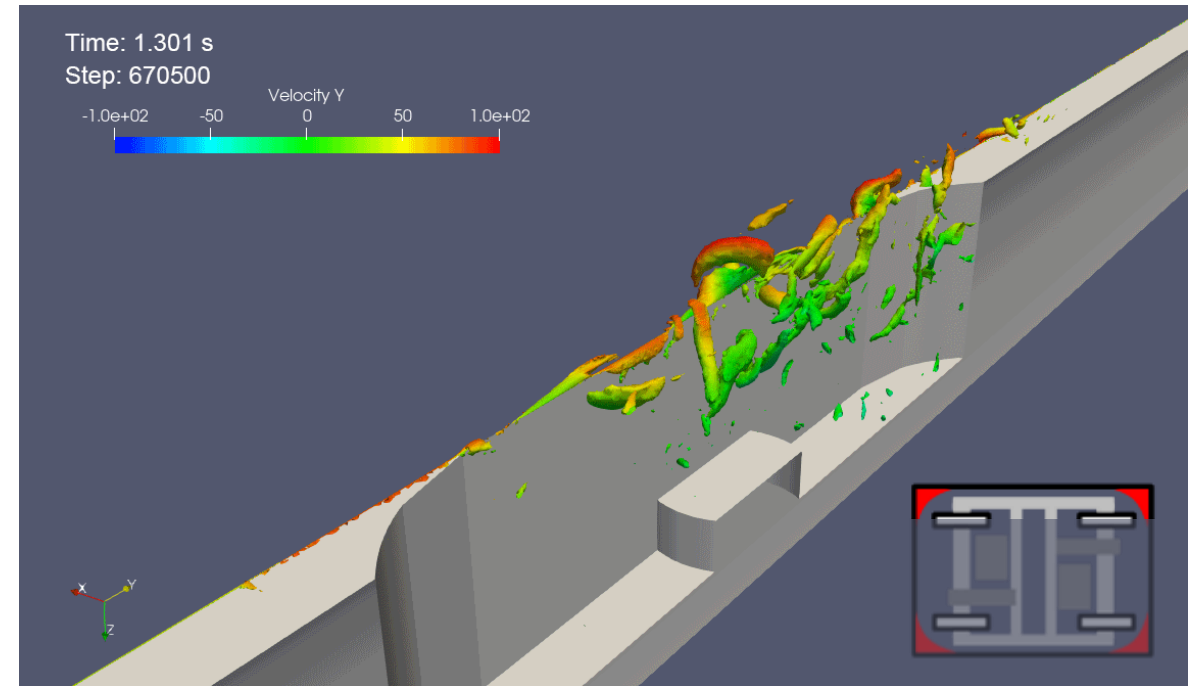
隅部丸み付けにより、渦の変形が抑制

隅部丸み付けによる流れ場の変化

◆ より強い渦の分布 (Q=250,000、主流方向速度で色付け)



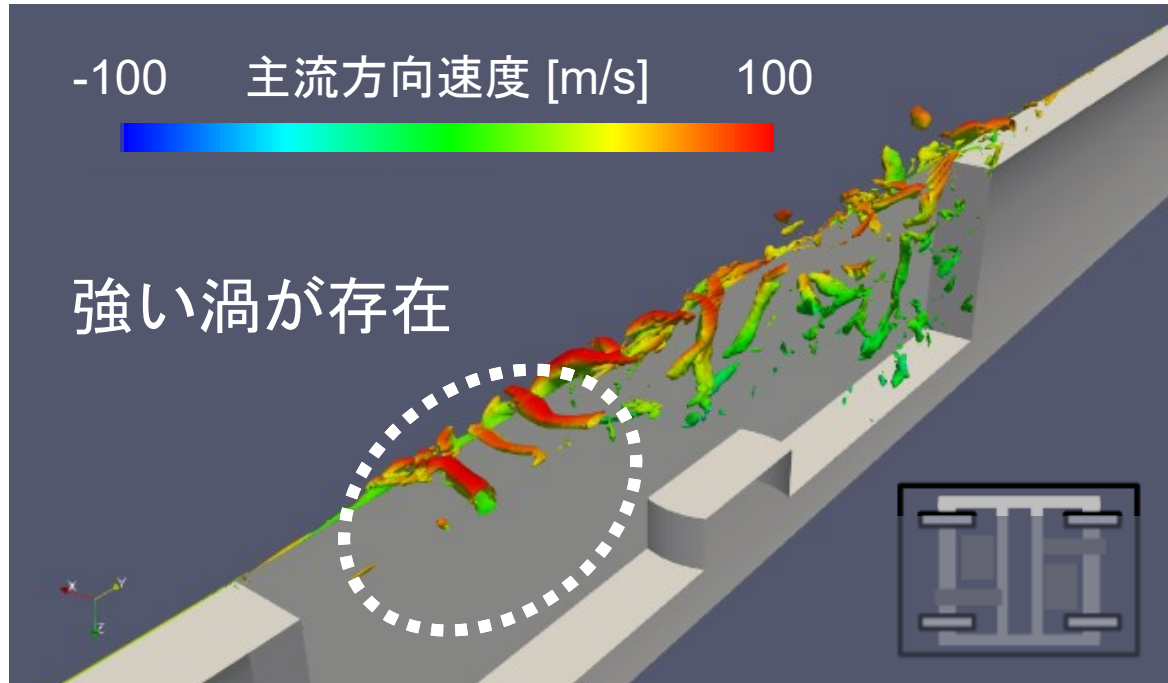
基本形状



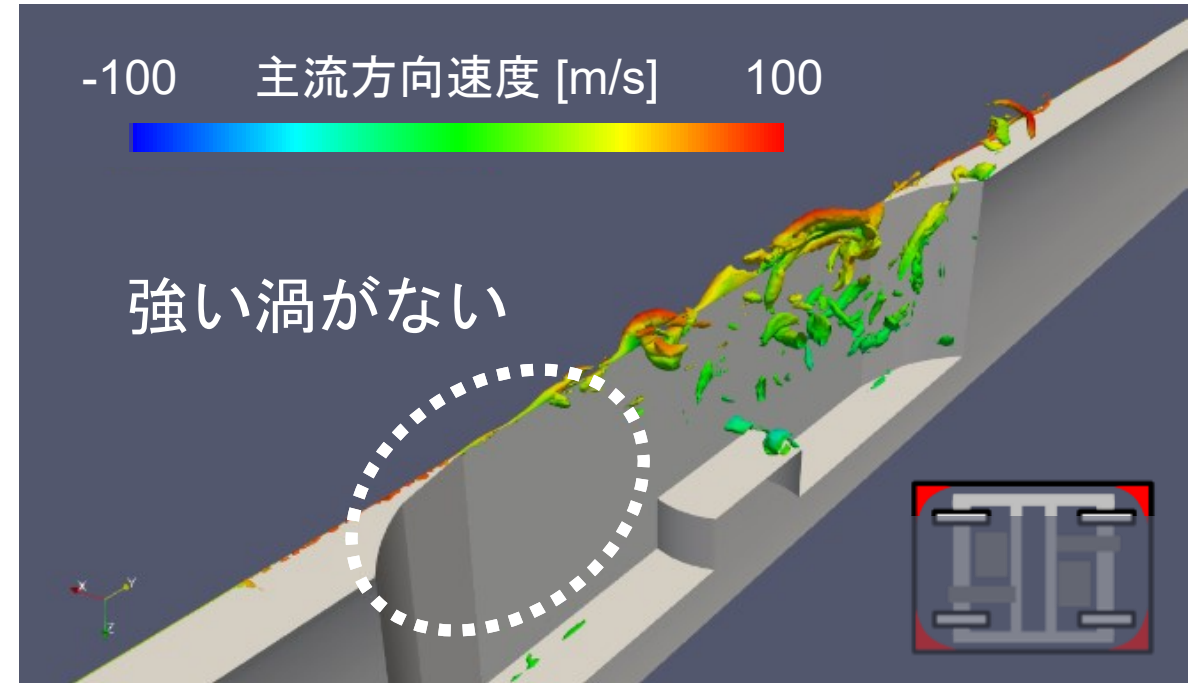
隅部丸み付け

隅部丸み付けによる流れ場の変化

◆ より強い渦の分布 (Q=250,000、主流方向速度で色付け)



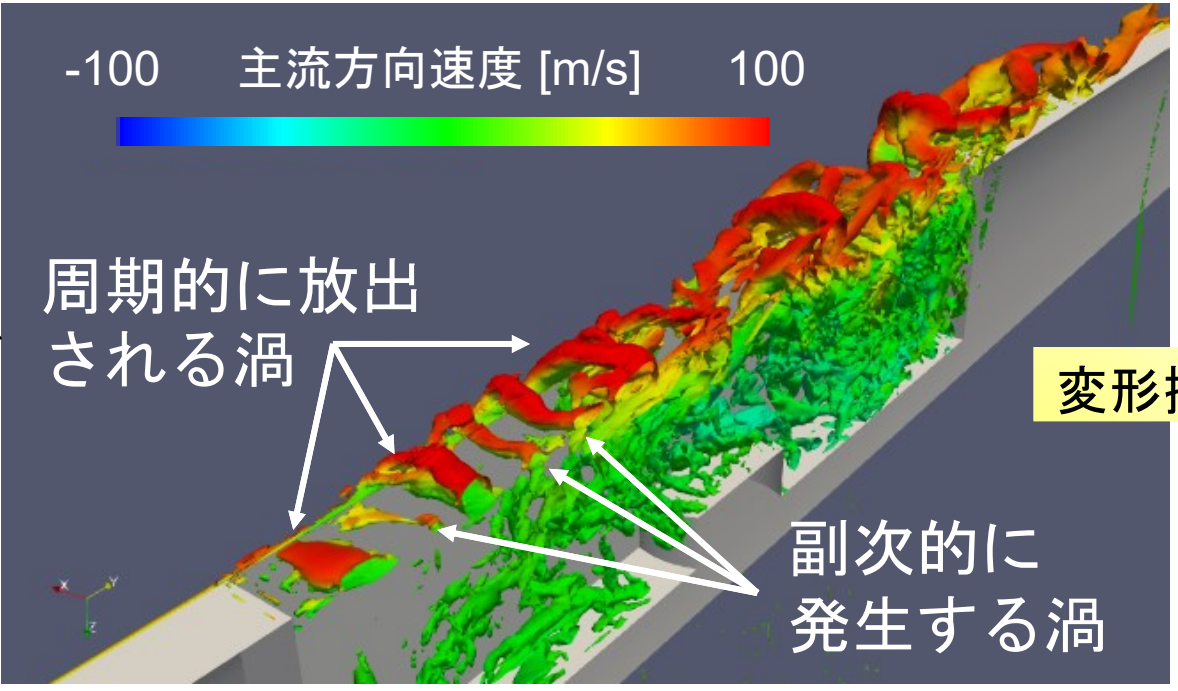
基本形状



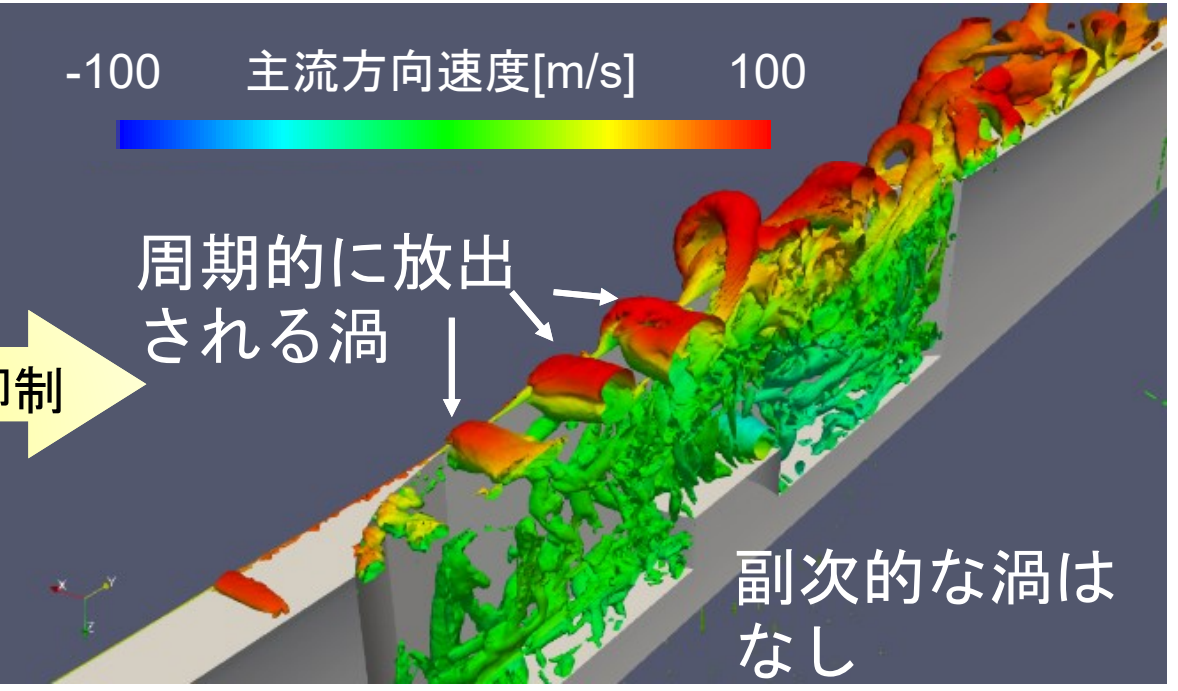
隅部丸み付け

隅部丸み付けにより、渦の強さが低減

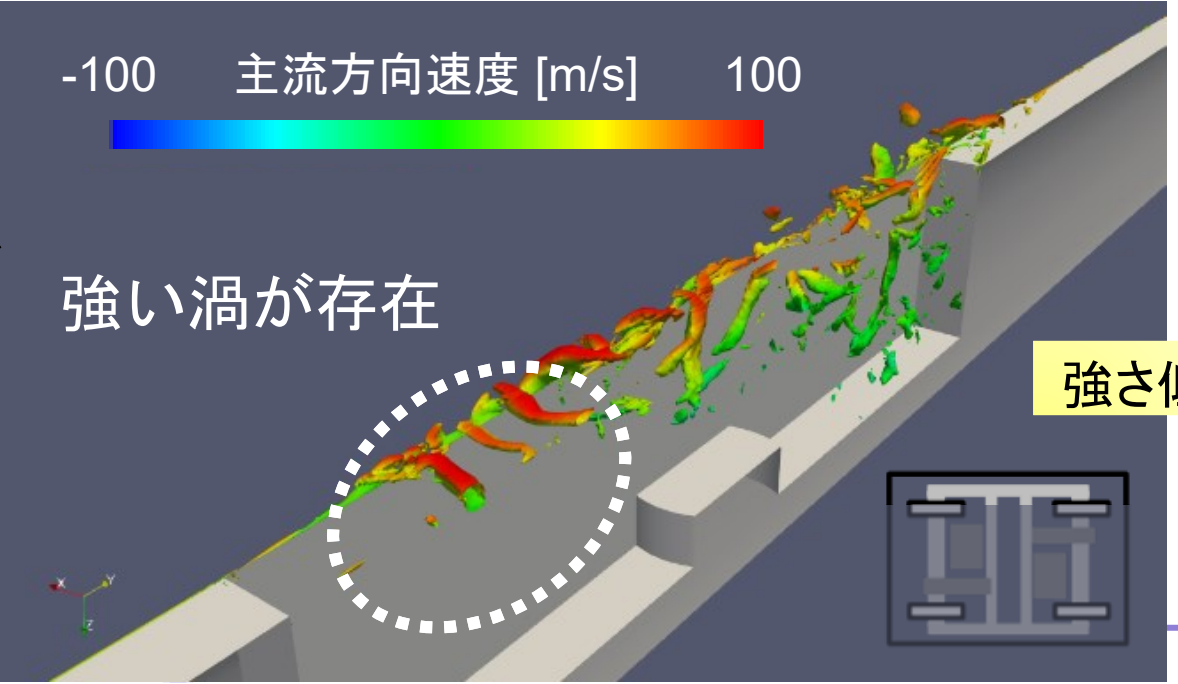
Q=10,000



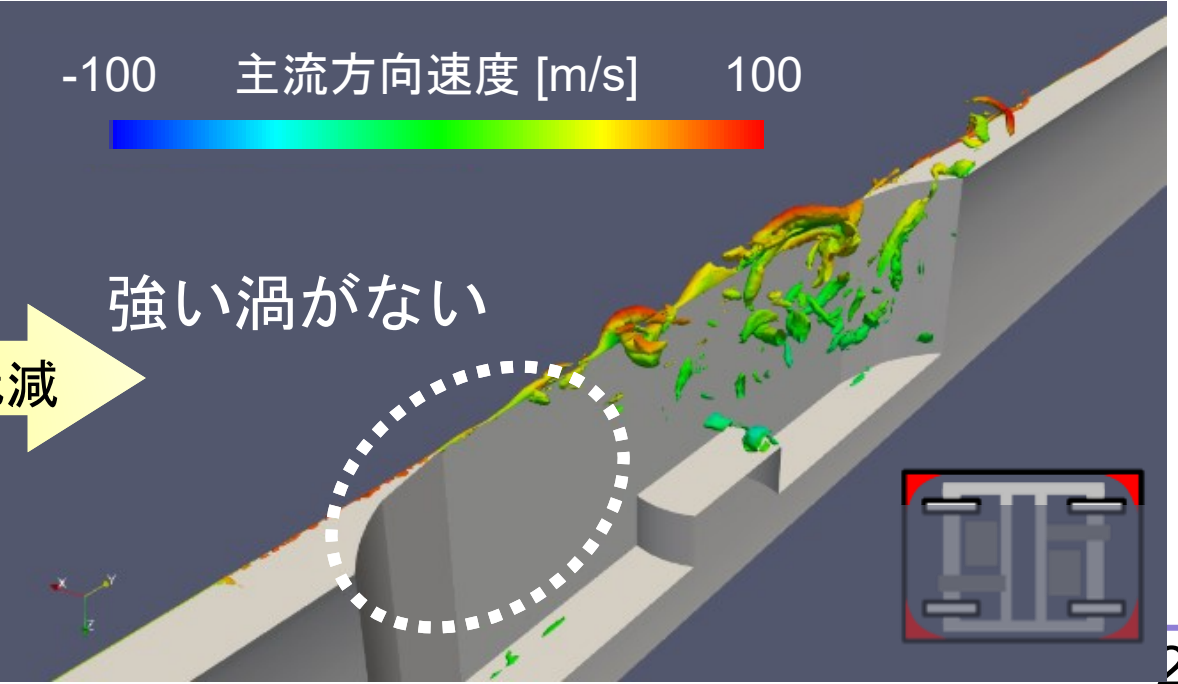
変形抑制



Q=250,000



強さ低減



本日の発表

- ◆ 新幹線走行時に発生する騒音 / 台車部空力音の低減手法
- ◆ 台車部空力音の低減メカニズムの調査
- ◆ まとめ・成果の活用

まとめ・成果の活用

台車キャビティの隅部丸み付けによる流れ場の変化を調査した

◆ 台車部付近の流れ場（基本形状）

- ✓ 台車キャビティ前縁から渦が周期的に放出
- ✓ 渦の衝突により圧力変動のRMSが局所的に増加

◆ 隅部丸み付けによる流れ場の変化

- ✓ 渦の変形が抑制、渦の強さが低減

◆ 成果の活用：台車部空力音低減対策の検討

参考文献

1. 長倉清, 善田康雄: 新幹線沿線騒音予測手法, 鉄道総研報告, Vol.14, No.9, pp.5-10, 2000
2. Toki Uda, Mariko Akutsu, Tsugutoshi Kawaguchi, Yukie Ogata: Sound source distribution of high-speed trains and reduction of aerodynamic bogie noise, Internoise2022, 2022
3. [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](#)
4. T. Uda, T. Kitagawa: Aerodynamic bogie noise generated from high-speed trains, IWEE2019, 2019
5. [宇田, 北川: 鉄道車両の台車部空力音に関する音源探査手法および低騒音対策の検討, 日本機械学会論文集, Vol.86, No.888, p.20-00025, 2020](#)
6. [宇田, 北川: 音響透過板を用いた台車部空力音の測定および評価手法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.3, pp.29-34, 2020](#)