

# 新幹線の台車構成機器が車両下部空力音に及ぼす影響

山崎 展博\* 宇田 東樹\* 北川 敏樹\* 若林 雄介\*\*

## Influence of Bogie Components on Aerodynamic Bogie Noise Generated from Shinkansen Trains

Nobuhiro YAMAZAKI Toki UDA Toshiki KITAGAWA Yusuke WAKABAYASHI

Aerodynamic bogie noise generated from Shinkansen trains is the main source of the noise when they are running at above 300 km/h and its reduction is one of the important issues in conserving the environment along the railway lines. In order to reduce the bogie noise efficiently, it is important to evaluate the contribution of the bogie components to the aerodynamic bogie noise. The purpose of this paper is to estimate their contributions at the measurement point close to the track. The wind tunnel test was carried out to estimate the two dimensional sound pressure level distributions around the bogie using a two dimensional microphone array. Both the noise contribution of each component and the measures to reduce the aerodynamic noise are investigated by arranging the component in the bogie model.

キーワード：台車部空力音，マイクロホンアレイ，風洞試験

### 1. はじめに

新幹線から発生する騒音については、300km/h以上の高速域で走行する場合に車両下部空力音の影響が大きくなるとの試算が得られている<sup>1)</sup>。筆者らはこれまで、台車部の流入箇所におけるまくらぎ方向の流速分布を模擬した風洞試験で、台車部空力音の定量的評価を行う手法を提案している<sup>2)</sup>。この手法による台車部空力音の推定結果から、特に500Hz帯以下の周波数域においては、車両下部音に対する台車部空力音の寄与が大きいたことが示されている。ただし新幹線車両の台車部には複雑な形状の台車機器が設置されているため、今後台車部空力音の低減化対策を講じるにあたっては、音源箇所ならびに音源別寄与度を詳細に把握することが重要となる。

本研究では、台車構成機器や台車部のキャビティ構造（以下、キャビティ）が台車部空力音に与える影響を風洞試験により調査する。また、台車部空力音に対する低減対策手法として、キャビティ端部に突起を取り付ける対策（以下、跳上対策）ならびに台車の下部をカバーで覆う対策（以下、台車下部カバー対策）について検討を行った。

### 2. 風洞試験による台車部空力音の評価法

#### 2.1 風洞試験の概要

台車部空力音の測定を行うため、公益財団法人鉄道総合技術研究所が所有する大型低騒音風洞の開放型測定部

\* 環境工学研究部 騒音解析研究室

\*\* 東日本旅客鉄道株式会社 先端鉄道システム開発センター

において、縮尺車両模型を用いた風洞試験を実施した(図1)。車両模型および騒音測定装置の設置図を図2に示す。開放型測定部の支持台車上に1/7縮尺車両模型(1.5分)を設置し、この床下部に後述する台車模型を設置した。台車部流入箇所におけるまくらぎ方向の流速分布について、ノズルまわりの自由せん断層内に模型を設置することにより、現車試験で得られた中間車両(先頭車両から5両目)の流れ場を模擬した。ただしこの流入条件で発生する台車部空力音は風洞自体の暗騒音に比べて小さいため、無指向性マイクロホンでは十分な測定精度が得られない。そこで、二次元マイクロホンアレイを台車部側方に設置し、車両模型の上流側に遮音板を設置したうえで、得られた台車部まわりの二次元音圧レベル分布図から、レール近傍での騒音測定点(近接レールから側方に2m離れ、R.L.+0.4m)に相当する位置での音圧レベルを推定した<sup>2)</sup>。ノズルの出口部における風洞主流速

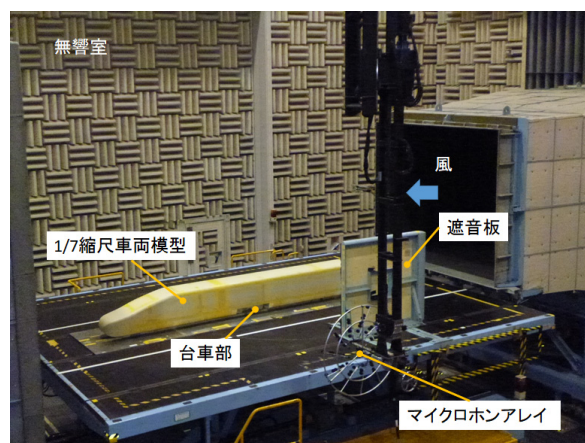


図1 大型低騒音風洞における試験状況

特集：空気力学・騒音

は、新幹線の営業線における走行速度を考慮し 320km/h とした。

なお、本報告での本文ならびに図表における模型の寸法は、特に記載の無い限り縮尺スケール（現車スケールの 1/7）とする。また周波数は周波数重み付け特性 A をかけた現車換算スケールで表記する。

2.2 台車構成機器の検討項目

車両模型の床下に設置した台車構成機器を図 3 に示す。台車の構成機器を精密に模擬した模型（以下台車模型）をキャビティ内に設置した。また、この台車模型は車輪、主電動機などの機器が着脱可能となっている。なお騒音測定時にはいずれの条件でも台車部の両側を覆

う側カバーを取り付けた。解析対象とする現車換算後周波数域は、基準条件の音圧レベルと暗騒音レベル（台車部を完全平滑とした条件での音圧レベル）との音圧レベル差がマイクロホンアレイで 4dB 以上となっている 125Hz ～ 1kHz 帯とした。各台車構成機器の台車部空力音に対する音源別寄与度を調査するため、構成機器を着脱した場合の騒音変化を調べた。

今回の風洞試験で評価を行った台車構成機器は、図 3 に示す輪軸、ギヤケース、主電動機、逸脱防止ガイド（以下、ガイド）、ブレーキ装置および軸箱である。台車構成機器ならびに着脱条件を表 1 に示す。条件 St-1 は表 1 に示す全ての台車構成機器ならびに側カバーを取り付けた基準となる条件（以下、台車基準条件）である。ま

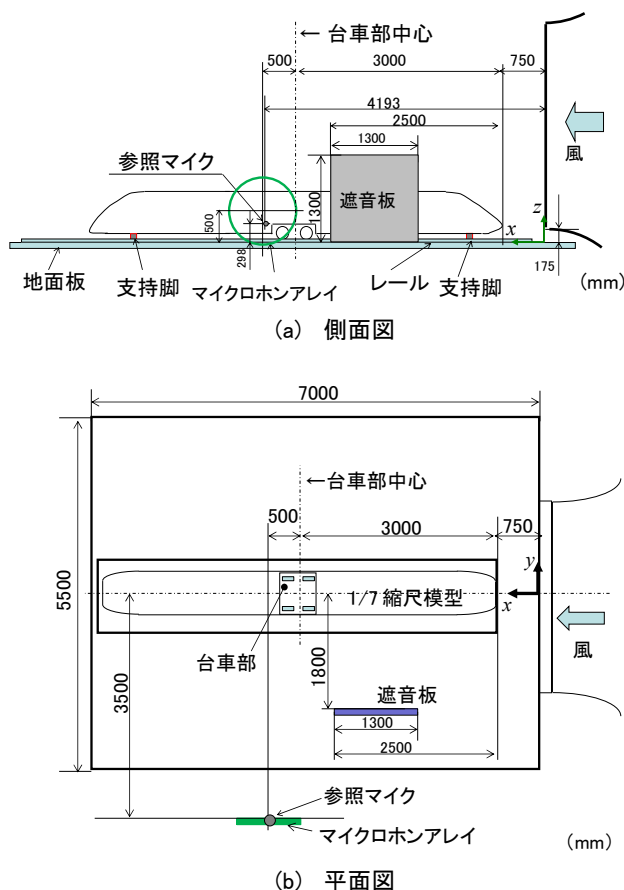


図 2 風洞試験における供試体および測定装置の設置図

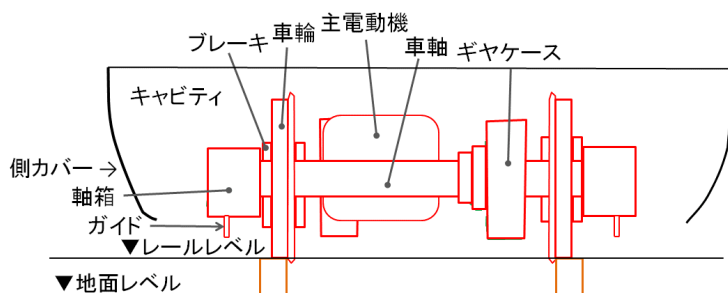


図 3 台車部における台車構成機器の配置

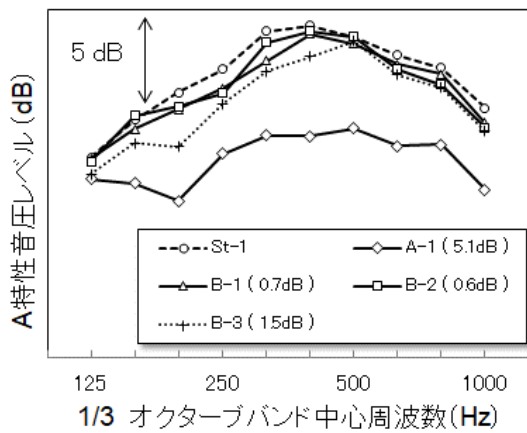


図4 ギヤケースおよびガイドが台車部空力音に及ぼす影響（ ）内は O.A. 値での低減量

た条件 A-1 は台車装置をすべて取り外し，台車部がキャビティのみとなっている状態である（以下，キャビティ条件）。条件 B-1, B-2 は，輪軸を取り付けた条件下で，条件 B-3 および C-1～C-4 は輪軸およびギヤケースを取り外した条件下で各機器の着脱を行った。

### 2.3 台車構成機器の寄与率算出法

台車構成機器の有無が台車部空力音に与える影響については，台車部空力音の周波数スペクトル，ならびに 125Hz 帯から 1kHz 帯での O.A. 値に関する台車基準条件とのレベル差（以下，騒音低減レベル）で評価する。なお騒音低減量の表記については，台車基準条件に対して騒音低減効果がある場合を正とする。

本研究では，表 1 に示す各条件での音圧レベルの O.A. 値から，各台車構成機器等の音源寄与率を下記 (1)～(7) により算出する。ここで右辺の音圧レベルの下添え字は表 1 に示す条件を表わす（例：条件 A-1 の場合での O.A. 値は  $L_{A-1}$ ）。また本研究では，各構成機器から

発生する空力音は機器の取り外しによる流れ場の変化の影響を受けず，パワーの重ね合わせが成り立つものと仮定する。

- (1) ギヤケース  

$$r_G[\%] = \left\{ \left( 10^{L_{St-1}/10} - 10^{L_{B-2}/10} \right) / 10^{L_{St-1}/10} \right\} \times 100$$
- (2) 輪軸  

$$r_W[\%] = \left\{ \left( 10^{L_{B-2}/10} - 10^{L_{B-3}/10} \right) / 10^{L_{St-1}/10} \right\} \times 100$$
- (3) ガイド  

$$r_S[\%] = \left\{ \left( 10^{L_{B-3}/10} - 10^{L_{C-1}/10} \right) / 10^{L_{St-1}/10} \right\} \times 100$$
- (4) 主電動機  

$$r_M[\%] = \left\{ \left( 10^{L_{C-1}/10} - 10^{L_{C-2}/10} \right) / 10^{L_{St-1}/10} \right\} \times 100$$
- (5) 軸箱  

$$r_{AB}[\%] = \left\{ \left( 10^{L_{C-2}/10} - 10^{L_{C-3}/10} \right) / 10^{L_{St-1}/10} \right\} \times 100$$
- (6) ブレーキ装置  

$$r_B[\%] = \left\{ \left( 10^{L_{C-3}/10} - 10^{L_{A-1}/10} \right) / 10^{L_{St-1}/10} \right\} \times 100$$
- (7) 台車キャビティ構造  

$$r_C[\%] = \left( 10^{L_{A-1}/10} / 10^{L_{St-1}/10} \right) \times 100$$

### 3. 台車構成機器による寄与度の推定結果

#### 3.1 台車構成機器が空力騒音へ与える影響評価

台車部標準条件 (St-1) に対し，輪軸，ギヤケース (B-3)，ガイド (B-1) ならびにギヤケース (B-2) を取り外した場合の影響を図 4 に示す。なお，凡例中の ( ) 内の数値は騒音のオーバーオール値 (O.A.) での低減量を示す。輪軸とギヤケースの取り外し (B-3) により広帯域にわたって音圧レベルが低減するが，騒音の O.A. 値での低減量は約 1.5dB となる。これに対しキャビティ条件 (A-1) での騒音の O.A. 値での低減量は約 5 dB と比較的大きい。これは台車部空力音全体に対する寄与度としては，輪軸やギヤケース以外の部位による影響も考慮する必要があることを示している。

表 1 台車構成機器の着脱条件

Case	台車	輪軸	ギヤケース	主電動機	ガイド	ブレーキ装置	軸箱
St-1	○	○	○	○	○	○	○
A-1	×	/	/	/	/	/	/
B-1	○	○	○	○	×	○	○
B-2	○	○	×	○	○	○	○
B-3	○	×	×	○	○	○	○
C-1	○	×	×	○	×	○	○
C-2	○	×	×	×	×	○	○
C-3	○	×	×	×	×	○	×
C-4	○	×	×	×	×	×	×

凡例 ○：設置，×：未設置

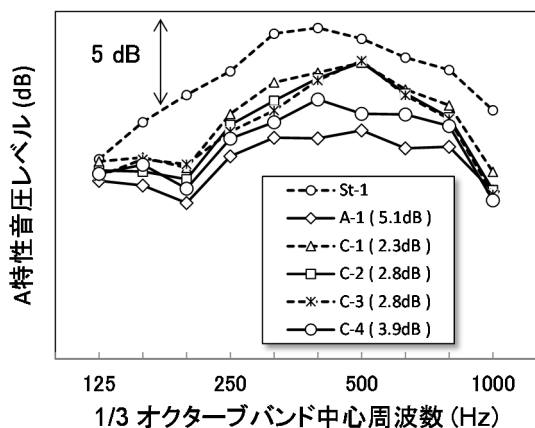


図5 主電動機，ブレーキ装置が台車部空力音に及ぼす影響（ ）内は O.A. 値での低減量

ギヤケースあるいはガイドの取り外しにより，いずれの機器でも 200Hz 帯～315Hz 帯で最大 2dB 程度音圧レベルが低減するが，騒音の O.A. 値での低減量は約 1dB である。

主電動機ならびにブレーキ装置による影響を図5に示す。輪軸，ギヤケースおよびガイドを取り外した条件 (C-1) での騒音の O.A. 値での低減量が約 2dB である。さらに主電動機 (C-2) 及びブレーキ装置 (C-4) を取り外すことにより騒音の O.A. 値での低減量がさらに 1～2dB 大きくなる。

### 3.2 空力騒音に対する台車構成機器の寄与率

台車基準条件に対する台車構成機器の音源寄与率を図6に示す。なお「その他」には軸箱の寄与 ( $r_{AB} = 1\%$ ) も含まれている。この結果から，台車部空力音全体に与える影響として，輪軸のみならずギヤケースやブレーキ装置，主電動機といった台車キャビティ内部に位置する機器の影響も大きいことがわかる。また，キャビティ構造自体から発生する騒音の寄与率は 30% 程度である。

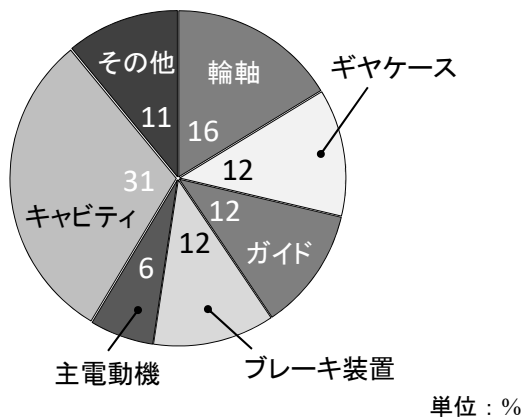


図6 各台車構成機器からの発生音の台車部空力音全体に対する寄与率  
(列車速度：320km/h，中間車両での流れ場模擬)

## 4. 台車部空力音に対する対策案の基礎検討

### 4.1 騒音低減対策法の概要

図6で示した台車構成部位の音源別寄与度の推定結果から，車両下部から露出している車輪やガイドのみならず，台車キャビティ内部に位置する台車構成機器による影響も大きいことが分かった。これらの部位から発生する騒音を低減するため，台車キャビティ内部に流入する流れを抑制する手法として，以下に示す跳上ならびに台車下部カバーについて検討を行った。

#### (1) 跳上

台車キャビティ端部に突起を取り付ける手法である。流れを軌道面側に向けるため，図7に示すような断面形状が三角形の跳上材を，台車キャビティ端部のまくらぎ方向に設置した。図8に示す通り，台車基準条件に対し

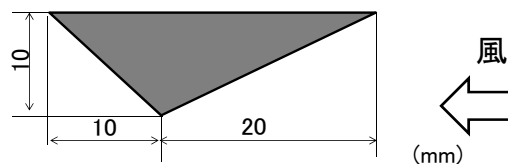


図7 跳上材の断面図

表2 跳上材の設置条件

Case	台車部条件	長さ mm
St - 2	標準	-
D - 50	標準	200
D - 75	標準	300
D - 100	標準	400
D - 100C	キャビティ	400

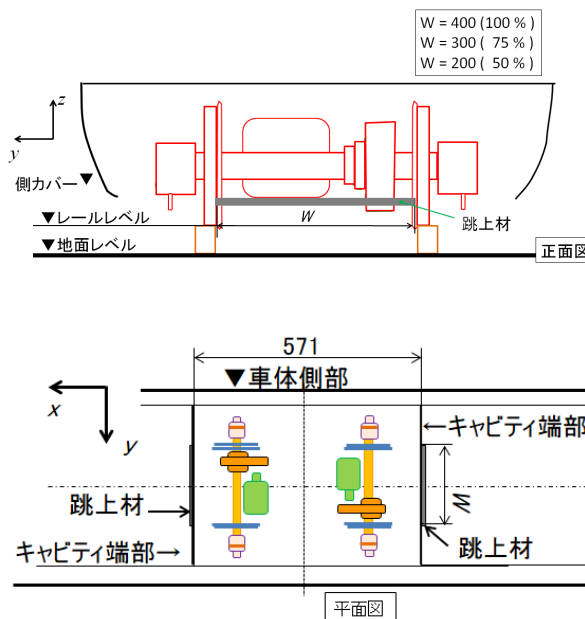


図8 キャビティ端部における跳上材の幅条件

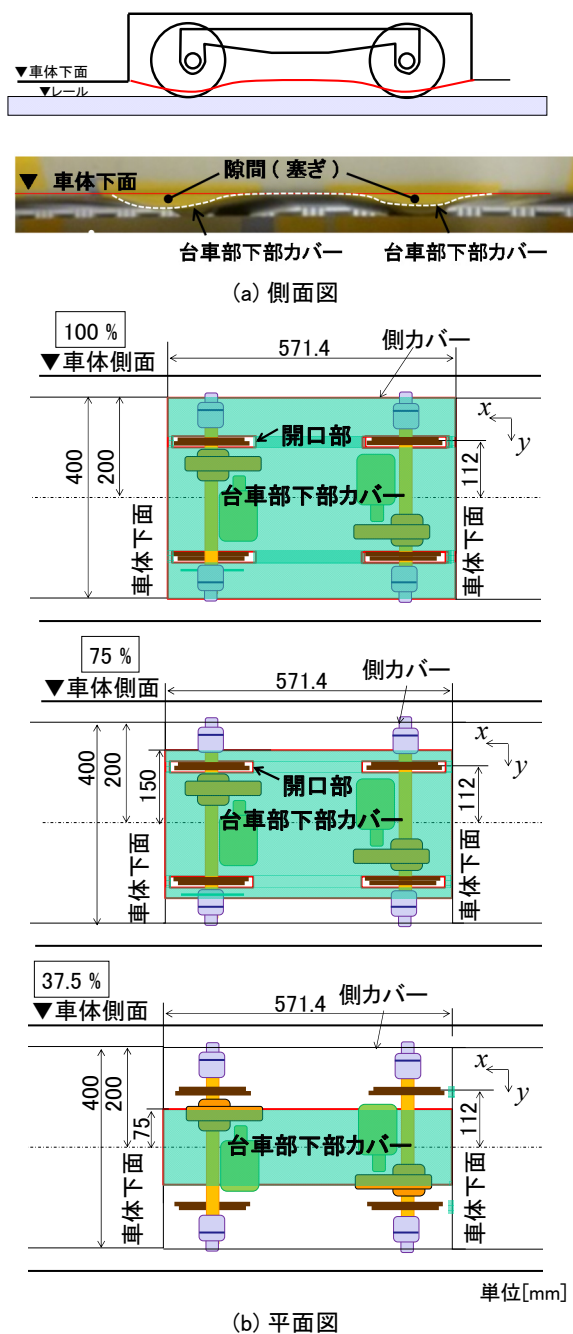


図9 台車部下部カバーの幅条件

て、キャビティのまくらぎ方向幅 (400mm) に対する長さを 100%、75% および 50% とした幅  $W$  の跳上材を取り付けた場合の影響を調べた。さらに、台車構成機器を取り外した条件でまくらぎ方向に 100% の長さの跳上材を取り付けた条件での測定を行い、跳上材設置条件下における台車構成機器の有無による影響を調べた。跳上材の設置条件表を表 2 に示す。

(2) 台車下部カバー

台車キャビティ内部への流入を防ぐため、台車キャビティ下面をカバーで覆う方策である。図 9 に示す通り台車下部のまくらぎ方向について、キャビティ幅 (400mm)

に対して 100%、75%、37.5% を覆う条件について検討を行った。平面図に示す車輪まわりの開口部の  $x$  軸方向ならびに  $y$  軸方向寸法は 105mm および 24mm である。まくらぎ方向カバー範囲を 100% とした場合に生じる、側カバー下端部と下部カバーとの間の隙間を塞いだ状態についても検討を行った。なお、本研究で検討した台車下部カバー形状については、騒音低減効果の可能性を検討するためのものであり、実際の適用に当たっては車両限界や走行に伴う車輪の変位を考慮した検討が必要である。

4.2 騒音低減対策法の評価

跳上材のまくらぎ方向設置範囲と騒音低減効果の関係を図 10 に示す。跳上材の取り付けにより 250Hz 帯以上の周波数帯で音圧レベルが低減するが、十分な騒音低減効果を得るためには 75% 以上の範囲に設置することが必要である。ただし、100% の範囲に設置した場合の騒音の O.A. 値での低減量は約 3dB であり、キャビティ

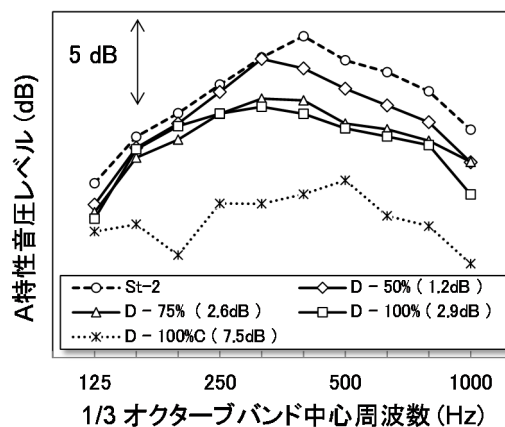


図 10 跳上材による台車部空音の低減効果 (( ) 内は O.A. 値での低減量)

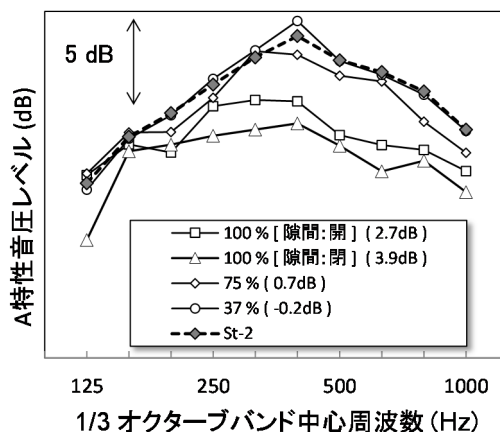


図 11 車両下部カバーによる台車部 (( ) 内は O.A. 値での低減量)

条件に対し跳上材を設置した条件での騒音の O.A. 値での低減量（約 8dB）に比べると小さい。跳上材により十分な騒音低減効果が得られなかった要因としては、キャビティから露出している車輪から騒音が発生していること、あるいはキャビティの上流側端部で下向きに偏向した流れが再びキャビティ内部へと流入することにより、台車構成機器やキャビティの下流側端部で騒音が発生している可能性が考えられる。

台車下部カバーが台車部空力音に与える影響を図 11 に示す。まくらぎ方向のカバー率を 100% とすることにより 315Hz 帯以上の音圧レベルが減少し、隙間を塞いだ条件では騒音の O.A. 値での低減量が約 4dB となる。ただし跳上材設置の場合と同様に、キャビティ条件に対する低減量（約 8dB）に比べると小さい。これについては、流れに露出している車輪から発生する騒音や、カバー端部で剥離する流れの乱れによる騒音の影響が考えられる。なお、まくらぎ方向のカバー率が 37.5% および 75% の場合には有意な低減効果が得られていない。この要因としては、台車キャビティの開口部から台車内部への流れを十分抑制できていないこと等が考えられる。

## 5. まとめ

新幹線の車両下部流れ場を模擬した風洞試験により、台車部空力音に対する台車構成機器の音源別寄与度評価を行った。その結果、台車部空力音に対してキャビティ

外部に露出している車輪のみならず、台車キャビティ内部に設置されている主電動機やブレーキディスク等の台車構成機器、およびキャビティ構造の影響が大きいことを示した。

この結果をうけて、台車部空力音の低減対策について、基礎的検討を行った。台車キャビティ内部へ流入する流れを抑制するための対策として、台車キャビティ端部に跳上材を設置する手法ならびに台車部下部をカバーで覆う手法について、形状ならびに設置位置を変えて検討を行った。キャビティ条件に対し跳上材を設置した条件での標準条件に対する騒音の O.A. 値での低減量が約 8dB であるのに対し、跳上材をまくらぎ方向全域に渡って敷設することにより得られる低減量は約 3dB である。また、まくらぎ方向全域に車両下部カバーを敷設し、側部の隙間も塞ぐ対策を施した場合の低減量は約 4dB となる。

今後は、台車部空力音の発生に密接に関連する台車内部の流れ場の状況について調査を行うとともに、より効果的な騒音低減対策の検討を行う予定である。

## 文献

- 1) 飯田雅宣, 高速化のための沿線環境の評価・対策, Railway Research Review, Vol.72, No.7, pp.44-47, 2015
- 2) 山崎展博, 長倉清, 北川敏樹, 宇田東樹, 若林雄介: 風洞試験を用いた新幹線車両下部から発生する空力音の評価手法, 鉄道総研報告, Vol.29, No. 5, pp.17 - 22, 2015