

# 鉄道騒音の音源可視化

北川 敏樹

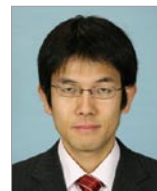
環境工学研究部  
(騒音解析 主任研究員)

山崎 展博

総務部  
(人事)



きたがわ としき



やまざき のぶひろ

## 鉄道騒音と音源解析

鉄道沿線で測定される騒音は、様々な音が複雑に絡み合っています。最も鉄道らしい音は、車輪とレールから発生する車輪・レール間音ですが、そのほかにも主電動機の冷却用ファンや駆動装置から発生する車両機器音、鋼橋やコンクリート高架橋から発生する構造物音、高速で走行する車両と空気との相互作用によって発生する空力音などがあり、これらの騒音の発生源は多岐にわたっています。このような複合音に対してやみくもな対策を行っても、沿線騒音の低減につながる効果は期待できません。したがって、鉄道騒音を効果的に下げるためには、その様々な騒音がどこから発生しているのか、それぞれがどれだけ観測点における騒音に寄与しているのかを把握し、最も大きな寄与を持つ音源から順番に対策を施すことが必要になります。

鉄道騒音が問題となっていた初期の頃は、主な音源は転動音や鉄桁橋の振動による騒音などでした。これらの騒音は音源が何であるかは一目瞭然であり、対策も比較的簡単でした。しかし、このような目立った音源に対する対策は既に行われており、現在では、一見しただけでは、どの騒音の寄与が大きいのかはわからなくなってきています。したがって、鉄道騒音の音源を特定し、それぞれの観測点における寄与を評価する手法、すなわち音源解析法の開発

を進めることが重要です。このため、鉄道総研では、車両まわりにある音源の位置やその大きさを正確に捉える方法、すなわち音源を可視化する技術の開発を行っています。ここでは、鉄道騒音における音源の可視化方法として用いられている装置とその測定結果について紹介します。

## 音響インテンシティ装置

音は、ある大きさと方向を持って伝搬します。一般的な騒音測定で用いられる無指向性マイクロホンはある地点における騒音レベルを測定しますが、この騒音レベルは方向に関する情報を含んでいないスカラー量です。したがって、その地点における音の大きさに関する情報はわかっても、音がどこから伝搬するかという情報はわかりません。音の大きさと伝搬方向に関する情報を知るためには、音響インテンシティ装置を用います。音響インテンシティとは、音圧と粒子速度の積の時間平均を示すベクトル量で、単位時間に単位面積を横切って流れる時間平均音響エネルギー量です。音響インテンシティ装置では、近接した位置にある2つのマイクロホンから粒子速度と音圧を求め、音響インテンシティを測定します。測定された値は、音のエネルギーのベクトル量、つまり音のエネルギーが流れる方向と大きさを表します。したがって、測定されたベクトルの起点を遡ることによって音源の位置を推定することができます。

レール近傍点に設置した3本の2次元インテンシティプローブで、新幹線の付随車が通過した時における音響インテンシティのベクトル(オーバーオール値)を測定例が図1です。ベクトルの起点は、3カ所の測定点ともにレールまわりにあります。この場合、車両下部まわりで発生する騒音の主な音源がレールであることがわかります。

## 楕円体收音装置

楕円体收音装置(以下、楕円体装置)は、楕円の一部を長軸周りに回転させた形状の反射板の近接側焦点位置にマ

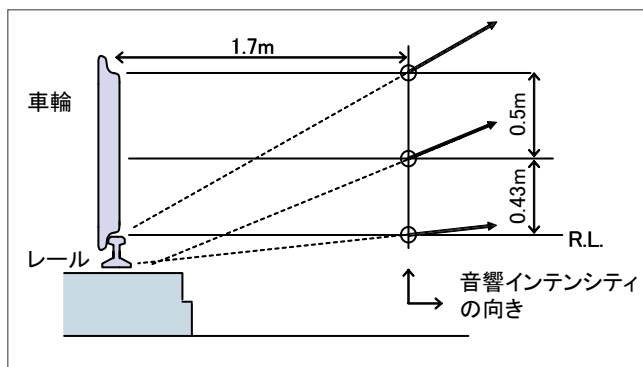


図1 新幹線の付随車通過時の音響インテンシティの方向

マイクロホンを設置したものです(図2)。遠隔側焦点位置にある音源からマイクロホンに到達する音波の位相が一致するために、この位置に対して高い感度と鋭い指向特性が得られ、5~20kHzの周波数域では音源評価面上のわずか10cm程度の距離にある2つの音源を分離して計測することができます。ただし、この感度と指向特性は音波の周波数に依存するので、計測結果から音源の大小を評価する場合には、感度と指向特性を考慮した周波数ごとの補正を行う必要があります。

風洞試験において、この装置を用いて、1/5縮尺新幹線車両模型から発生する空力音の音源分布を計測した例を図3に示します。車両各部から発生する空力音の詳細な音源分布がとらえられていることがわかります。

### マイクロホン配列型楕円体收音装置

風洞試験では、音源が静止しているため、楕円体装置を車両表面に沿って移動させながら測定することにより、車両の音源分布を測定することができます。しかし、現車試験では、音源が移動するため、同じような測定をすることはできません。そこで、現車試験用の計測装置として、反射板の焦点付近に複数のマイクロホンを鉛直方向に配列した楕円体收音装置(マイクロホン配列型楕円体收音装置)の開発を行いました。

マイクロホンを焦点からずらして設置した場合、音源面において別の位置(マイクロホンをずらした方向と逆方向にずれた位置)から発生する音を近似的に捉えることができます(図4)。この原理を利用すると、複数のマイクロホンを鉛直方向に配列することにより、それぞれのマイクロホンに対応して、高さ方向の複数の点から発生する音を同時にとらえることができます。また、水平方向の音源分布は、観測点の正面を通過していく列車から放射される騒音の時系列データを解析することによって得ることができますので、車両まわりの音源分布を計測することができます。

この装置によって得られた新幹線車両から

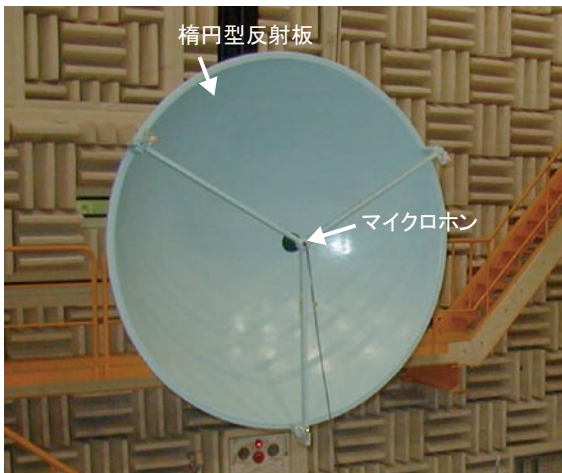


図2 楕円体收音装置

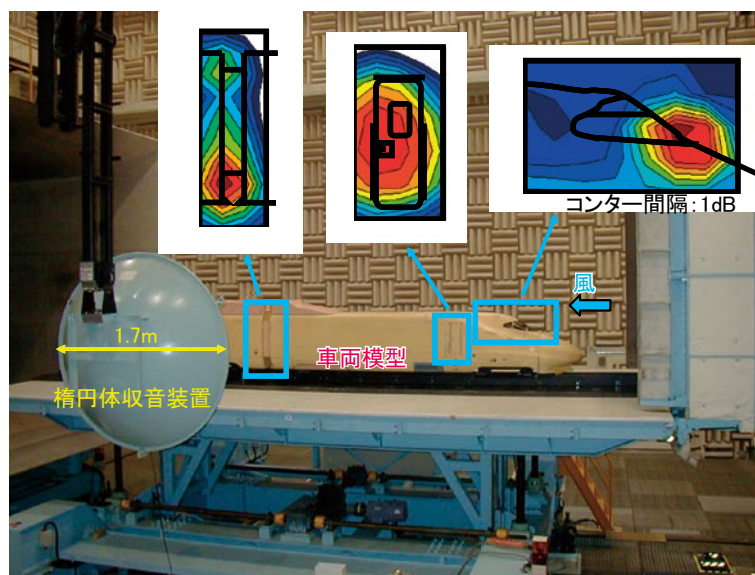


図3 楕円体收音装置で測定した1/5縮尺新幹線車両から発生する空力音の音源分布

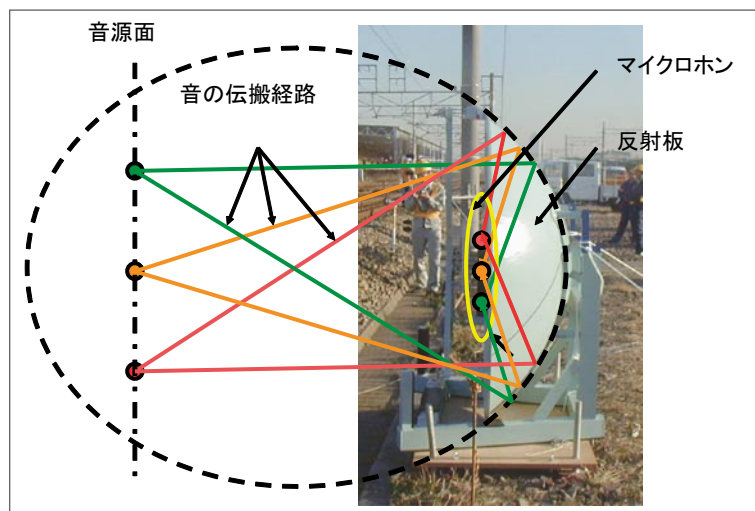


図4 マイクロホン配列型楕円体收音装置の原理

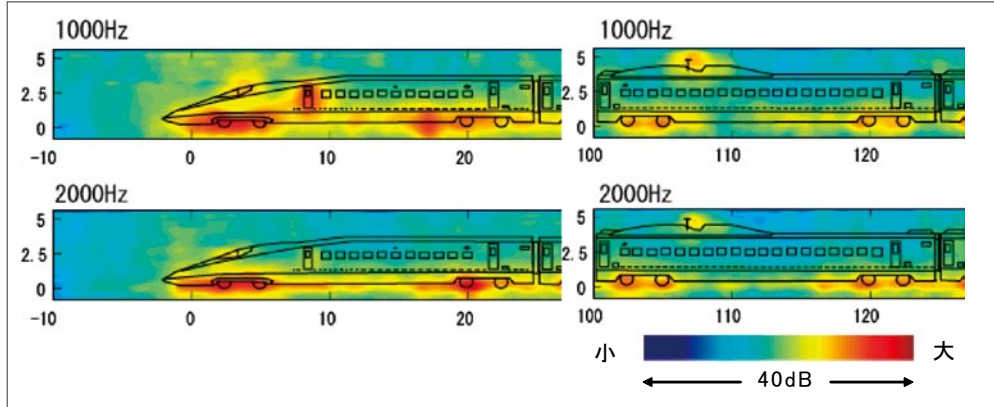


図5 マイクロホン配列型楕円体收音装置で得られた新幹線車両の音源分布

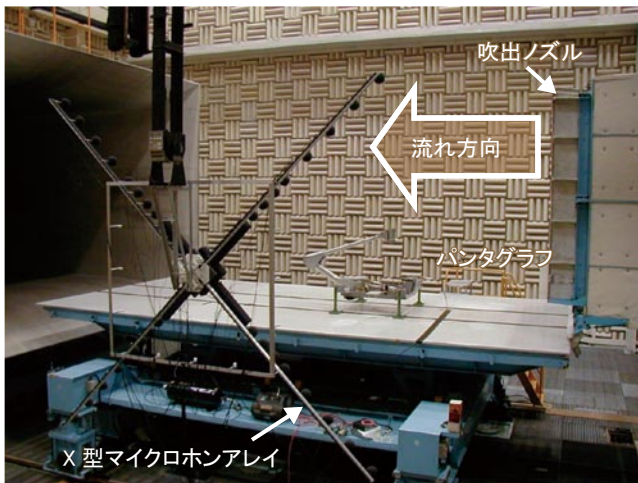


図6 X型マイクロホンアレイ

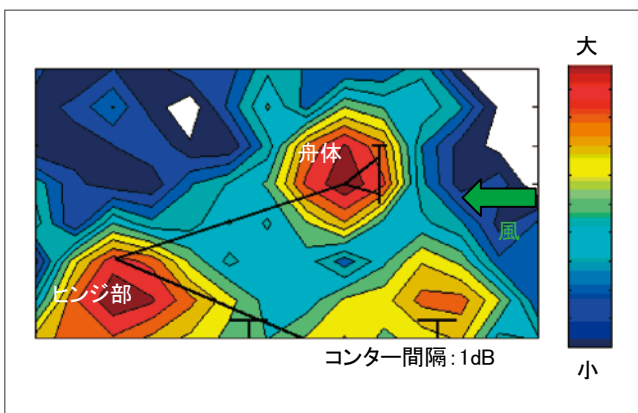


図7 パンタグラフの空力音分布(2000Hzバンド)

発生する騒音の音源分布の測定例を図5に示します。この装置での高さ方向の測定範囲は2m程度であるため、車両全体の音源分布を得るために装置の高さを変えながら数回に分けて測定しています。その結果、新幹線の主要音源である台車部やパンタグラフに強い音源があることがあらためて確認されたほか、乗務員ドア位置に1000Hzバンドで強い音源があること、運転席窓のワイパーに対応する位置にも音源があること、車両下部のスカート高さあるいはレール位置付近に音源が帯状に分布していることなどがわかりました。

### X型マイクロホンアレイ

マイクロホンアレイ(以下、アレイ装置)とは、複数の無指向性マイクロホンを空間的に配列し、各マイクロホンの音圧出力に信号処理をすることにより音源の空間的な情報を得る装置です。また、アレイ装置から得られる情報はマイクロホン配列に依存します。現車試験で広く用いられているアレイ装置は、マイクロホンを線路方向に配列したもの(1次元アレイ装置)で、線路方向に分布する音源分布の測定に役立ちます。鉄道総研では、車両まわりの二次元音源分布の計測を行うために、X型マイクロホンアレイを開発しました。この装置は、2組の1次元アレイ装置を交差型に配列したものです(図6)。この装置では、2組のアレイ装置の出力に対してクロススペクトルを取ることで鋭い指向特性を持つように工夫され、その音源分解性能は楕円体装置と同じ程度になっています。また、信号処理方法に改良を加え、X型マイクロホンアレイの指向方向を変えることもできます。

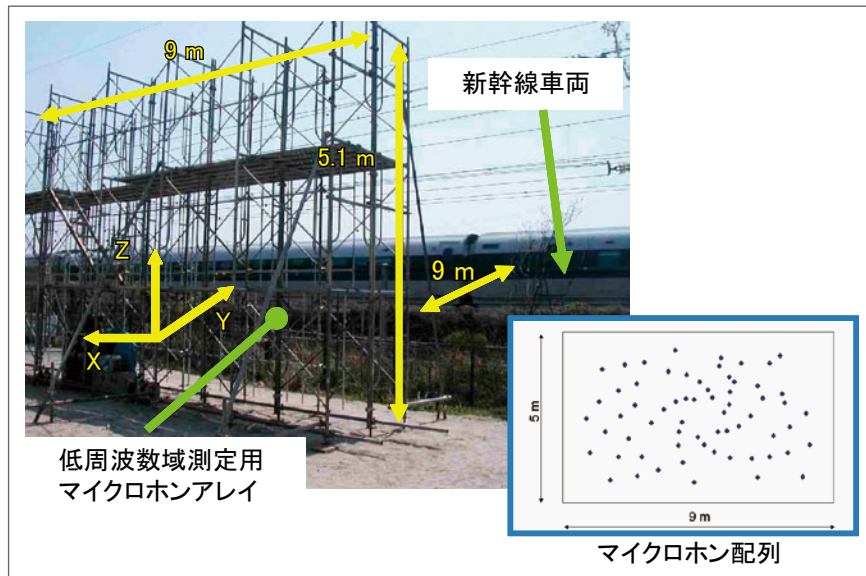


図8 低周波数域測定用マイクロホンアレイ

図7は、X型マイクロホンアレイを用いて、風洞において低騒音パンタグラフから発生する空力音の音源分布を測定した例です。舟体、ヒンジ部、パンタグラフ支持部が主要音源であり、これらの部分の形状改良が必要であることがわかります。

### 低周波数域測定用マイクロホンアレイ

鉄道騒音に対する低減対策が進むに従って、騒音対策の対象となる周波数帯も幅広い範囲になっています。これまでに紹介した指向性マイクロホンは、主に500Hz以上の周波数域を対象とした車両まわりの音源分布の測定を行ってきました。その一方で、500Hz以下の周波数域における音源分布に関する知見はあまり十分ではありませんでした。そこで、鉄道総研では、125～500Hzにおける車両まわりの音源分布を測定するために、低周波数域測定用マイクロホンアレイを開発しました。この装置は、らせん配列型マイクロホンアレイから構成されています(図8)。このマイクロホン配列は、計測結果において実際には音源がない位置に信号処理によって音源があるかのように評価してしまう影響(ゴースト)を少なくするために有効な方法です。低周波数域における音源分布の測定を行うためには、音の波長に対してマイクロホンの配列領域を広くする必要があります。また、配列領域が広いほど優れた指向特性を得ることができます。したがって、マイクロホンの配列範囲を高さ5m×幅9mにしています。250Hzバンドにおける新

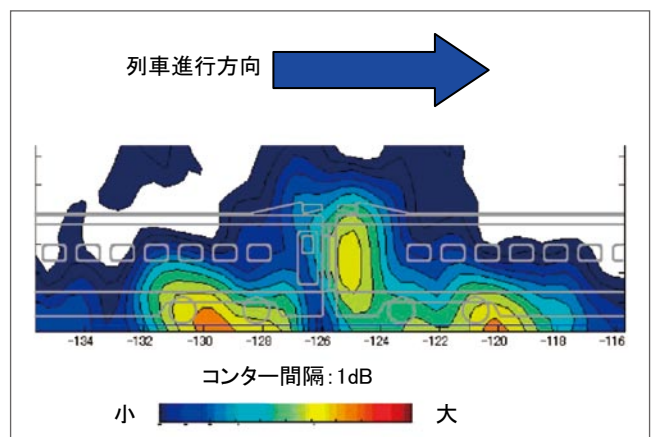


図9 低周波数域測定用マイクロホンアレイによる新幹線車両の音源分布測定例(車間部付近、列車速度: 300 km/h, 250 Hzバンド)

幹線車両まわりの音源分布の測定例を図9に示します。本装置を用いることにより、低周波数域における車両下部や車間部付近の騒音源が明瞭に捉えられています。

### おわりに

鉄道騒音の音源可視化に用いられている測定装置の概要とその結果について紹介しました。鉄道騒音を効果的に低減するためには、沿線騒音に対して寄与を持つ音源を正確に把握することが必要であり、今後も新たな音源探索法および音源分離法の開発に取り組んでいく予定です。RRR