

## 在来特急用低騒音空調ダクトの開発 (屋根上空調方式)

横山 義彦\* 橋本 克史 (JR東日本)  
 笹尾 博行(大気社) 小川 敦 (日本ノイズコントロール)

Development of Low Noise Air-conditioning Duct for Express Train Vehicle by On-roof Air-conditioning  
 Yoshihiko Yokoyama\*, Katsufumi Hashimoto (East Japan Railway Company)  
 Hiroyuki Sasao (TAIKISHA LTD.), Atsushi Ogawa (Nippon Noise Control LTD.)

The air conditioning unit is set up on the roof because there are a lot of equipments under the floor excluding recent express train for DC section and Shinkansen vehicle. Especially, quietness is demanded in express train and Shinkansen vehicle, however the noise of on-roof air-conditioning system is large in passenger compartments. Then, the low noise air-conditioning duct for express train vehicle by on-roof air-conditioning was developed. The air-conditioning duct mock-up that imitated of E653 series was produced, and the evaluation and measures were examined by using it about the noise of the air-conditioning duct. As a result, we were able to reduce the noise by 4. 5dB.

キーワード：屋根上空調方式, 空調ダクトモックアップ, 気流音, 空調装置伝播音  
 (on-roof air-conditioning, air-conditioning duct mock-up, flow noise, air conditioning unit noise)

### 1. はじめに

空調装置は、最近の直流特急車両や新幹線車両以外は床下機器が多いことから屋根上に設置されている。特に優等列車では車内静粛性が求められるが、屋根上空調方式は車内騒音が大きく、静粛性向上が課題となっている。

そこで本開発では、騒音源の一因となっている空調ダクトの見直しを図るため、屋根上空調方式の在来特急車両である E653 系を対象として、以下の手順で低騒音ダクトの開発を行った。

- ①実車相当の空調ダクトのモックアップを製作し、実際に送風することにより騒音発生部位、原因を究明する。
- ②空調ダクトモックアップの検証結果を基に、空調ダクトの低騒音化改良を行う。
- ③開発した低騒音ダクトをモックアップに組み込み、騒音低減効果を確認する。

### 2. 騒音源の特定

(2・1) 空調ダクトモックアップ 空調システムの騒音発生源としては、空調装置と空調ダクトが考えられるが、実車ではこれらを分離して測定・評価をすることが困難である。そこで空調ダクトの測定・評価を行うために実車の空調ダクト系を模擬したモックアップを製作した。その他に、モックアップに所定風量の空気循環を行う送風装置を



図 1 空調ダクトモックアップ

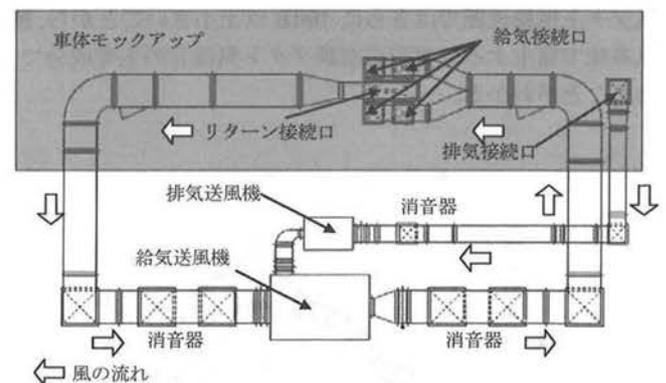


図 2 送風装置

製作し、E653 系空調ダクトの発生音の評価と対策検討のための試験装置を構成した。図 1 に空調ダクトモックアップ、図 2 に送風装置を示す。E653 系は屋根上に 2 台の空調装置

が設置され、それぞれ車両の前方と後方の空調を担当しているが、モックアップでは空調装置 1 台が分担する後方部分の空調ダクトを再現した。また、モックアップは鉄骨枠組み合板貼りにより模擬の客室が構成され、天井に空調ダクトを設置している。空調ダクトには給気ダクトとリターンダクトがあり、リターンダクトは中央に 1 本設置され、その両端に給気ダクトが設置されている。現車ではリターンダクトの端部に排気ファンが設置されており、モックアップでもこの部分を送風装置に接続して排気をしている。

空調ダクトモックアップの給気横引ダクト、リターン横引ダクトの上面にはそれぞれ接続口があり、図 2 に示した送風装置の各接続口と接続する。送風装置には給気送風機と排気送風機が組み込まれており、それぞれインバータにより風量の調整が可能である。送風機の自己騒音低減防止のため、送風機は防音ユニット内に設置し、給気用送風機の前後と排気用送風機の吸込側には消音器を設置した。

また、送風装置内にスピーカを設置してピンクノイズを発生させることにより、空調ダクトの総括減衰量を測定することができ、空調装置発生音を空調ダクトでどれだけ吸音させることができるかを確認することができる。

(2.2) 空調ダクトモックアップの測定

(1) 気流音分析 本モックアップを使用して、空調ダクトの気流音測定を行った。測定位置は、現車における空調装置直下床上 1.2m に相当する位置とした。

気流音測定は、送風用ダクトの組み替えを行うことで空調ダクトの系統別に行った。測定したのは、①給気ダクト単独送風、②リターンダクト単独送風、③排気ダクト単独送風、④全系統送風、の 4 パタンである。

測定結果を図 3 に示す。○の全系統送風に対し、×の給気ダクト単独送風が拮抗する。これらより△のリターンダクト単独送風はオーバーオールで 10dB 以上小さく、□の排気ダクト単独送風ではさらに 10dB 以上小さいことから、給気系統で発生する気流音が空調ダクト気流音の主要成分であることがわかる。

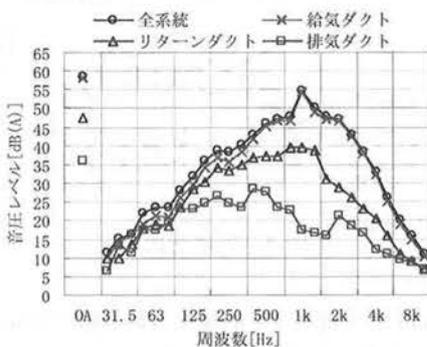


図 3 送風条件による気流音比較

(2) 空調装置伝播音 空調システムによる騒音は空調ダクトの気流音のほかに、空調装置発生音が空調ダクトを通過して車内に伝播する (以下、「空調装置伝播音」とよ

ぶ) ことがわかっている。別に実施した空調装置各接続口の騒音測定結果 (音響パワーレベル) と本空調ダクトモックアップで測定した各ダクトの総括減衰量をもとに算出されるモックアップ内での空調装置伝播音の予測値を図 4 に示す。これによると、A 特性音圧レベルのオーバーオール値は、給気接続口が 58.4dB(A)、リターン接続口が 51.5dB(A)である。以上から、空調装置伝播音対策として、給気用接続ダクトの消音性能向上を図ることで、空調装置伝播音を低減することとした。

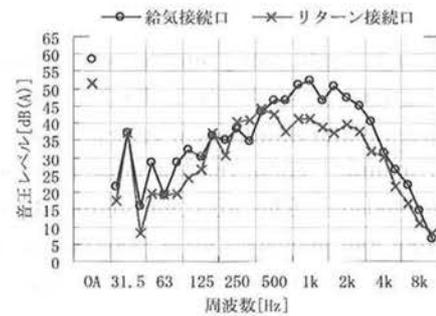


図 4 モックアップ客室内の空調装置伝播音予測結果

3. 低騒音空調ダクトの開発

(3.1) 給気接続ダクト 前章の測定結果を踏まえ、給気接続ダクトに対して、気流音と空調装置伝播音に関する対策を実施することとした。

(1) 気流音対策 現状ダクトは、給気接続ダクトと給気横引きダクト接合部の曲がり部分が直角になっており、送風時に剥離流れとなっている危険があるため、これを曲線とした。対策前後の給気接続ダクトを図 5 に示す。対策前後の給気接続ダクト単体を空調ダクトモックアップに取付けて、ダクト側面で気流音測定を行った (図 6)。気流音測定結果を図 7 に示す。対策によって、気流音が A 特性音圧レベルのオーバーオール値で 46.9dB(A)から 38.3dB(A)に低減することができた。

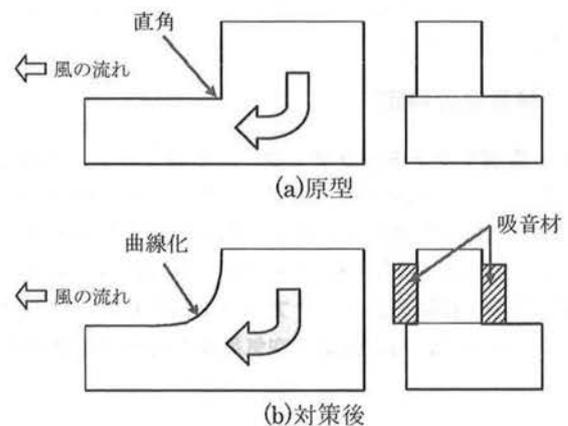


図 5 給気接続ダクト形状



図 6 給気ダクト単体の接続状況

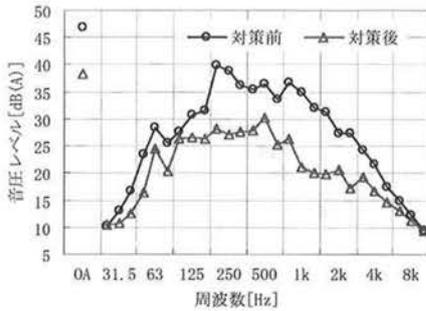


図 7 対策前後の気流音比較 (給気接続ダクト)

(2) 空調装置伝播音対策 給気接続ダクトの消音性能を向上させるため、給気接続ダクト周辺の有効スペースに吸音材を追加することとした (図 5(b))。対策前後の給気接続ダクト単体を空調ダクトモックアップに取り付けて、送風装置ダクト内に設置したスピーカ音源をダクト側面で測定した。図 8 は送風装置ダクト内に設置したスピーカからピンクノイズを発生して測定した音圧である。対策によって、250Hz 以上で消音性能が向上したことがわかる。空調装置による騒音は図 4 から 1kHz 帯の周波数成分が大きいことから、本対策は有効であると言える。

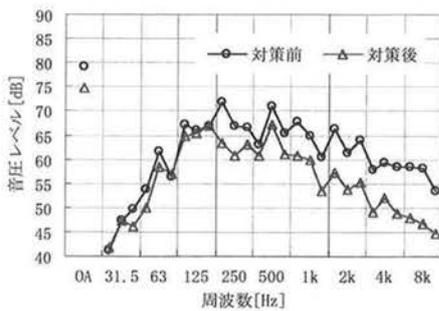


図 8 対策前後のスピーカ音源による音圧レベル比較 (給気接続ダクト)

(3.2) 給気横引きダクト 空調装置伝播音対策としては、給気接続ダクトのほかに給気横引きダクトへの吸音材設置も考えられる。そこで、給気横引きダクト上部の有効スペースに吸音材 25mm を追加することとした (図 9)。対策後の給気接続ダクトを取付けた状態で、給気横引きダクトの吸音材の有無について、送風装置ダクト内に設置したス

ピーカ音源をダクト端部で測定した。図 10 は送風装置ダクト内に設置したスピーカからピンクノイズを発生して測定した音圧である。対策によって、500Hz 以上で消音性能が向上したことがわかる。

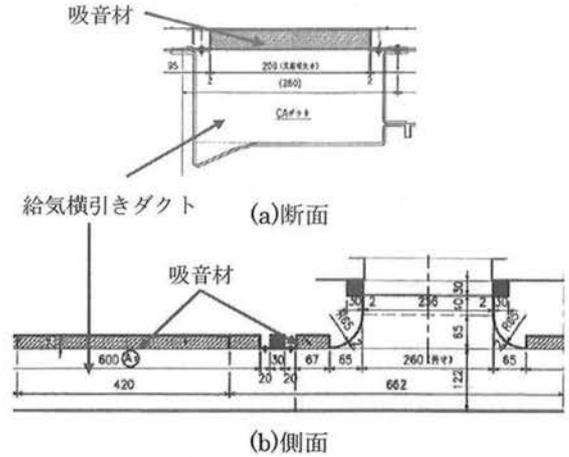


図 9 給気横引きダクト形状 (対策後)

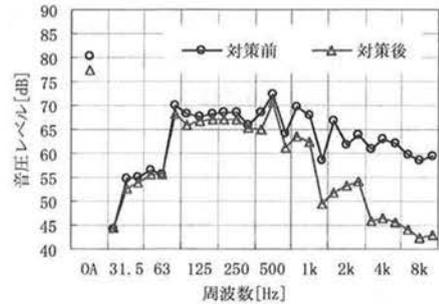


図 10 対策前後のスピーカ音源による音圧レベル (給気横引きダクト)

(3.3) 吹出しガイド 空調装置伝播音対策としては、さらに吹出しガイドへの吸音材設置も考えられる。そこで、吹出しガイドへ吸音材 25mm を追加した。図 11 に吹出しガイドへの吸音処理を示す。対策後の給気接続ダクトと対策前の給気横引きダクト単体に吹出しガイドの吸音材の有無について、送風装置ダクト内に設置したスピーカ音源を吹出しガイド下部で測定した (図 11)。図 12 は送風装置ダクト内に設置したスピーカからピンクノイズを発生して測定した音圧である。本対策も、1kHz 以上で消音性能を向上することができた。

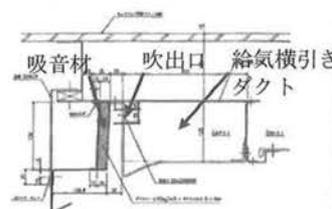


図 10 吹出しガイドの吸音処理 (断面図)



図 11 吹出しガイドの実験状況

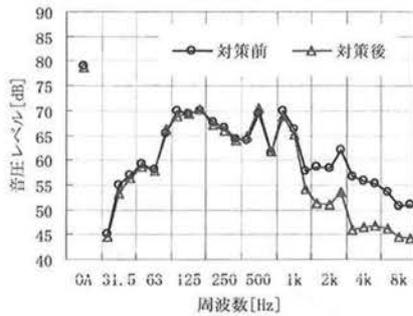


図12 吹出しガイドの対策前後の音圧レベル

#### 4. 効果の検証

前章のダクト部位ごとの開発結果に基づき、空調ダクトモックアップの改良を実施した。改良部位は①給気接続ダクト、②給気横引きダクト、③吹出しガイドである。

上記対策品を空調ダクトモックアップに取り付けて、気流音の測定を行った。図13に①給気ダクト単独送風、②全システム送風の対策前後の気流音比較を示す。今回の対策により、給気系統の気流音□は、×の改良前の58.0dB(A)に対し、A特性評価では47.7dB(A)となり10.3dBの低減となる。全システム送風時の気流音△は50.2dB(A)となり、○の改良前の58.7dB(A)に対し、8.5dBの低減となった。

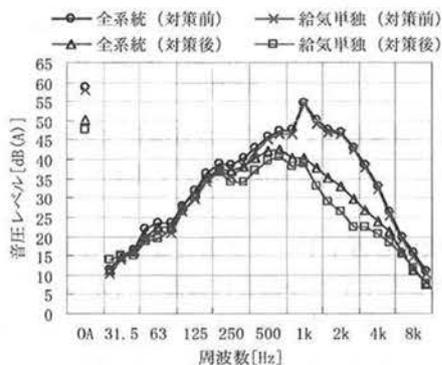


図13 対策前後の気流音比較

続いて改良ダクトの消音性能の測定を行った。検証は改良前と同様に、ダクト改良後の総括減衰量と空調装置接続口の騒音測定結果から算出した。図14に給気接続口からの空調装置伝播音によるモックアップ内の騒音予測値を示す。今回の対策により、給気接続口からの空調装置伝播音は、58.4dB(A)から55.0dB(A)へ低減することができた。

最後に、気流音と空調装置伝播音によるモックアップ車内の客室内音圧レベルを合成した結果を対策前後で比較した結果を図15に示す。これにより気流音と空調装置発生音によるモックアップ客室内音圧レベルが得られる。今回の対策により、対策前○の62.0dB(A)から、△の57.5dB(A)への低減が見込まれる。

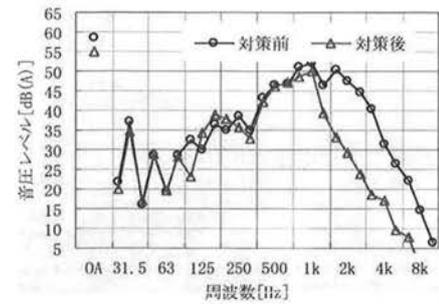


図14 対策前後の空調装置伝播音予測値比較

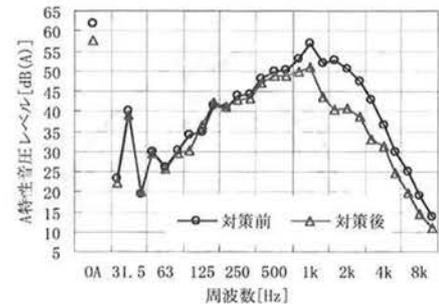


図15 対策前後のモックアップ車内音圧レベル予測値

#### 5. まとめ

屋根上空調方式であるE653系の空調システム騒音低減を図ることを目的として実施した低騒音ダクトの開発から以下の知見を得た。

- ①E653系の空調システムの気流音は、給気系統による騒音が支配的である。
- ②E653系の空調装置伝播音は、給気接続口からの騒音が支配的である。
- ③給気接続ダクトは、給気横引きダクトとの接合部の曲がり部分が直角になっており、送風時に剥離流れとなっている可能性が高い。この曲がり部分を直角から曲線に変更することにより、モックアップ内の給気接続ダクトの気流音は、A特性音圧レベルのオーバーオール値が46.9dB(A)から38.3dB(A)に低減できた。また、吸音材の効果により250Hz以上で消音性能が向上し、空調装置伝播音の低減が見込まれる。
- ④給気接続ダクト以外では、給気横引きダクトおよび吹出しガイドへの吸音材設置が可能であり、それらによって、1kHz以上の消音性能が向上し、これにより更に空調装置伝播音の低減が見込まれる。
- ⑤今回の開発により、モックアップ車内音圧レベル予測値は、62.0dB(A)から57.5dB(A)へ低減が見込まれる。

#### 文 献

- (1) 安藤紀雄:「空調設備ダクト設計・施工の実務技術」, pp. 105-114 (1999年)