

低騒音空調ダクトの開発



横山 義彦*



橋本 克史*

新幹線の高速化において空調装置は沿線騒音対策の観点から床下に設置することが必須である。従来の新在直通車両は床下スペースの都合上、屋根上に室内ユニットを設置しており、今後製作する車両は床下に設置することが必要である。それには、省スペース化に寄与する床下一体型空調装置とすることが望ましいが、本方式は従来2台に分散していた空調装置と換気装置1台を集約するため、車内騒音的には不利となる。そこで FASTECH360Z を対象に、空調システムの車内騒音低減に取り組んだ。本開発では、実車の空調ダクトを模擬したモックアップを製作し、これを用いて空調ダクトの発生音評価および空調ダクト改良を実施した。その結果、FASTECH360Z の空調システムによる車内騒音を3.4dB低減することができた。

●キーワード：新幹線、床下一体型空調装置、空調ダクトモックアップ、気流音、空調装置伝播音

1. はじめに

新幹線の高速化における最大の課題は、沿線騒音の低減である。今後製作する新在直通車両の空調方式は、高速走行による沿線騒音対策の観点から、従来設置していた屋根上ではなく床下に設置することが必須である。しかし、新在直通車は新幹線専用車に比べて床下面積が小さいことから空調装置は省スペース化に寄与する必要があるため、換気装置を含んだ床下一体型空調装置を採用することが望ましい。FASTECH360 では本方式の空調装置を採用したが、従来2台に分散していた空調装置と換気装置1台を集約するため、必要な風量を1台の空調装置でまかなうこととなる。これは騒音的には不利となるため静粛性の向上が課題となった。

本開発では、新在直通車の FASTECH360Z を対象として、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、低騒音ダクトの開発を行った。

2. 騒音源の特定

2.1 空調ダクトモックアップの製作

空調システムの騒音としては、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。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も製作し、FASTECH360Z の空調ダクト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

を示す。このモックアップは FASTECH360Z の15号車(以下、「E955-5号車」という)を再現している。

モックアップ内の中央付近のダクト下面には接続口があり、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を組み込んでおり、それぞれインバータにより風量の調整が可能である。送風機の自己騒音伝搬防止のため、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。



図1 空調ダクトモックアップ

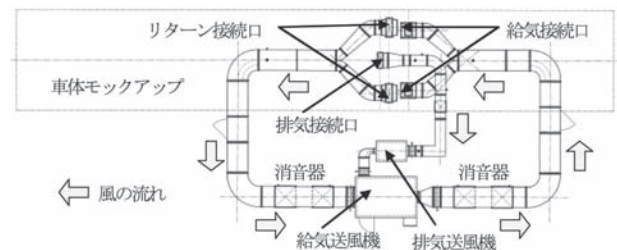


図2 送風装置の概要

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することで、空調ダクトの総括減衰量を測定することができ、この測定値から空調装置発生音を空調ダクトでどれだけ吸音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

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上の床上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系統である。

測定結果を図3に示す。系統別にA特性音圧レベルのオーバーオール値をみると、給気ダクトが71.9dB(A)、リターンダクトが65.1dB(A)、排気ダクトが47.7dB(A)であり、この順で大きいことがわかる。給気ダクト気流音は全系統気流音(71.8dB(A))とほぼ一致していることから、空調ダクトの気流音は給気ダクトによるものが支配的であることがわかる。

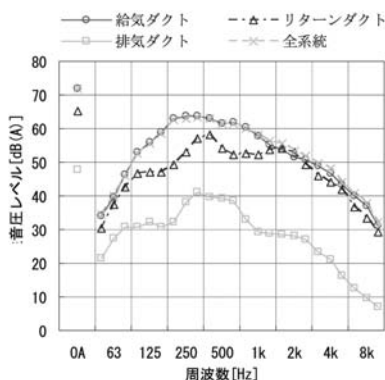


図3 モックアップ内の気流音測定結果

2.3 騒音源分析

2.3.1 気流音分析

騒音源について調査を行った結果、図4に示す空調装置と給気横引きダクトをつなぐ給気用接続ダクトに注目した。図5のように空調装置の室内送風機は接続口に近接しており、吹出有効面積は接続口面積に対して半分程度となっている。そのため、空調装置に接続する給気用接続ダクトに対して急拡大する接続となっており、気流音増加の原因となる可能性が高い⁽¹⁾。また、ガイドベーンが設置されているが、室内送風機直近は乱流となっており、整流ではない部位へのガイドベーン設置は風切音を発生させていると考えられる。以上から、気流音対策は給気用接続ダクトを対象に実施することとした。

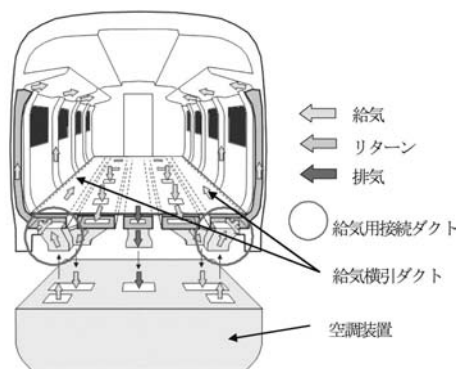


図4 気流音騒音発生部位

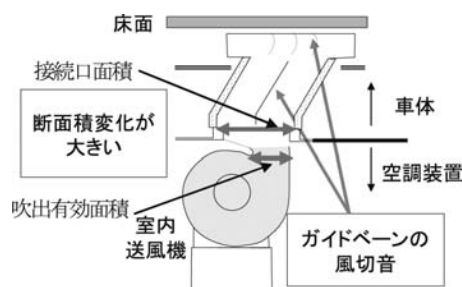


図5 給気用接続ダクトの騒音発生原因

2.3.2 空調装置伝播音分析

空調システムによる騒音は、気流音以外に空調装置の発生音が空調ダクトを通過して車内に伝播することがわかっている(以下、「空調装置伝播音」という)。別の実施した空調装置各接続口の騒音測定結果と本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6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大きい順に、排気接続口が68.4dB(A)、給気接続口が62.5dB(A)、リターン接続口が52.4dB(A)である。以上から、空調装置伝播音対策として、排気用接続ダクトと給気用接続ダクトの吸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。

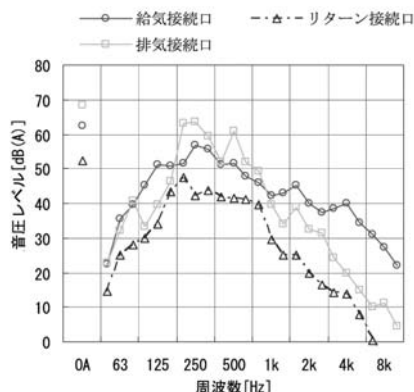


図6 モックアップ内の空調装置伝播音予測結果

3. 低騒音ダクトの開発

3.1 給気接続ダクトの改良

給気接続ダクトは、気流音と空調装置伝播音の両方に対応を施すこととした。気流音対策は、ダクト断面積の急拡大とガイドベーンによる風切音が原因である可能性が高い。断面積については、当該ダクトの急拡大を解消するために、漸拡大となる形状に変更して気流音の発生抑制を狙った。また、ガイドベーンを撤去したシンプルな構成とした。給気接続ダクトの改良品を図7に示す。空調装置伝播音対策は、断面積を漸拡大としたことで生まれたスペースを活用し、ダクト側面に吸音材を設置し、空調装置伝播音低減を図った。さらに給気接続ダクト直近の給気横引きダクトの側面にも吸音材を設置した。

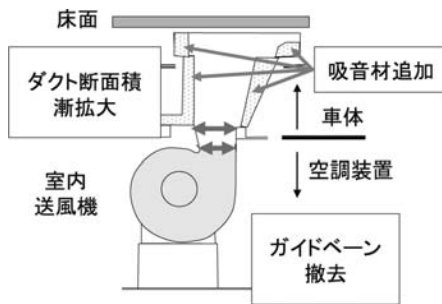


図7 給気接続ダクトの改良

3.2 排気接続ダクトの改良

排気接続ダクトは、当該ダクトを通過してくる空調装置内に設置してある換気装置伝播音が大きい。そこで、改良前はダクトが上下方向にまっすぐ伸びていた構造を改良品はクランク型とすることでダクト長さを延長し、そこに吸音材を設置して、換気装置伝播音の低減を図った。排気接続ダクトの改良品を図8に示す。

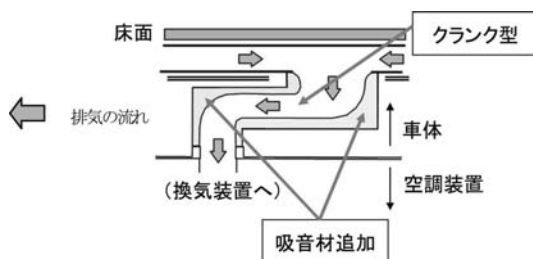


図8 排気接続ダクトの改良

3.3 モックアップによる効果の検証

3.3.1 気流音対策効果

改良ダクトをモックアップに取付け、空調ダクト気流音の効果の検証を行った。図9に空調ダクト全系統の改良前後の気流音比較を示す。A特性音圧レベルのオーバーオール値

が71.8dB (A) から63.7dB (A) となり、8.1dBの低減を図ることができた。

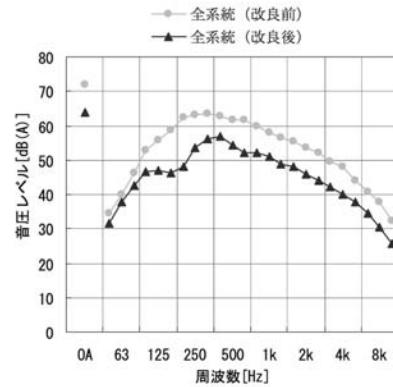


図9 改良前後の気流音比較（全系統）

3.3.2 空調装置伝播音対策効果

続いて改良ダクトの空調装置伝播音に対する効果の検証を行った。検証のため、別に実施した空調装置各接続口の騒音測定結果と本モックアップで測定した各ダクトの総括減衰量からモックアップ内での空調装置伝播音の予測値を算出した。図10に給気接続口、図11に排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。給気接続口からの空調装置伝播音は、62.5dB (A) から61.4dB (A)へ1.1dB低減し、排気接続口では68.4dB (A)から62.1dB (A)へ6.3dB低減することができた。

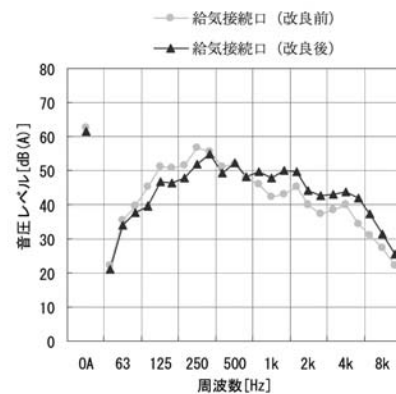


図10 改良前後の空調装置伝播音予測値比較（給気接続口）

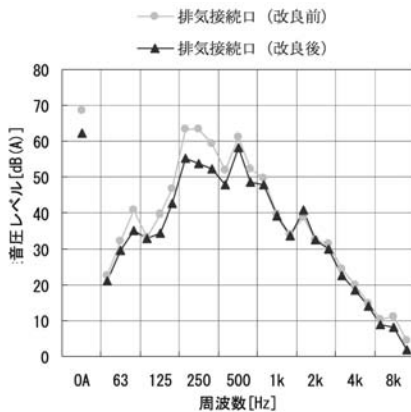


図11 改良前後の空調装置伝播音予測値比較 (排気接続口)

4. 現車検証

ダクト改良による騒音低減効果を現車で確認するため、E955-5号車に開発した低騒音ダクトを取り付けた。なお、本検証時の車両は軽量化改造のため、車内の内装がほぼ撤去されており、給気立上ダクトも下部で切断され、通常より車内騒音は大きくなる状態であった。この車両条件で、ダクト改良前とダクト改良後の騒音を比較した。

測定結果を図12に示す。車内騒音は、A特性音圧レベルのオーバーオール値で改良前74.2dB(A)であったが改良後は70.8dB(A)となった。よって、今回のダクト改良により、空調システムによる車内騒音を3.4dB低減させることができた。しかし、モックアップ試験ほどの低減効果が得られなかった。この原因として、モックアップ試験では、整流した気流を空調ダクトに送風しているのに対し、現車では室内ファン直近の乱れた気流を空調ダクトに送風しており、このような送風条件の違いが考えられる。また、軽量化改造の影響により空調装置伝播音がダクト径路以外から伝播した可能性が考えられる。

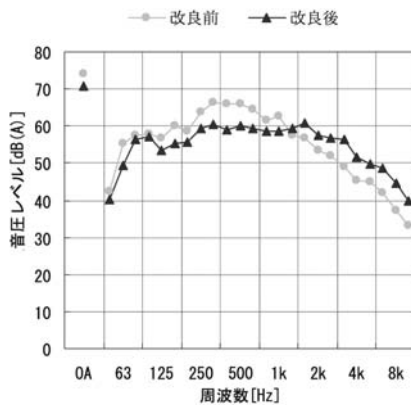


図12 改良前後の車内騒音 (E955-5号車)

5. まとめ

FASTECH360Z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。

- ① FASTECH360Zの空調システムの気流音は、給気接続ダクトによる騒音が支配的であり、騒音発生の原因は、給気接続ダクトの断面積の急拡大による気流音とガイドベーンによる風切音の可能性が高い。
- ② FASTECH360Zの空調装置伝播音は、排気接続口、給気接続口、リターン接続口の順で大きい。特に排気接続口と給気接続口からの騒音が大きく、リターン接続口は他に比べて小さい。
- ③ 給気接続ダクトは、漸拡大となる形状に変更し、さらにガイドベーンを撤去したシンプル構成とした。また、断面積を漸拡大としたことで新たに生まれたスペースを活用し、給気接続ダクトの側面に吸音材を設置した。これにより、モックアップ内の気流音は、A特性音圧レベルのオーバーオール値が71.8dB(A)から63.7dB(A)へと低減を図ることができた。また、吸音材の効果により空調装置伝播音が1.1dB低減した。
- ④ 排気接続ダクトは、真下に向かってストレートに伸びていた構造を見直し、クランク型とすることでダクト長さを延長し、そこに吸音材を設置して、空調装置内に設置してある換気装置伝播音の低減を図った。これにより、換気装置伝播音が6.3dB低減した。
- ⑤ 軽量化改造後のE955-5号車で検証した結果、車内のA特性音圧レベルのオーバーオール値が74.2dB(A)から70.8dB(A)となり、3.4dB低減した。
- ⑥ 現車試験ではモックアップ試験ほどの低減効果が得られなかった。モックアップ試験では、整流した気流を空調ダクトに送風しているのに対し、現車では室内ファン直近の乱れた気流を空調ダクトに送風している点や、軽量化改造の影響により空調装置伝播音がダクト径路以外から伝播した可能性が考えられる。

参考文献

- 1) 安藤紀雄：空調設備ダクト設計・施工の実務技術、理工図書、pp.105-114、1999。