

1708 新幹線用低騒音空調ダクトの開発

○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 Shinkansen

Yoshihiko YOKOYAMA, Katsufumi HASHIMOTO (East Japan Railway Company)

Hiroyuki SASAO (TAIKISHA LTD.), Atsushi OGAWA (Nippon Noise Control Ltd.)

The air conditioning unit of the high speed train for through operation between Shinkansen and the converted conventional line that East Japan Railway Company will produce in the future must be installed below the floor level for low noise in the wayside area. We must integrate air conditioning unit with ventilating unit because the area below the floor level of the train is small. But the noise of this air conditioning system is large in the passenger compartments. Then, the low noise air-conditioning duct for Shinkansen was developed by using Shinkansen High-speed Test Train Type E955. The air-conditioning duct mock-up that imitated it of Shinkansen High-speed Test Train Type E955 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 3.4dB.

Keywords: air conditioning unit with ventilating unit, air-conditioning duct mock-up, flow noise, air conditioning unit noise

1. はじめに

JR東日本では、到達時分短縮・快適性向上によるお客さまサービス向上、競争力強化を目的として、新幹線高速化の技術開発を行ってきた。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。新在直通車両の試験車両であるE955形式⁽¹⁾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を1台に集約するため、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。

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、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モックアップを製作し、実際に送風を行って気流音発生部位、原因を究明する。
- ②空調ダクトモックアップの検証を基に、空調ダクトの低騒音化改良を行い、モックアップに組み込んだ状態で、騒音低減効果を確認する。
- ③現車に組み込んで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。モックアップの他に、モックアップに



図1 空調ダクトモックアップ

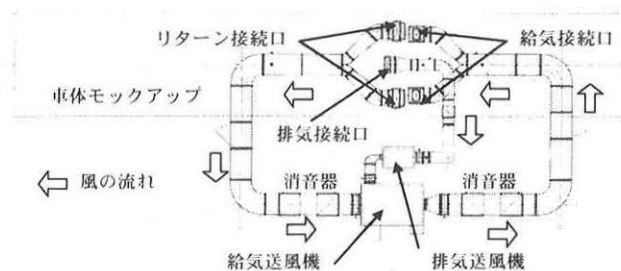


図2 送風装置

所定風量の空気循環を行う送風装置も製作し、E955形式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を示す。このモックアップはE955-5号車を再現しており、鉄骨枠組み合板貼りにより模擬の車体が構成され、車体は客室と前方デッキおよび後方デッキに仕切られている。客室内には給気横引ダクト、給気立上ダクト、給気吹出口、リターン横引ダクト、リターン床吸込口、排気横引ダクトおよび排気床吸込口が設置してある。

図1に示した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および排気横引ダクトの下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。

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

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نداクト単独送風、③排気ダクト単独送風、④全系統送風、の4パターンである。

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ندا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。周波数特性については、250～500Hz帯が顕著である。

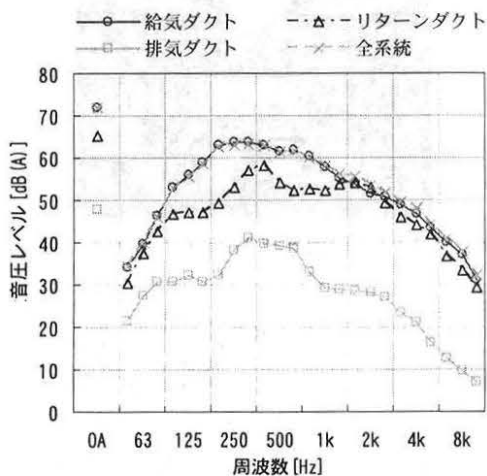


図3 モックアップ客室内の気流音測定結果

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に示すとおり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⁽²⁾。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。

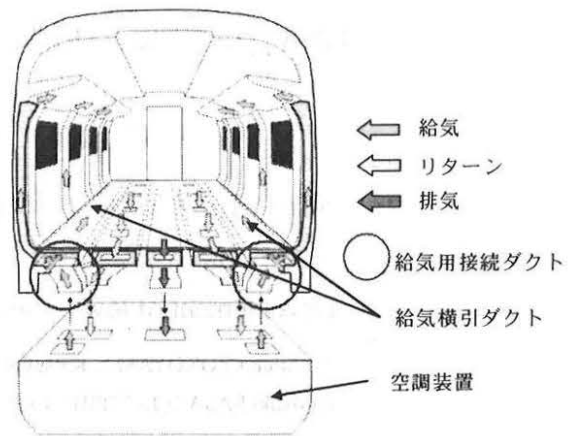


図4 気流音騒音発生部位

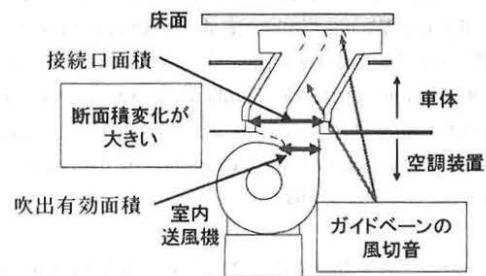


図5 給気用接続ダクトの騒音発生原因

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ことがわかっている(以下、「空調装置伝播音」とよぶ)。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。

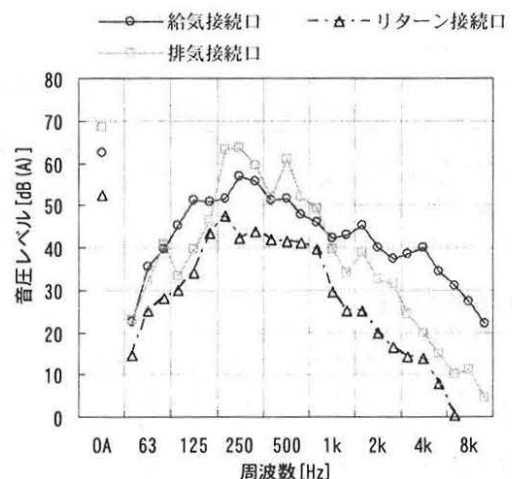


図6 モックアップ客室内の空調装置伝播音予測結果

3. 低騒音ダクトの開発

3.1 給気接続ダクトの改良

給気接続ダクトについては、気流音対策と空調装置伝播音対策の両方を施すこととした。気流音対策については、前章で述べたように、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ためそれらの見直しを行った。給気接続ダクトの改良品を図7に示す。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。空調装置伝播音対策としては、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、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。

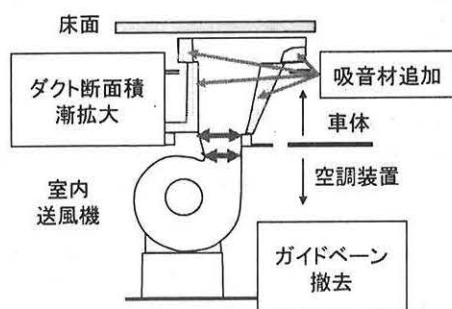


図7 給気接続ダクトの改良

3.2 排気接続ダクトの改良

排気接続ダクトについては、気流音は図3より問題ないレベルであるが、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見直し、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。

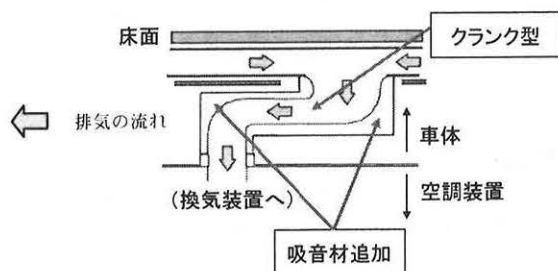


図8 排気接続ダクトの改良

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

改良ダクトを空調ダクト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。気流音対策結果として、図9に給気接続ダクト、図10に全系統の改良前後の気流音比較を示す。給気接続ダクトは、A特性音圧レベルのオーバーオール値が71.9dB(A)から58.7dB(A)となり、大幅な低減を図ることができた。今回の気流音対策の総合評価となる全系統では、同値が71.8dB(A)から63.7dB(A)となり8.1dBの低減となった。

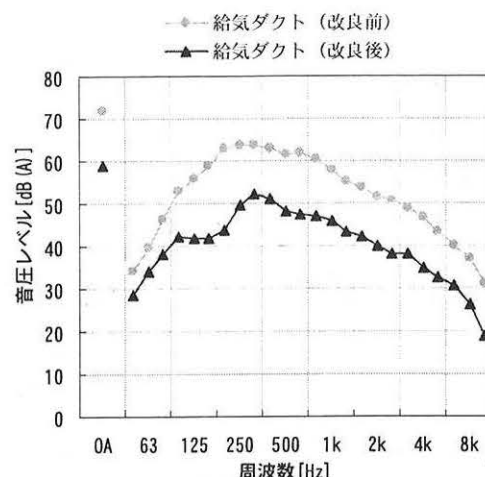


図9 対策前後の気流音比較（給気接続ダクト）

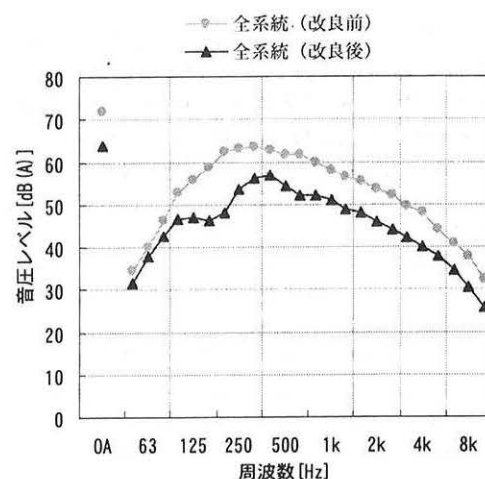


図10 対策前後の気流音比較（全系統）

3.3.2 空調装置伝播音対策効果

続いてモックアップ内における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

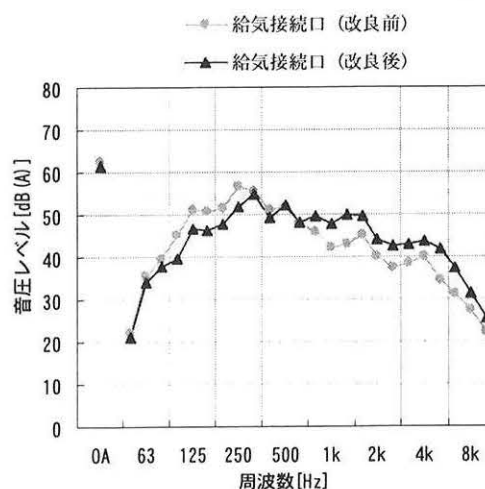


図11 対策前後の空調装置伝播音予測値比較（給気接続口）

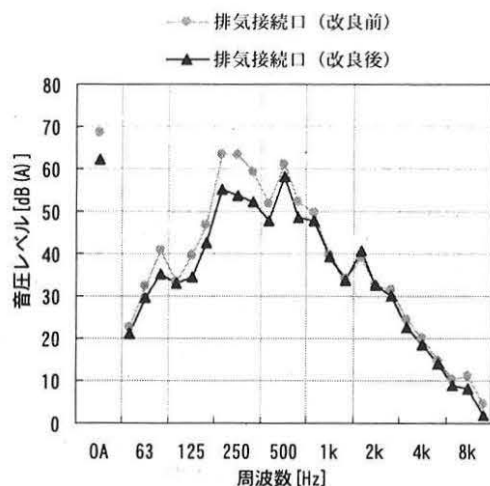


図 12 対策前後の空調装置伝播音予測値比較
(排気接続口)

音測定結果から算出した、空調装置伝播音対策結果として、図 11 に給気接続口、図 12 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、62.5 dB(A)から 61.4 dB(A)へ 1.1 dB 低減し、排気接続口では 68.4 dB(A)から 62.1 dB(A)へ 6.3 dB 低減することができた。

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 E955 形式は軽量化改造により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 13 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 74.2 dB(A)であったが改良後は 70.8 dB(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 3.4 dB 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騒音低減が得られなかった。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

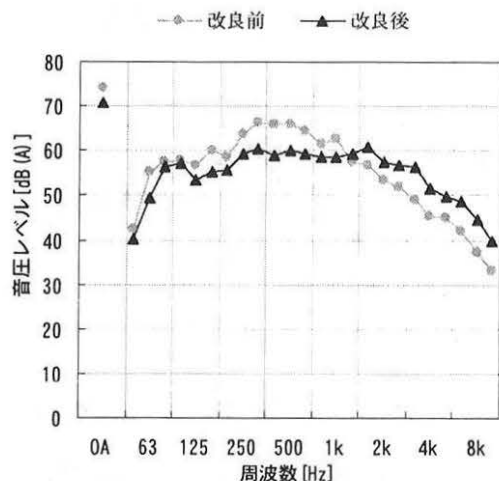


図 13 対策前後の車内騒音 (E955-5 号車)

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も考えられる。

5. まとめ

新在直通車両の試験車両である E955 形式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 E955 形式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 E955 形式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な構成とした。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 71.9 dB(A)から 58.7 dB(A)へと大幅な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 1.1 dB 低減した。
- ④ 排気接続ダクトは、真下に向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 6.3 dB 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 74.2 dB(A)から 70.8 dB(A)となり、3.4 dB 低減した。
- ⑥ 現車試験ではモックアップ試験ほどの騒音低減が得られなかった。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も考えられる。

参考文献

- 1) 堀内雅彦：JR 東日本 新幹線高速試験電車 E955 形式 (FASTECH360Z) の概要, R&M2006 第 7 号, pp.4-9, 2006.
- 2) 安藤紀雄：空調設備ダクト設計・施工の実務技術, pp.105-114, 1999.