

通勤車両用軽量低コスト冷房風道の開発



野島 昭彦*¹



前田 賢二*²



林 伸明*³



白木 直樹*⁴



長谷川 晋一*⁵

Development of an air conditioning duct on commuter railway vehicles for weight reduction and cost reduction

Akihiko NOJIMA*¹, Kenji MAEDA*², Nobuaki HAYASHI*³, Naoki SHIRAKI*⁴ and Shinichi HASEGAWA*⁵

*¹ Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group *² JR East Rail Car Technology & Maintenance Co.,LTD

*³ Transport & Rolling Stock Dept., Railway Operations Headquarters

*⁴ Assistant Chief Researcher, Advanced Railway System Development, Research and Development Center of JR EAST Group

*⁵ Senior Researcher, Advanced Railway System Development, Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

The air conditioning duct is desired of weight reduction, cost reduction, and comfort improvement. In this paper, the prototype air conditioning duct was developed by changing the duct material and manufacturing method, reflecting the simulation result. As a result of trial calculation of weight and cost, measurement of wind direction and air volume, and anti-condensation test, it became good, and it got the prospect that it can be used for commercial vehicles.

●**Keywords:** Railway vehicles equipment, Air conditioning duct, Weight reduction, Cost reduction, Thermal insulation, Foam molding

1. 緒言

通勤電車の冷房風道は、車両屋根上中央の空気調和装置で作られた冷気を客室内に行き渡らせるため、天井に設置されている。車内冷房風道を図1、冷房風道単体を図2に示す。冷気は図1の矢印のように左右の風道で車両の端側に送られ、天井面に設けられた吹出し口から客室内に送風する。冷房風道は、冷気による影響で外表面に結露が発生し、水滴が滴下することを防ぐため、断熱性能を有したものになっている。

車両の軽量化・低重心化や組立性の改善のために冷房風道は軽量化と低コスト化が望まれている。また、車内の温熱環境の改善も望まれており、お客さまから「暑い」や「寒い」のご意見を多くいただいている。これは、お客さまが乗車した状態では車内温熱環境に温度ムラが発生するためである¹⁾。温度ムラの改善のためには、車内に吹出す冷風の風向と風量が重要であることがこれまでの研究からわかっており、実現するための冷房風道の構造も提案されている²⁾。

本開発では、構成材料や製造工程の見直しによる軽量化・低コスト化とこれまでの研究結果を反映した温度ムラ改善を実現した冷房風道を試作し、風向・風量と結露防止性能について評価を実施した。



図1 冷房風道 (客室天井)



図2 冷房風道 (取付前)

2. 冷房風道試作

2・1 軽量低コスト検討

現在の車両に搭載されている冷房風道はFRPに断熱材を貼りつけたものや、アルミと断熱材の複合材で構成されたものが主流である。これに対し本開発では、軽量化と低コスト化を目指し、エンジニアリングプラスチックの発泡成形（以下、発泡エンブラ）で冷房風道を構成することを検討し、その材料は強度や断熱性能、成型性から、変性ポニフェニレンエーテル発泡体である旭化成「サンフォース」とした³⁾。

2・2 客室内温度ムラ改善構造

お客さまが乗車した状態の温度ムラを改善するためには、風向については図3に示すように、現在枕木方向では中心側に、レール方向では車端側に傾いていた風向を真下に吹出す必要がある²⁾。また、風量については図4に示すように、現在車両中央と車端が多い風量を車両中央とドア横を多くする必要がある²⁾。風向と風量の改善による客室内の温度分布のシミュレーション結果（半室分・車内壁面温度は実測値）を図5に示す²⁾。改善後の温度分布は、現在に比べ中央や車端の低温部分がなくなり、温度ムラが少なくなっていることがわかる。

枕木方向の風向が中心側に傾いていた原因は、図6の改善前に示すように吹出し口が広がっており、その枕木方向中央側へ沿って流れてしまうためであり、改善後のように吹出し口形状を直角にすることで改善すると考えられる。レール方向の風向が車端側へ

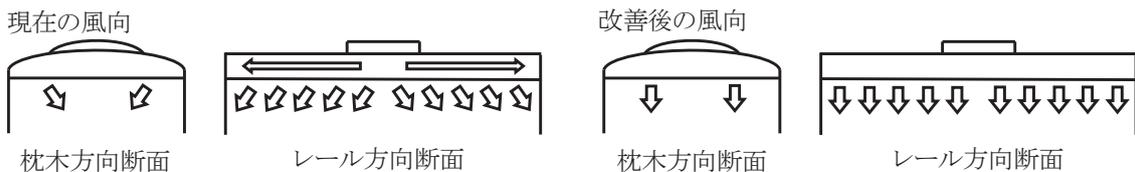


図3 風向改善

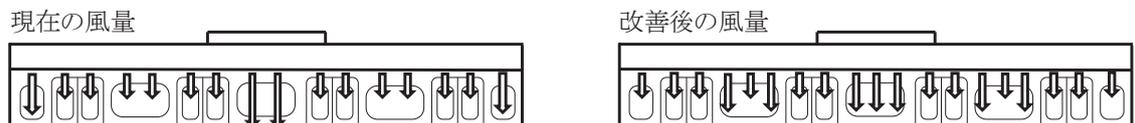


図4 風量改善

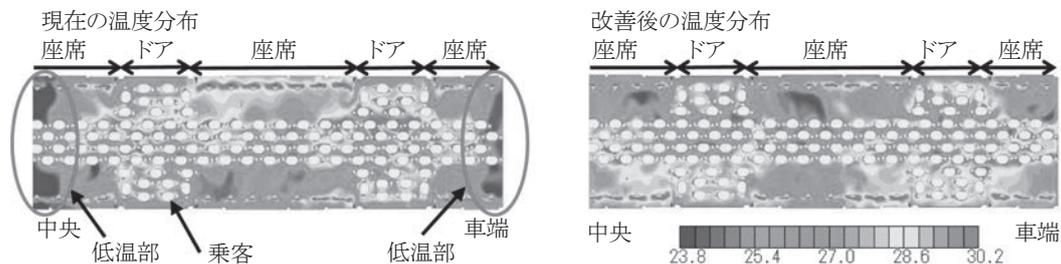


図5 温度改善

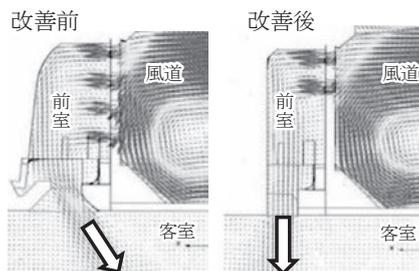


図6 風向改善構造（枕木方向）

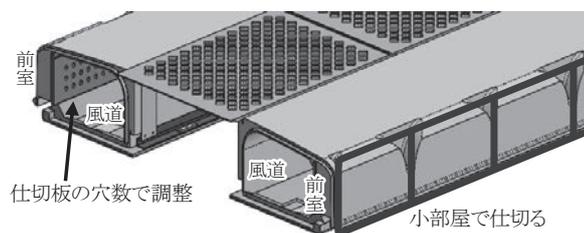


図7 風向改善構造（レール方向）と風量調整

傾いていた原因は、車両屋根上中央にある空気調和装置から車端に向かって冷風が流れる慣性により車端に向けて斜めに吹出すためである。その対策として、図7に示すように前室をレール方向にアーチ形状の小部屋で仕切ることによって改善すると考えられる。風量は、図7に示すように風道と前室の間にある仕切板の穴数を変化させる。

3. 検証

3・1 重量・コスト試算結果

1両分を試作した結果、重量は384kgから約35%軽量化し237kgとなり、コストは900千円から約4%低減し860千円となった⁴⁾。

3・2 風向・風量改善の検証

3・2・1 検証方法

冷房風道の試作で実施した風向と風量改善の効果を確認するため、冷房風道に風を流し吹出し口の風向と風量を測定した。

今回試作した1両分の冷房風道を車両の天井形状を模した架台に取り付け、風向の確認を実施した。送風量は、車両の空気調和装置の送風量である120m³/minとした。風向の測定は、糸のついた分度器を吹出し口に密着させ、糸の傾きを測定した。また、風量は吹出し口にダクトを密着させ、ダクト内の風速を測定しダクト断面積との積から算出した。

3・2・2 検証結果

試作品とE233系冷房風道のレール方向の位置に対する風向測定結果を図8(枕木方向)と図9(レール方向)に示し、風量分布測定結果を図10に示す。図8と図9の縦軸は吹出し角度で、枕木方向では真下方向を0とし側方向を正、中央方向を負、レール方向では真下方向を0とし車端方向を正、車両中央方向を負とした。E233系の風向は、枕木方向で中央方向、レール方向で車端方向に吹出していたのに対し、試作品の風向はどちらの方向もほぼ真下に吹出していることがわかった。またE233系の風量は、中央が多く、車端に向かい減少し、車端で多くなっていたのに対し、試作品の風量は、標準偏差が0.27から0.18と均一化しており、中央とドア横が多くなっている。このことから温度ムラ改善に寄与できる可能性があることが確認できた。

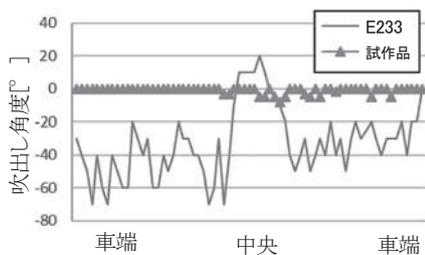


図8 風向測定結果 (枕木方向)

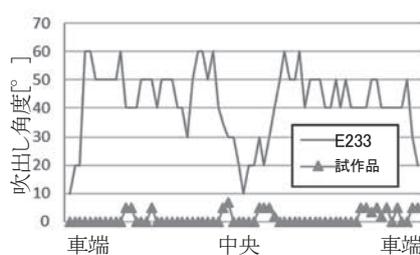


図9 風向測定結果 (レール方向)

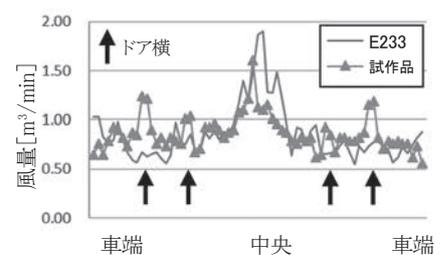


図10 風量分布測定結果

3・3 結露防止性能の検証

3・3・1 検証方法

結露試験では、過去に営業車で結露水の滴下が発生した雰囲気(室内温湿度、冷風温度)を再現し、開発した冷房風道で結露が発生しないことを確認する。また、限界を確認するため、冷風温度を下げ結露が発生する温度を測定する。

試験装置の概略を図11に示す。試作冷房風道は恒温恒湿室に置き、スポットクーラー(2.5kW)を室外に置き、フレキシブルダクトで接続する。また、温度測定のため図11の①～⑦に示す冷房風道各所に熱電対を取付けた。熱電対取り付け位置の詳細を表1に示す。

試験では、過去に営業車で結露水の滴下が発生した雰囲気を再現するために、恒温恒湿室内を27.5℃、79%RHとし、冷房風道内部冷風温度(①)が17℃となるようにスポットクーラーを運転し、各熱電対の温度が安定した状態で結露の発生を目視で確認する。

また、結露防止性能の限界を確認するため、結露が発生するまで冷房風道内部冷風温度(①)を低下させる試験も行った。

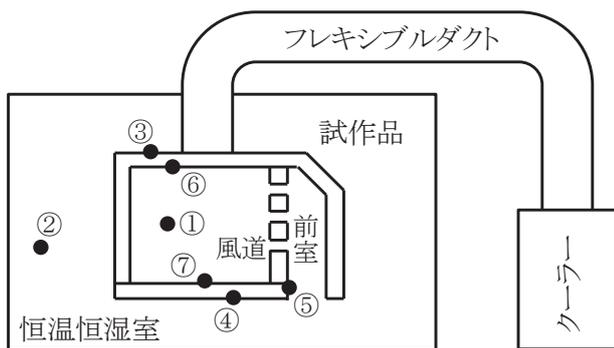


図11 結露試験装置概要

表1 熱電対位置詳細

番号	詳細
①	冷房風道内部冷風温度
②	恒温恒湿室内雰囲気温度
③	冷房風道上面表面温度
④	冷房風道下面表面温度
⑤	冷房風道吹出し口立ち上がり部表面温度
⑥	冷房風道内部上面表面温度
⑦	冷房風道内部下面表面温度

3・3・2 検証結果

結露試験の温度測定結果を表2に示す。冷房風道内部冷風温度(①)が17℃では、試作品に結露の発生はなかった。

冷房風道内部冷風温度(①)を14℃としたとき冷房風道下面表面(④)に結露が発生し、13℃では冷房風道吹出し口立ち上がり部表面(⑤)にも結露が発生した。

試作品は冷房風道内部冷風温度(①)が実際の車両で流れる冷風より低い温度まで結露発生がなかったことから、結露発生の可能性は低く、結露防止性能が良いことがわかった。

表2 温度測定結果[℃]

熱電対	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	結露場所
温度	18.0	27.8	26.0	25.0	23.0	19.6	20.3	なし
	17.0	27.8	25.8	24.8	22.5	18.8	19.7	なし
	16.0	27.8	25.2	24.6	21.5	18.0	18.6	なし
	15.0	27.8	24.8	24.3	20.8	16.8	17.5	なし
	14.0	27.8	24.3	23.8	19.3	16.2	16.7	④
	13.0	27.8	24.0	23.5	18.5	15.2	15.7	④⑤

4. 結言

本開発において、通勤車両向け軽量・低コストかつ温度ムラ改善構造を盛り込んだ冷房風道を試作し、風向・風量分布の改善と結露防止性能の検証を行った結果、温度ムラ改善に寄与できる風向・風量分布であり、結露防止性能が良いことから、実用化の可能性を確認した。今後は実用化を目指し、現車搭載試験を計画・実施する。

参考文献

- 1) 林 伸明, 島宗 亮平, 長谷川 晋一, シミュレーションによる車内温熱環境の再現と評価, JR EAST Technical Review (in Japanese), No.53 (2015), pp.13-18
- 2) 林 伸明, 長谷川 晋一, 島宗 亮平, シミュレーションによる夏季通勤列車車内温熱環境の改善に関する研究, 完了論文, 2016.4
- 3) 前田 賢二, 浜本 裕一, 佐藤 春雄, 通勤車両用軽量低コスト冷房風道に向けた調査開発, 完了論文, 2015.4
- 4) 野島 昭彦, 武田 哲也, 前田 賢二, 浜本 裕一, 大戸 伸一, 通勤車両用軽量低コスト冷房風道の開発, 完了論文, 2017.4