

ニューヨーク地下鉄向け R188車両用空調装置

松尾耕太郎*

Railcar Heating, Ventilation and Air Conditioning Unit for New York City Subway R188 Car

Kotaro Matsuo

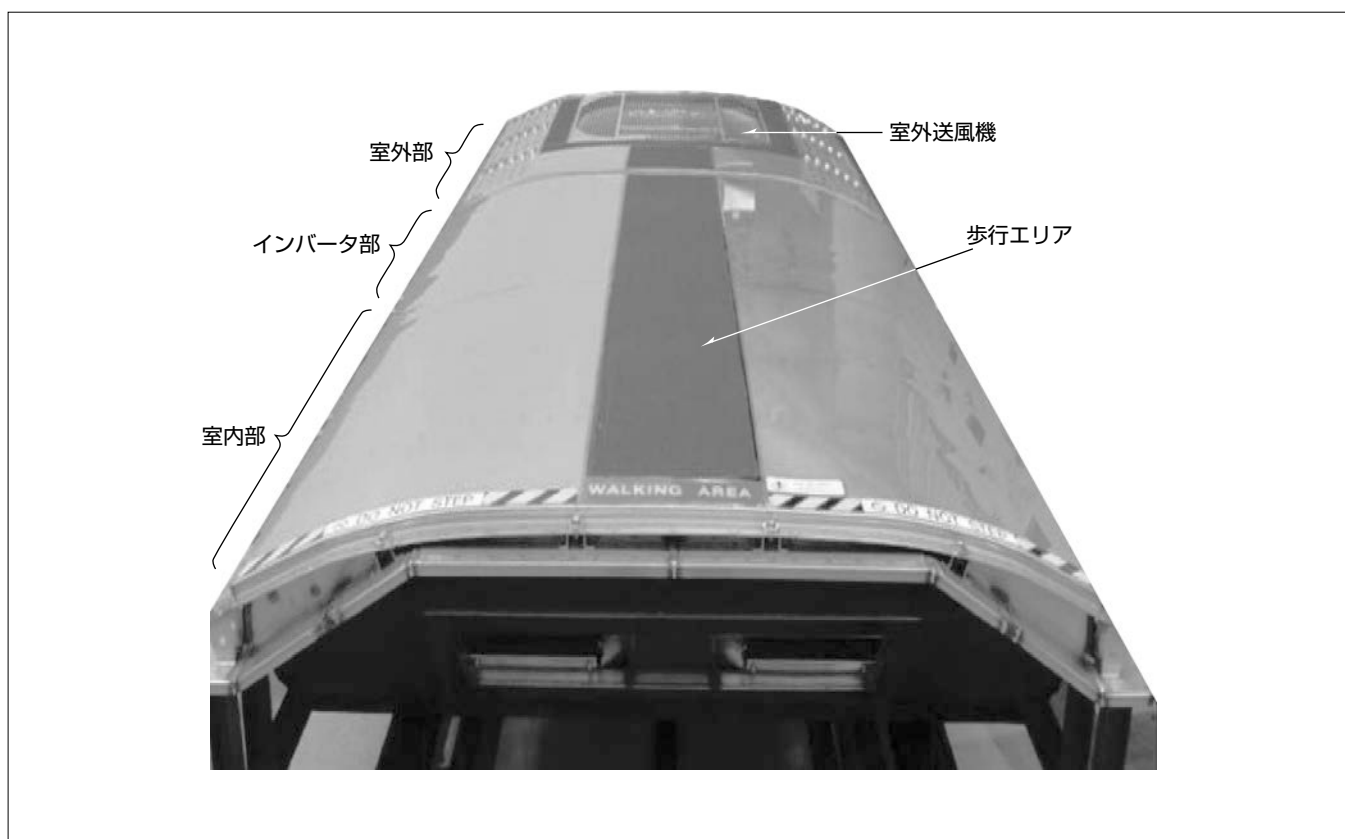
要 旨

ニューヨーク地下鉄(New York City Subway)は、アメリカ合衆国ニューヨーク州ニューヨーク市にある同国最大の地下鉄・高架鉄道を中心とする鉄道網を持つ鉄道会社である。R142A車両など6,000両以上の車両を持ち、24時間運行を実施している。三菱電機は2010年5月にR188車両用として、252台の車両用空調装置を受注し、2011年9月から出荷を開始した。

R188車両は新造車両であるが、R22冷媒を用いた当社製“EU72形”車両用空調装置が搭載された既存のR142A車両の後継車両であり、R142A車両の一部も改造されて連結される。

R188車両用空調装置は、R142A車両用空調装置と取付け・性能互換を要求されたが、冷媒は代替冷媒R407Cへの変更が必要であった。変更に伴い冷媒回路での高圧圧力の上昇と冷房能力の低下の問題を解決して、“EU72A形”車両用空調装置を開発した。

なお、冷媒を代替冷媒R407C化したEU72A形車両用空調装置は、R188車両用として開発したが、既存のR142A車両にも取り付けが可能なので、EU72形車両用空調装置(1,200台)のリプレース用にも対応できる。



ニューヨーク地下鉄向けR188車両用“EU72A形”空調装置

R142A形車両に搭載のEU72形車両用空調装置と取付け・性能互換性を持ち、代替冷媒R407Cを用いた車両用空調装置である。インバータを内蔵した2分散の屋根上埋め込みタイプで、空調装置上部のスベリ止めシートが貼ってある歩行エリアは、作業者が歩行できる強度がある。

1. ま え が き

ニューヨーク地下鉄は、アメリカ合衆国ニューヨーク州ニューヨーク市にある世界最大の地下鉄・高架鉄道を中心とする鉄道網を持つ鉄道会社である。R142A車両など6,000両以上の車両を持ち、24時間運行を実施している。当社は2010年5月にR188車両用として、252台の車両用空調装置を受注した。

R188車両は、既存のR142A車両の後継車両であり、そのR142A車両には、冷媒にR22を用いた当社製のEU72形車両用空調装置が搭載されている。

そこで、R188車両には、R142A車両に搭載された空調装置と、取付け互換性を保ったままで冷房能力が同じ代替冷媒R407Cを用いたEU72A形車両用空調装置を開発した。

本稿では、EU72A形車両用空調装置の開発課題と対策について述べる。

2. 空調装置の仕様

図1にR188車両の空調装置の構成を、図2にEU72A形車両用空調装置本体の機器配置を示す。

EU72A形車両用空調装置本体は、各車両の屋根上に2台設置され、第3軌条の600Vdcを直接受電し、空調装置内に蔵しているインバータによって横型スクロール圧縮機、電気ヒーター、室外送風機、室内送風機を駆動している。

空調制御装置は、車外温度・車内温度の情報によって空調装置本体を制御するためのもので、各車両側部に2台設置されている。

EU72A形車両用空調装置は、屋根上埋め込みタイプである。車両の断面形状に合わせて、屋根上埋め込み・薄形状(空調装置高さ376mm)を達成するため、代替冷媒R407C対応の横型スクロール圧縮機1台を搭載している。室外送風機、室内送風機、電気ヒーターは、EU72形車両

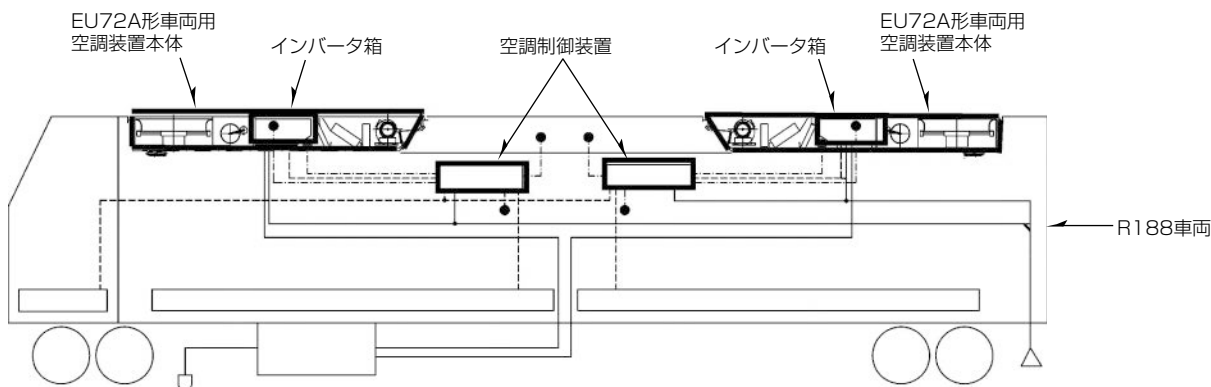


図1. R188車両の空調装置の構成

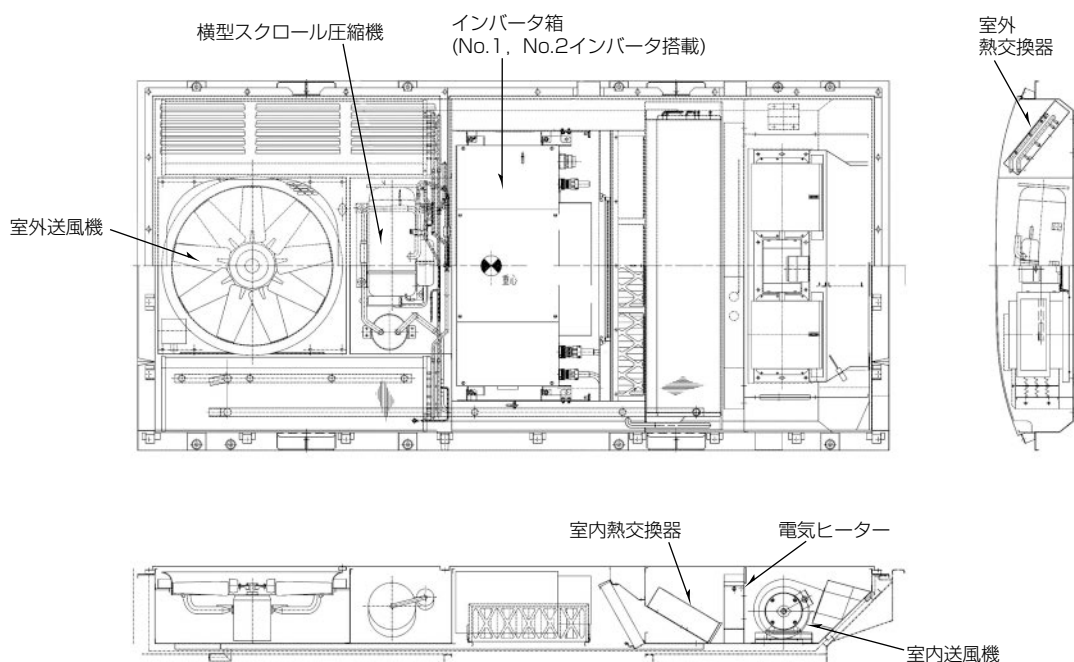


図2. EU72A形車両用空調装置本体の機器配置

用空調装置の部品と取付けの互換があるものを採用している。No.1インバータは、室外・室内送風機用で、No.2インバータは、横型スクロール圧縮機と電気ヒーター用であり、ともにインバータ箱に搭載している。

表1にEU72A形車両用空調装置の仕様を示す。冷房能力は20.4kWで、冷媒は代替冷媒R407Cを使用している。冷房の標準条件は、車内温度25.6℃、車内湿度55%、車外温度40.6℃で、表2に示す国内の冷房標準条件と比較して、車内温度は低く車外温度は高い。

表1. EU72A形車両用空調装置の仕様

項目	仕様
空調装置タイプ	屋根上埋め込みタイプ
車両搭載数量	2台/両
冷房能力	20.4kW/台
冷媒	R407C
車内温度	25.6℃
車内湿度	55%
車外温度	40.6℃
車外湿球温度	26.7℃
外形寸法	3,310×1,649×376(mm)
質量	約600kg

表2. 冷房標準条件の比較

項目	冷房標準条件	
国内冷房標準条件 (JIS)	車内温度	28℃
	車内湿球温度	23℃
	車外温度	33℃
	車外湿球温度	26.7℃
EU72A形冷房標準条件 (設計ポイント)	車内温度	25.6℃
	車内湿度	55%
	車外温度	40.6℃
	車外湿球温度	26.7℃

3. 開発の課題と対策

EU72A形車両用空調装置は、EU72形車両用空調装置と取付け互換を確保し、使用冷媒をR22から代替冷媒R407Cへ変更した。ここでは、開発時の課題と、それぞれの対策について述べる。

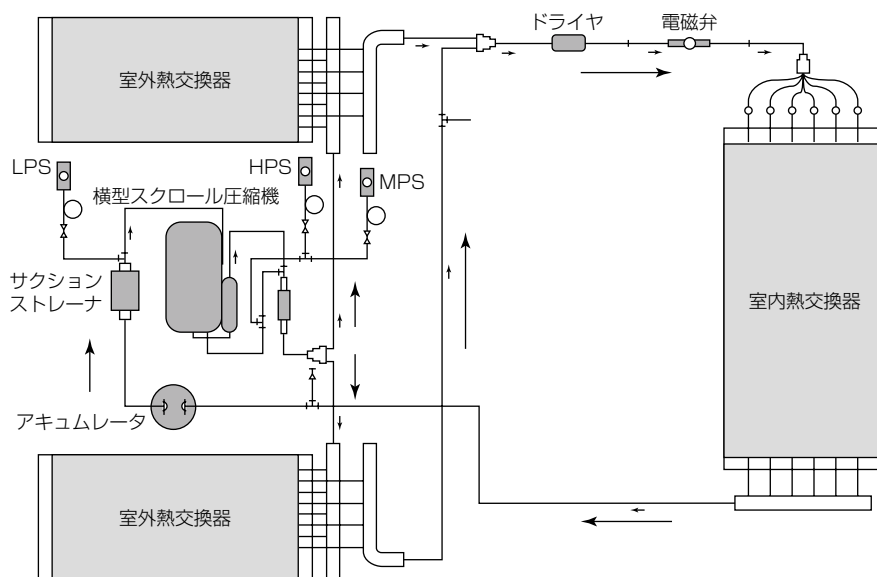
3.1 冷凍サイクルと代替冷媒の課題

図3は、EU72A形空調装置の冷凍サイクルを示す。主な構成要素は、横型スクロール圧縮機、室外熱交換器、室内熱交換器等で、空調装置本体内に配置される。HPS及びLPSは、高温時の異常な高圧やガス漏れ等による低圧から圧縮機を保護する。ニューヨーク地下鉄では、車外温度51.7℃まで空調装置が運転できることが要求されており(表3)、MPSが外気温の上昇によって高圧圧力が設定値に達すると、圧縮機への供給電力の周波数を下げて高圧圧力を抑制し、空調装置が停止せずに運転できるように制御している。

R22冷媒を代替冷媒R407Cに変更すると、冷媒成分の性質上、冷媒回路の高圧圧力が約10%上昇することから、圧力設計の見直しが課題である。さらに、代替冷媒R407Cで

表3. ニューヨーク地下鉄指定の温度条件

車外温度: T_2	車内温度: T_1	備考
$-11.7℃ \leq T_2 < 4.4℃$	$16.7℃ \leq T_1 < 20.0℃$	暖房
$4.4℃ \leq T_2 < 15.6℃$	$18.3℃ \leq T_1 < 23.9℃$	暖房
$15.6℃ \leq T_2 < 35.0℃$	$21.7℃ \leq T_1 < 23.9℃$	暖房 / 冷房
$35.0℃ \leq T_2 < 40.6℃$	$21.7℃ \leq T_1 \leq 25.6℃$	冷房
$40.6℃ \leq T_2 < 46.1℃$	$T_1 \leq (T_2 - 11℃)$	冷房
$46.1℃ \leq T_2 \leq 51.7℃$	空調装置は運転できる	冷房
冷房能力の設計ポイント	車外温度 T_2 : 40.6℃ 車内温度 T_1 : 25.6℃	



MPS: 高圧圧力調整スイッチ, HPS: 高圧圧力スイッチ, LPS: 低圧圧力スイッチ

図3. EU72A形車両用空調装置の冷凍サイクル

は、冷房能力がやや低下することから、各構成要素の性能を改善し、冷房能力を補う必要がある⁽¹⁾。

3.2 高圧圧力の低減対策

EU72形車両用空調装置に代替冷媒R407Cを適用した場合の冷媒回路における高圧圧力上昇は、例えば車外温度 $T_2=46.1^{\circ}\text{C}$ を超えるような過酷な条件下の冷房運転で、横型スクロール圧縮機を保護する高圧圧力スイッチ(HPS)が働き、空調装置が停止に至る可能性がある。

ニューヨーク地下鉄では、表3で指定された温度条件での運転が求められており、室外熱交換器と室内熱交換器の銅管の直径を $\phi 9.53\text{mm}$ から $\phi 7.94\text{mm}$ に変更し、配管の本数を約40%増やすことで熱交換器の性能を改善し、高圧圧力の上昇を抑えた。

冷媒回路の高圧圧力を下げる方法は、ほかに熱交換器のフィンピッチを 2.54mm から 2.0mm に変更することも考えられるが、ニューヨーク地下鉄の仕様で、清掃の容易性から広いフィンピッチが規定されているため、採用を見送った。また、送風機の風量変更も考えられたが、送風機の互換性を確保する制約があるため、これも採用しなかった。

3.3 冷房能力の低下対策

EU72形車両用空調装置に代替冷媒R407Cを適用すると、高圧圧力の上昇とともに冷房能力が低下する。

対策として、横型スクロール圧縮機の運転最大周波数を 64Hz から 68Hz へ変更し、循環冷媒量を増加させることによって、冷房能力を増加させて課題を解決した。ここでも室内送風機の風量を増やす案も考えられたが、3.2節の制約と同じ理由で採用しなかった。

表4に、横型スクロール圧縮機の運転パターンを示す。圧縮機は、起動電流を下げるためと圧縮機の負担を軽減するためにスロースタートし、定常所定周波数(30Hz)に到達後、冷房負荷に合わせて、運転パターンまで周波数をあげる。冷房負荷が変わると、運転周波数を最適な能力の冷房運転にコントロールする。

3.4 メンテナンス

ニューヨーク地下鉄の仕様では、車両用空調装置の冷凍サイクルに、冷媒交換用のサービスバルブを設置する。今回開発したEU72A形車両用空調装置は、EU72形車両用空調装置と取付け・性能に互換性があり、形状も極めて類似している。また、同等の作業性が求められており、サービスバルブは、同じ位置に配置する必要があった。一方、メ

表4. 横型スクロール圧縮機の運転パターン

運転パターン	EU72A形	EU72形	備考
1	0 Hz	0 Hz	停止
2	30Hz	30Hz	起動時使用
3	39Hz	39Hz	車内温度 $21.7\sim 23.3^{\circ}\text{C}$
4	48Hz	48Hz	車内温度 $23.3\sim 24.4^{\circ}\text{C}$
5	59Hz	59Hz	車内温度 24.4°C 以上 車外温度 35°C 以下
6	68Hz	64Hz	車内温度 24.4°C 以上 車外温度 35°C 以上 最大周波数

ンテナンスでは、ニューヨーク地下鉄のメンテナンス部門が冷媒を交換することから、異なる冷媒の誤充填を避ける必要があった。

この対策として、サービスバルブの種類とキャップサイズを変更し、メンテナンス担当者が、冷媒の種類を間違えた場合、冷媒を充填できないようにした。この結果、取付け・性能の互換性確保とともに、メンテナンスでも同等の作業性を実現できた。

4. む す び

ニューヨーク地下鉄のR188車両用として、冷媒を代替冷媒R407C化したEU72A形車両用空調装置を開発した。これは、既存のR142A車両への取付け・性能の互換性確保とともに、メンテナンスでも同等の作業性を実現しており、EU72形車両用空調装置(1,200台)のリプレース用にも対応できる。

一方、EU72A形車両用空調装置のような北米向けの案件では、国内市場では見られない基準類への対応が求められる。例えば溶接におけるAWS(The American Welding Society)の適用である。海外案件では、ほかにも各国の国内基準(BS(British Standard), DIN(Deutsche Industrie Norm)等)への適用を要求されることもあり、それぞれの基準に対応する必要がある。今後も、海外の顧客仕様に沿った、車両用空調装置の開発を進め、顧客に満足してもらえるように活動していく所存である。

参考文献

- (1) 鈴木一弘, ほか: HCFE-22代替冷媒対応空調機の開発, 三菱重工技報, 35, No. 2, 82~87 (1998)