

欧州向け鉄道車両用空調装置の最新技術と今後の展望

井上武志*
山村彰紀*
新宮和平*

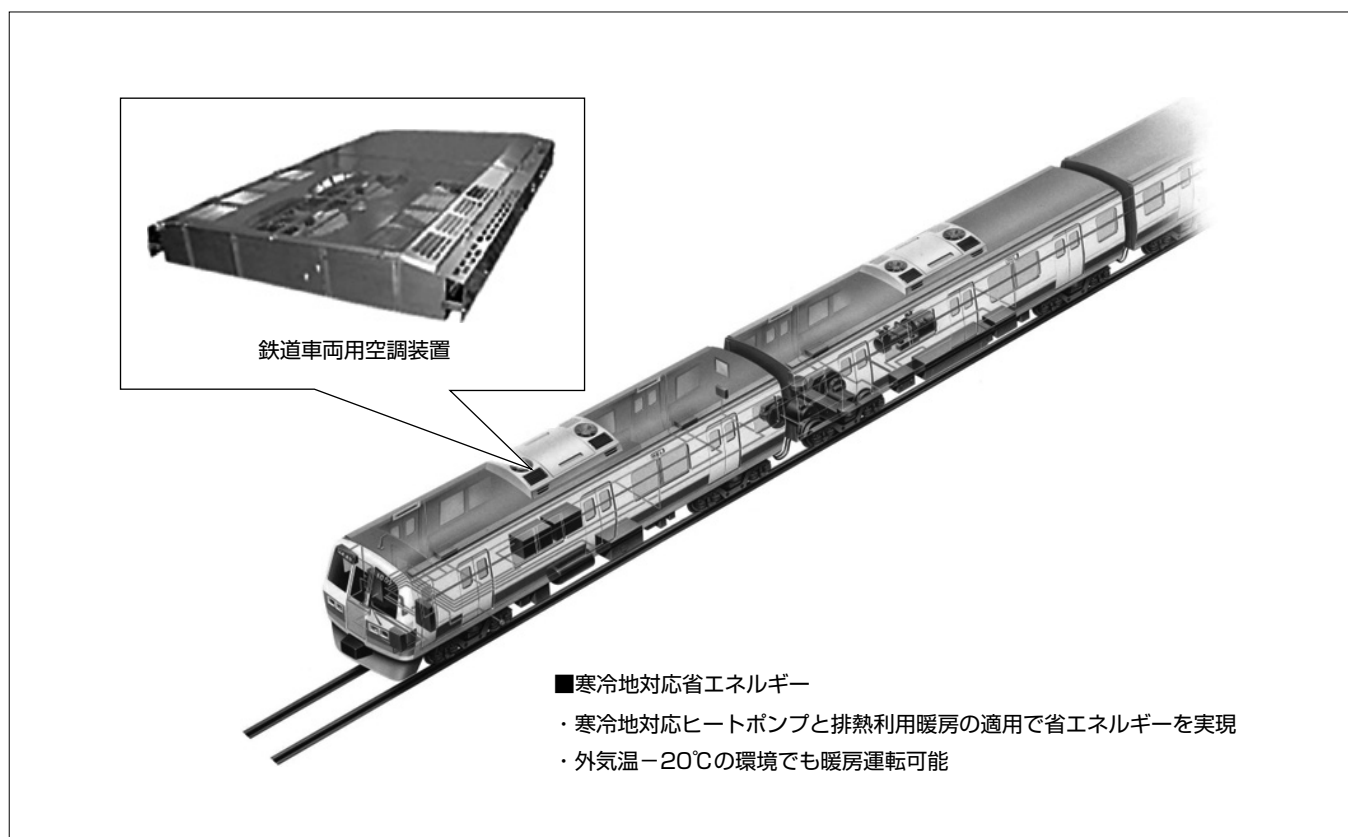
Latest Technologies and Future Prospects for Railcar Heating, Ventilation and Air Conditioning Unit for European Railway
Takeshi Inoue, Akinori Yamamura, Wahei Shingu

要 旨

鉄道車両用空調装置は、近年の地球温暖化の影響で、欧州地域でも需要が増えつつある。欧州地域の鉄道車両用空調装置は、従来は冷房が搭載されておらず、暖房は座席下電気ヒーターによる方式が採用されていた。

省エネルギーの需要も高まってきており、消費電力の削減のためにヒートポンプや車両から排出される排熱を利用した暖房などの省エネルギー技術を採用するケースが増えつつある。また、欧州地域には氷点下数十度の極寒の環境もあるが、そのような寒冷地でも車両の冷房化が進みつつある。

このような背景から、三菱電機は寒冷地対応のヒートポンプ機能、排熱利用暖房機能及び電気ヒーター機能を搭載した空調装置を開発した。新開発の空調装置は暖房を常に運転可能とするため、排熱利用暖房、ヒートポンプ、電気ヒーターの3つの暖房機能を採用し、これらを併用することで冗長性のある暖房システムを構築した。さらに、外気温-20℃という低外気温の環境下でも快適性を保つことができるヒートポンプによる暖房性能を実現するため、冷媒サイクルに冷媒循環量を増加させるインジェクション回路とHIC(Heat Inter Changer)を採用した。



欧州向け鉄道車両用空調装置

欧州向け鉄道車両用空調装置は、寒冷地での暖房運転と省エネルギーが要求されている。当社は、外気温-20℃でも運転可能な寒冷地対応ヒートポンプ機能、排熱利用暖房機能及び電気ヒーター機能を搭載した空調装置を開発した。

1. ま え が き

鉄道車両用空調装置は、近年の地球温暖化の影響で、欧州地域でも需要が増えつつある。欧州地域の鉄道車両用空調機能は、従来は冷房が搭載されておらず、暖房は座席下電気ヒーターによる方式が採用されていた。当社は、2003年にアテネメトロ向けに欧州地域へ初めて空調装置を納入してから、数々の国へ空調装置を納入している。近年は、省エネルギーの需要も高まってきており、消費電力の削減のためにヒートポンプや車両から排出される排熱を利用した暖房などの省エネルギー技術を採用するケースが増えつつある。また、欧州地域には氷点下数十度の極寒の環境もあるが、そのような寒冷地でも車両の冷房化が進みつつある。このような背景から、当社は寒冷地対応のヒートポンプ機能、排熱利用暖房機能及び電気ヒーター機能を搭載した空調装置を開発した。

本稿では、寒冷地対応のヒートポンプ機能、排熱利用暖房機能及び電気ヒーター機能を搭載した空調装置の開発の課題と対策について、ヒートポンプ機能に焦点をあてて述べる。

2. 寒冷地対応省エネルギー空調システム

図1に、寒冷地対応省エネルギー空調システムを示す。欧州地域では、鉄道車両への冷房の需要が増えつつあるが、空調装置として求められる仕様は暖房機能が重視されている。寒冷地対応省エネルギー空調システムは、ヒートポンプ、排熱利用暖房、電気ヒーターの3つの暖房機能を搭載している。仮に、車両からの排熱が十分に利用できず、空調装置の圧縮機が故障した場合でも、電気ヒーターで暖房することができる冗長性のあるシステムとなっている。

この空調システムでは3つの暖房機能を併用しており、排熱利用暖房>ヒートポンプ>電気ヒーターの優先順位で暖房運転が制御され、省エネルギー運転ができる。この省エネルギー暖房システムを図2に示す。排熱利用暖房では、車両側のトラクションモータやトラクションインバータ等の冷却液を空調装置に引き込み、排熱を暖房の熱源として再利用する。

3. 空調装置に求められる要求仕様

欧州向けの寒冷地対応空調装置に求められる仕様とその実現方法は、次のとおりである。

(1) 省エネルギーの実現

空調装置の省エネルギーはヒートポンプ及び排熱利用暖房の省エネルギー技術の採用によって実現できる。

(2) 寒冷地でも暖房運転可能

寒冷地(低外気温度)における暖房運転は、冷媒循環量を増加するためのインジェクション回路とHICの採用によっ

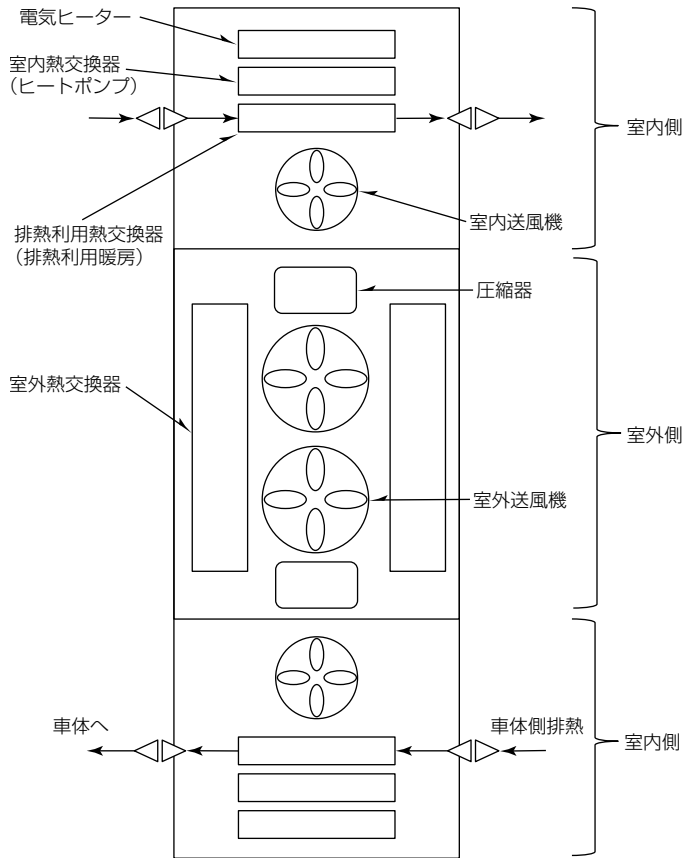


図1. 寒冷地対応省エネルギー空調システム

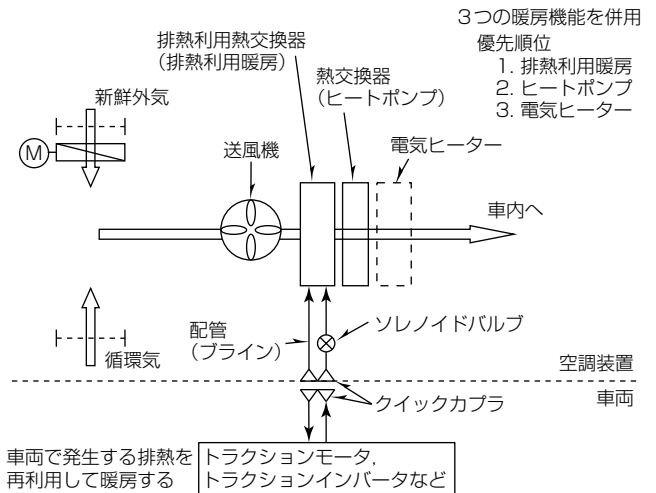


図2. 省エネルギー暖房システム

表1. 開発目標仕様

項目	仕様
暖房能力(ヒートポンプ)	現行から20%改善
車内温度	7.8℃
車外温度	-20℃
使用冷媒	R407C

て実現できる。

これらを踏まえて、当社では寒冷地対応ヒートポンプ暖房の開発目標を設定した。表1に当社が開発した空調装置の目標仕様を示す。

4. 開発の課題と対策

4.1 低外気温環境下でのヒートポンプ暖房の課題

ヒートポンプ暖房では、冷媒の特性上、外気温が低温になると暖房能力が低下する。それは、冷媒循環量が低下するからである。暖房能力の算出式を式(1)に示す。

$$Q_c = G_r \times \Delta h \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Q_c = 暖房能力 (kW), G_r = 冷媒循環量 (kg/s), Δh = 比エンタルピー差 (kJ/kg) である。外気温が低温になると熱交換される冷媒も温度が低下し、圧縮機吸入の冷媒圧力が低下する。すなわち、冷媒ガス密度が低下する。冷媒ガス密度は式(2)のとおりで、冷凍サイクル内を循環する冷媒循環量を定める要素の1つである。

$$G_r = V_{st} \times \rho_s \times H_z \times \eta_v \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 V_{st} = 圧縮機押し分け量 (m³), ρ_s = 圧縮機吸入の冷媒ガス密度 (kg/m³), H_z = 圧縮機周波数 (1/s), η_v = 圧縮機体積効率 (-) である。すなわち、外気温が低温になると冷媒ガス密度が低下し、冷媒循環量が低下することで暖房能力が低下する。したがって、外気温が低い環境下でも一定の暖房能力を得るためには、冷媒循環量を増やすことが課題となる。

4.2 インジェクション回路とHICによる対策

外気温が低い環境下で冷媒循環量を増やす方法として、インジェクションとHICを用いて冷媒循環量を増加させる技術を採用した。図3に、寒冷地対応車冷ヒートポンプ回路を示す。主な構成要素は、圧縮機、室外熱交換器、室内熱交換器、HICなどである。新開発の空調装置は、冷媒循環量を増加させるために、インジェクション回路を追加した。それに伴い、圧縮機はインジェクション機構付き横型スクロール圧縮機を採用した。インジェクションとは、圧縮機途中に冷媒を注入する中間圧バイパスのことである。図4(a)に示すとおり、インジェクション量を増やしていくと、高圧側の冷媒循環量が増加するため暖房能力は増加す

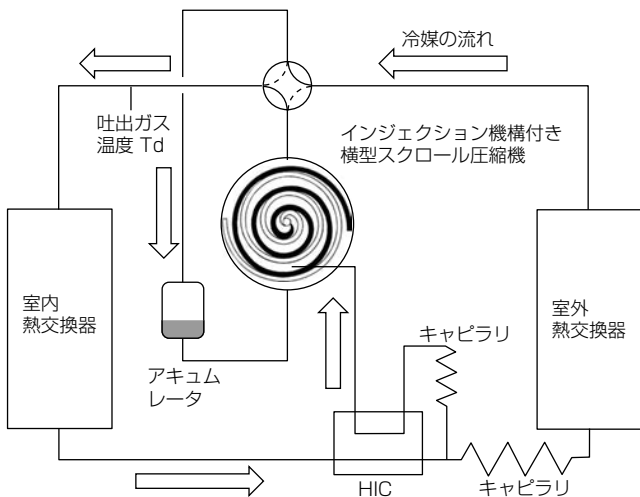
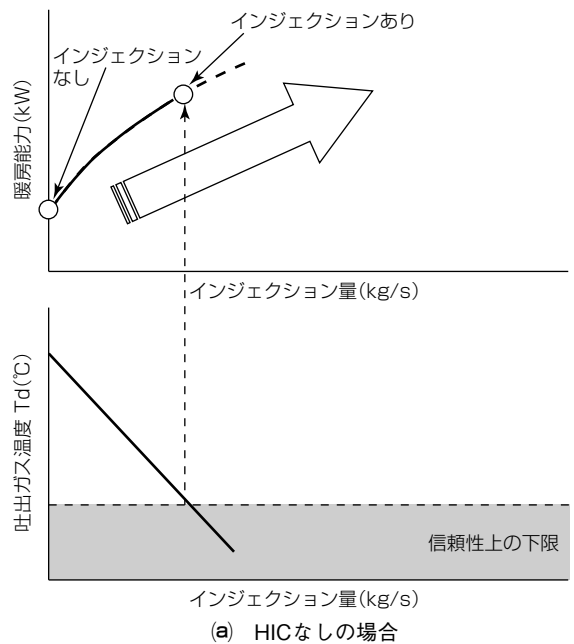


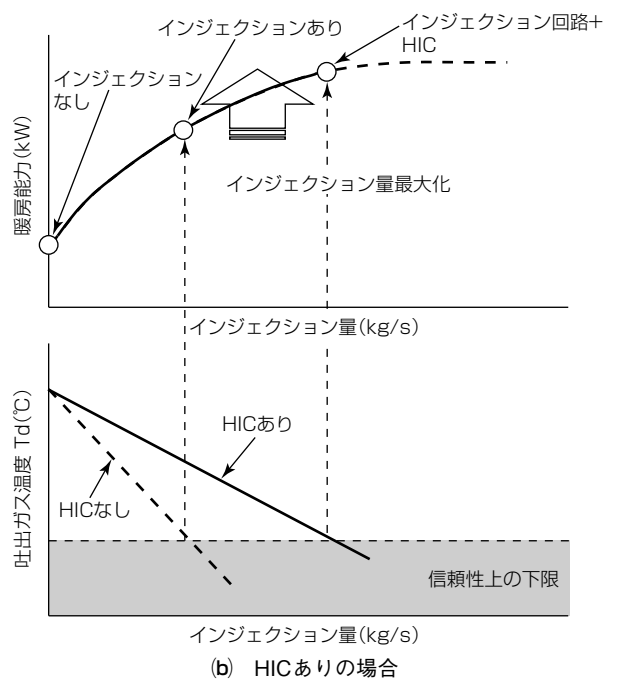
図3. 寒冷地対応車冷ヒートポンプ回路

る。しかし、インジェクションされる冷媒は気液二相の冷媒であり、圧縮機吐出ガス温度を低下させてしまうため、吐出ガス温度の信頼性における下限値前でインジェクション量は頭打ちとなる。

吐出ガス温度を極力低下させずにインジェクション量を増やすために、図5に示すHICを追加した。HICは、二重管構造となっており外配管に高温な液冷媒を流し、内配管にインジェクション冷媒である気液二相の低温冷媒を流すことで、外配管と内配管で熱交換をさせる。したがって、インジェクション冷媒を加熱して乾き度を大きくすることで、図4(b)に示すとおり吐出ガス温度の低下を抑制し、インジェクション量を最大化して暖房能力を増大させることができる。



(a) HICなしの場合



(b) HICありの場合

図4. インジェクション量増加の影響

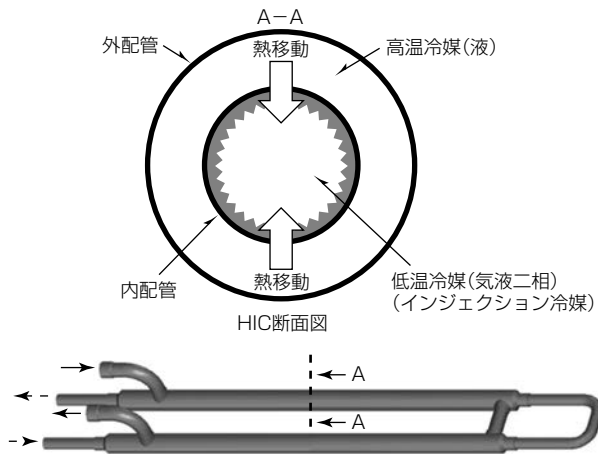


図5. HIC

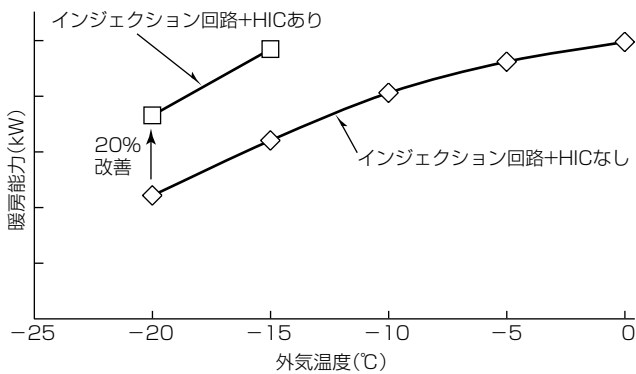


図6. 外気温度と暖房能力の関係

欧州向け鉄道車両用空調装置にインジェクション回路とHICを用い、図6に示すとおり外気温 -20°C で暖房能力を20%改善できた。なお、当社はこの技術を適用した空調装置を、2015年7月に欧州向けに出荷を開始した。

5. む す び

欧州向け鉄道車両用として、寒冷地対応ヒートポンプ回路を搭載した空調装置を開発した。この空調装置は、低外気温(-20°C)環境下での暖房能力を20%改善しており、今後の欧州向け空調装置の主要技術として採用する計画である。本稿で述べた寒冷地対応ヒートポンプ暖房を搭載した空調装置を採用する車両は、今後増加していくことが予想される。また、欧州市場では環境負荷低減の思想の下、2015年から欧州内の冷媒流通量規制(HFC(ハイドロフルオロカーボン)フェーズダウン)が開始される。流通量は、 CO_2 換算質量(地球温暖化係数(Global Warming Potential : GWP) × 冷媒量)で管理され、2015年を100として段階的に引き下げてゆき、2030年に21まで引き下げることが計画されている。現在、車両用空調装置で使用している冷媒はR407Cであり、そのGWPは CO_2 を1とすると1,774で、環境への負荷が大きいことが懸念される。今後は市場動向を注視しつつ、市場のニーズに沿った新冷媒の検討を進めていく。