

高い暖房性能と省エネを両立させた寒冷地向け 店舗・オフィス用エアコン

New Air Conditioners for Stores and Offices in Cold Regions Offering Both High Heating and Energy-Saving Performance

佐野 充邦 SANO Mitsukuni 上重 淳 UESHIGE Jun 水頭 正一郎 SUITO Shoichiro

寒冷地では、店舗・オフィス用エアコンとして、暖かく連続運転が可能な石油冷媒加熱式や省エネ性に優れたヒートポンプ式が普及してきた。近年、旧型の更新時期を迎え、高暖房感と省エネ性を両立させたエアコンが求められている。

東芝キャリア(株)は、暖房感の向上に加え、極寒の環境下でも安定した運転ができる寒冷地向け店舗・オフィス用エアコン“スーパーパワーエコ暖太郎HRP1シリーズ”(以下、暖太郎HRP1シリーズと略記)をリリースした。暖太郎HRP1シリーズは、ヒートポンプの省エネ性ととも、液インジェクションコンプレッサー搭載による極低温時の暖房能力向上や、氷柱防止除霜制御と凍結防止プレートの採用による室外熱交換器の凍結と製品下部での氷柱生成の抑制、低着霜モードによる高湿度地域への対応、8℃暖房制御による室内無人時の底冷え防止など、寒冷地仕様を強化した。

Oil refrigerant type heaters have been widely used for air conditioners installed in stores and offices in cold regions due to their heating performance and capability to continuously operate without the need for defrosting, and the use of energy-saving heat pumps has also been expanding. Such equipment is now aging, necessitating its replacement with new air conditioners to achieve a balance between high heating and energy-saving performance.

With this as a background, Toshiba Carrier Corporation has developed and released the Super Power Eco DANTARO HRP1 series air conditioners for stores and offices in cold regions. In order to improve heating performance and realize stable continuous operation even in extremely cold regions, the HRP1 series is equipped with a heat pump with high energy-saving efficiency and also incorporates the following features: (1) improved heating capacity at extremely low temperatures, achieved by a liquid injection compressor, (2) prevention of freezing of the outdoor heat exchanger and suppression of icicle formation on the underside of the outdoor unit, achieved by an anti-icicle defrosting control method and an antifreezing plate, (3) effective operation in high-humidity regions, achieved by a low-frost mode, and (4) prevention of chilling in unoccupied rooms, achieved by an 8°C heating control method.

1. まえがき

1976年に、東京芝浦電気(株)(現 東芝。東芝キャリア(株)は1999年に分社)が冷房ユニットを搭載した石油温風ヒーターを製品化してから約30年の間、冷凍サイクルと冷媒加熱回路の進化はあるものの、冷媒加熱式石油エアコンの暖房は、石油(又はガス)を燃料としていた。石油やガスによる暖房は、すぐに暖まる上に、ヒートポンプ式とは異なり、室外機の熱交換器に付着した霜を取る除霜運転の必要がないため暖房運転を止めずに連続して室内を暖め続けることができ、寒冷地に広く普及していった。その後、脱炭素社会の実現に向けた省エネ性が最優先の課題となり、2006年にヒートポンプ式の寒冷地向け店舗・オフィス用エアコン 暖太郎をリリースした。

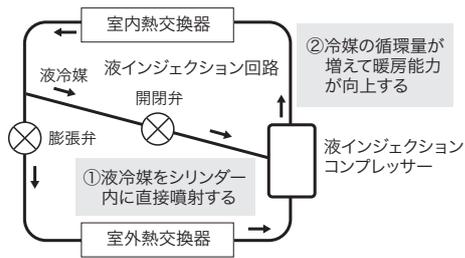
2020年には、冷媒加熱式石油エアコンと初期の暖太郎の経年に伴う置き換え時期が来ていることから、冷媒加熱式石油エアコンの優れた暖房感とヒートポンプの省エネ性を両立させる暖太郎HRP1シリーズをリリースした。ここでは、

暖太郎HRP1シリーズ向けに開発した、高い暖房性能と省エネ性を両立させる、寒冷地特有の新しい技術について述べる。

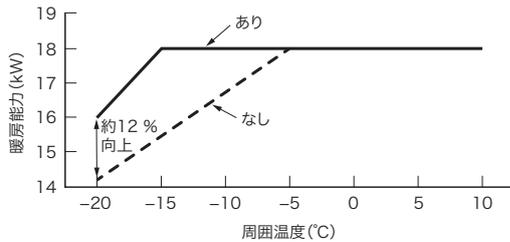
2. 液インジェクション技術

一般のヒートポンプ式エアコンは、大気熱を利用して冷暖房運転を行うので、電気を直接熱エネルギーに変換するよりも高効率であるが、冷暖房の負荷が高いほど能力が低下する。つまり、外気温が低ければ低いほど、室内を暖房することが難しくなる。この問題を解決するため、暖太郎HRP1シリーズは、液インジェクション技術(図1)の採用で外気温(乾球温度)-20℃での暖房能力を、従来の14.3kWから16.0kWへと約12%向上させることに成功した(5馬力クラス)。

低外気温で暖房能力を高めるには、コンプレッサーの回転数を高くして冷媒の循環量を増やす必要があるが、吐出温度が上がり過ぎるという問題が発生する。吐出温度の上昇は、暖房能力の向上には有利だが、高過ぎるとコンプ



(a) 暖房運転中に液インジェクション回路を動作させたときの冷凍サイクル



(b) 液インジェクションあり/なしの暖房能力比較

図1. 液インジェクションコンプレッサーによる暖房能力の向上

冷媒の循環量が増え、より多くの熱を運ぶことができるので、暖房能力が高められる。

Improvement of heating capacity with liquid injection compressor

レッサの寿命や信頼性を損なうおそれがある。これを防ぐために、吐出温度が設定した上限値以上になった場合は、コンプレッサーの回転数を下げる保護制御が働くようになっており、この結果、冷媒循環量を増やすことができなくなる。

そこで、液インジェクション技術を適用し、冷凍サイクル内の液冷媒^(注1)をコンプレッサーの圧縮室内に直接噴射することで、コンプレッサーの温度が下がり、吐出温度を下げるができる。吐出温度が下がった分、コンプレッサーの回転数を上げられるので、冷媒の循環量を増やすことができる。更に、圧縮室内に液冷媒を噴射しているので、圧縮する冷媒の濃度が高くなり、より一層冷媒の循環量を増やすことができる。これにより、極低温時の暖房能力を定格能力以上にすることができた。

このように、液インジェクション技術は暖房能力を向上させることができるが、省エネ性が少し低下するため、常時使用することは好ましくない。そこで、省エネ性よりも暖房能力を優先する低外気温のときだけ液インジェクションを使用することとした。また、液インジェクション使用時のコンプレッサーは高負荷となり、コンプレッサーのシリンダーとローラーの摩擦が大きくなる。そこでローラーに耐摩耗性の高い材質を使用した。更に、液インジェクション技術で冷凍サイクルのポテンシャルを引き出したことにより、電源容量も抑制で

きた。6馬力機種でもブレーカー容量は30年前の冷媒加熱式石油エアコンと同じ30Aになり、工事コストを抑制して買い換えやすさにつながった。

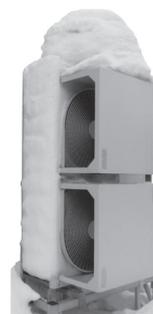
3. 雪害を軽減する技術

寒冷地向けエアコンは、高暖房感、省エネ性、及び室外機の凍結防止構造の改善に重点を置いて開発してきた。従来の暖太郎シリーズも、外気温 2°C で 50°C の温風を出すことができ、JIS B 8616:2015(日本産業規格 B 8616:2015)に準拠した通年エネルギー消費効率(APF2015)は、全機種5.0以上を達成している。室内温度の低下を抑制するため、室内ユニットへの冷媒流入を半減するデフカットバイパス回路を搭載している。除霜時間は3分以下(外気温(乾球温度) -20°C 、室温(湿球温度) 20°C 、配管長50m)に抑えることができ、連続暖房運転時間は旭川市での実証試験で3時間を記録した。更に、室外機底板の凍結を抑制するために、室内ユニットから戻ってくる熱を有効活用するベースヒーティング回路を搭載している。しかし、外気温が低い上に湿度が高い条件下で使用する場合、除霜で溶かし切れなかった氷や雪で室外機全面が覆われてしまい、熱交換できずに異常停止することがあった(図2)。

また、凍結した氷の圧力で室外熱交換器が破損することもあった。寒冷地でのエアコン停止は、ユーザーの生命や財産の危機に直結するリスクである。暖太郎HRP1シリーズは、低外気温、高湿度でも安定して動き続けるようにするために、新たに“氷柱防止除霜制御”、“凍結防止プレート”、“低着霜モード”、及び“ 8°C 暖房”を搭載した。

3.1 氷柱防止除霜制御

エアコンで暖房運転を行っているとき、一般に室外機の熱交換器と機内は、外気温より低い温度になっている。そ



(a) 室外機全面を覆う氷や雪



(b) 排水孔周囲の氷柱

図2. 雪だるま状態になった室外機

除霜運転により霜は室外熱交換器から離れているが、霜の塊が氷となってキャビネットなどに張り付いており、除霜運転では溶かせない。

Outdoor unit blanketed in snow and ice

(注1) 正確には液気二相の冷媒であるが、液の比率が高いので液冷媒と表記。

のため、外気温が2℃以上あっても室外機内が氷点下になる場合があり、室外機内に水があれば凍結する。雨や雪が降らなくても、室外熱交換器には霜が付着し、時折、霜を溶かす除霜運転を行うので室外機内に水が存在することは必然である。除霜運転中は暖房運転を停止するので、除霜時間を短縮するために、従来の暖太郎は、室外熱交換器の霜が溶けたと判定したら、一度コンプレッサーを停止させ速やかに暖房運転を開始するようにしていた。しかし、そのときはまだ除霜水が完全に排出されず室外機内に多く残っており、除霜水温も0～1℃と低い。暖房運転の再開により室外機内が急激に冷えるのは、室外熱交換器と底板の間の板氷や、排水孔の周囲に垂れ下がる氷柱、地面に落ちた除霜水が下から上に伸びる逆氷柱などができる原因になっていた(図2)。

氷柱を改善するポイントは、除霜水温を上げるほか、除霜時間を長くして除霜水を完全に排出することであるが、この間は暖房運転ができないので快適性の悪化につながる。

そこで、暖房の快適性低下を最小にしながらか確実に凍結を防止するために、暖太郎HRP1シリーズに適用する制御方式を検討した。除霜水温、除霜時間に影響する除霜時のコンプレッサー回転数、及び室外熱交換器の温度をパラメーターとして、理論計算、試験室での実験、及び旭川市での実証試験を行い、除霜に必要な熱量と時間のデータを取得した。そのデータを基に、コンプレッサーの回転数を

高くすることにより室外熱交換器の温度を上げて霜を早く溶かし、排水完了までの時間を短くする氷柱防止除霜制御方式を新たに構築した(図3)。外気温が低く着霜量が多いと判断した場合は、除霜時間を延長する機能も追加した。その結果、暖房開始時に除霜水が残ることがほぼなくなった。また、除霜水温が高いため、室外機から排出した除霜水も再凍結しにくく、氷柱が少なくなった。

3.2 凍結防止プレート

氷柱防止除霜制御により、除霜水が室外機内で再凍結するリスクは大幅に低減できたが、完全に排出されなかった除霜水や室外機内に吹き込む雨や雪などが凍結するおそれがある。従来の暖太郎は、凍結回避のために冷媒回路の一部を用いたベースヒーティング回路を搭載していたが、周囲約1～2cmの範囲の氷は溶かせるものの、それ以外では凍結を防止できなかった。ヒーターを隙間なく引き回せば全面的に凍結を防止できるが、総延長は何倍にもなり部品コストだけでなく消費電力量も大幅に増加する。

そこで、暖太郎HRP1シリーズは、凍結を防止する範囲を、氷結により破損するおそれのある室外熱交換器とプロペラファンの下面だけに限定し、面で凍結を防止する凍結防止プレート(図4)を採用した。

プレートの材質は熱伝導率の高いアルミニウムであるが、酸化と異種金属接触による腐食を抑制するため、5000系のアルミニウム(A5052)にアルマイト処理を施した材料を選定した。耐腐食性を確認するため、一般の亜鉛めっき鋼板、スーパーダイマ™(日本製鉄(株)の高耐食性めっき鋼板)、A5052にアルマイト処理したもの、及びA5052の4種類のテストピースにクロスカットを入れ、複合サイクル試験を行った。結果は、A5052+アルマイト処理が最も耐腐食性に優れ、次がスーパーダイマ™で、亜鉛めっき鋼板とA5052は同等で余り良好ではなかった(図5)。

クロスカットはアルマイト層より深くまで切り込んだが、そ

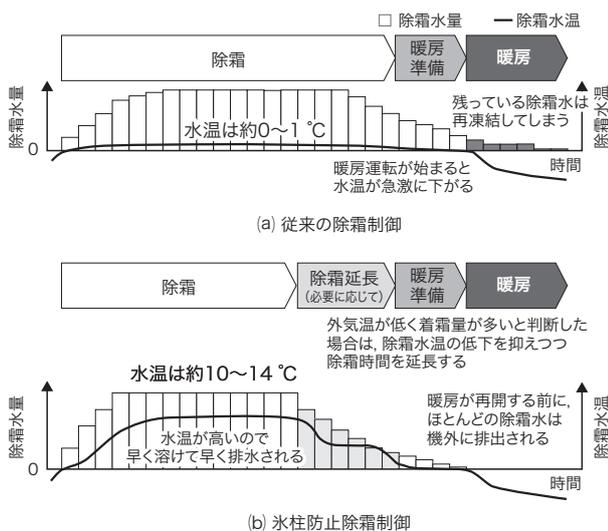


図3. 従来の除霜制御と氷柱防止除霜制御の比較

従来の除霜運転では、室外機内に水が残っている状態で暖房運転を開始すると、水温が低いため即座に氷結してしまう。氷柱防止除霜制御では、除霜水温を高くしたこと、排水された頃を推定して暖房運転を開始することで、室外機内の氷結を抑えられる。

Comparison of conventional and anti-icicle defrosting control methods

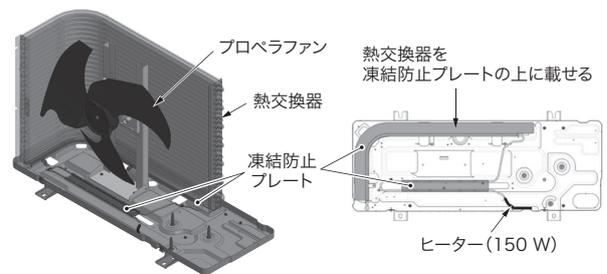


図4. 室外機の底面に取り付けた凍結防止プレート

氷結により破損するおそれがある熱交換器とプロペラファンを守るため、アルミニウムプレートを使用し、面で加熱して氷結を防ぐ。

Antifreezing plate installed on underside of outdoor unit

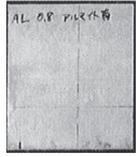
亜鉛めっき鋼板	スーパーダイマ™	A5052+アルマイト処理	A5052
			
腐食大 素地(鉄鋼)の赤さび発生大 白さびはめっきの犠牲防食	良好 素地(鉄鋼)の赤さび発生小 白さびはめっきの犠牲防食	良好 腐食生成物(白さび)の発生が少ない	腐食大 素地の腐食生成物(白さび)発生大

図5. プレート材質の耐腐食性の比較評価

4種類のテストピースの中で、A5052+アルマイト処理が一番良い耐腐食性を示した。亜鉛めっき鋼板とスーパーダイマ™は、亜鉛の犠牲防食の白さびが生じているが、素地のダメージとは異なる。これに対し、A5052では素地による白さびが生じており、腐食が大きい。

Comparative evaluation of corrosion resistance of plate materials

の内部はA5052の表面に自然に形成された酸化被膜(不動態被膜)により保護され、周囲に腐食が広がらなかった。これは、アルマイト層の効果と考えている。また、複合サイクル試験機の中にテストピースを設置したとき、異種金属として亜鉛めっき鋼板を接触させたが、特に腐食の傾向は見られなかった。これは、アルマイト層が絶縁被膜として有効に働き、電荷の移動を防いだからと考えている。これらの結果から、プレートの成形時や室外機への取り付け時などに小さい傷が付いても、耐腐食性が極端に悪化することはなく、また、他金属と接触していても耐久性があると判断した。

また、ヒーターとしての性能も検証した。亜鉛めっき鋼板とA5052で、肉厚0.8mmの凍結防止プレートを試作し、温度差を比較したところ、亜鉛めっき鋼板は、ヒーター側測定点が約56℃、先端測定点で約41℃と温度差が約15℃あったのに対し、A5052は、それぞれ約58℃、約50℃と8℃の温度差に抑えられた。A5052の肉厚を1.0mmにすると、先端測定点で約52℃と向上するが、厚みが増えたことによる材料費の増加が約20%になるので、肉厚0.8mmが最適であると判断した(図6)。

氷柱防止除霜制御というソフトウェアと凍結防止プレートというハードウェアを組み合わせ、従来の暖太郎では製品下側に氷柱ができてしまう外気温-20℃、湿度80%の条件において、氷柱はほとんどできないことを試験室で確認した。更に、旭川市の実証試験場においても、同様に良好な結果が得られた。

3.3 低着霜モード

従来の暖太郎、暖太郎HRP1シリーズともに、暖房性能の向上を目指して開発している。一般には、暖房能力を上

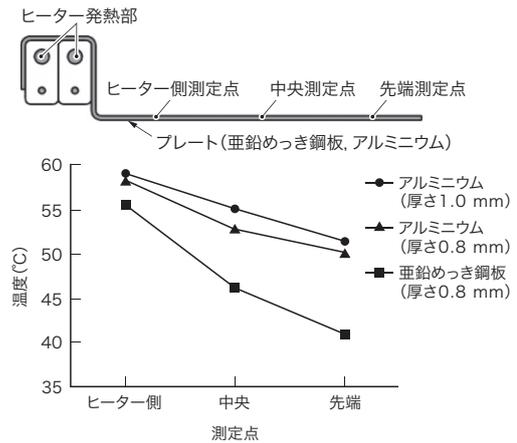


図6. 鋼板とアルミニウム板の熱伝導率の比較評価

アルミニウムは熱伝導率が高いので、プレートの先端までヒーターの熱が伝わり、先端測定点の温度が高くなる。

Comparative evaluation of thermal conductivity of steel and aluminum plates

げると着霜量は増える。着霜量が増えれば除霜水の量も多くなり、室外機が凍結するリスクと設置地面の積水量も増加する。暖太郎HRP1シリーズは、3.1節と3.2節に記述したような凍結対策を施し、更に着霜量自体を減らす低着霜モードも用意した。

低着霜モードは、暖房能力よりも着霜量を減らすことを優先した制御仕様のことである。具体的には、①コンプレッサーの最大回転数を抑制し、②一定時間で強制的に除霜運転を行う制御となる。①は室外熱交換器の温度低下を抑制して着霜量を減らす。②は、これまでの経験に基づいた暖房運転時間と着霜量の関係性を考慮した有効な制御である。着霜の様子を観察していると、暖房運転を開始して室外熱交換器に徐々に着霜が始まるが、ある一定の量を境に着霜の速度が速くなる。一定時間ごとの除霜で着霜量が少なくなると溶かせるため、除霜水が少なく水温も高くできる。また、除霜時間も短くなり、その結果、室温の低下を抑えられる。室内温度20℃、外気温-4℃、湿度80%の条件で、通常暖房運転と低着霜モードを比較すると、除霜水量は約42%減り、除霜水温は最高で14.2℃まで上昇するなど、大きな効果を得た。このとき暖房性能を比較すると、暖房平均能力は約16%低下したが、暖房運転率(暖房時間/(暖房時間+除霜時間))はほぼ同等の結果となった(表1)。

3.4 8℃暖房

8℃暖房は、夜間に人がいない店舗や事務所を設定温度8℃で暖房して、商品や各種機器などの凍結を防いだり、底冷えを抑えて翌朝に快適温度まで暖める時間を短縮

表 1. 通常の暖房制御と低着霜モードの性能比較

Comparison of performance of normal heating control and low-frost mode

	通常の暖房制御	低着霜モード	効果
除霜水量 (kg/h)	1.62	0.94	約42%削減
最高除霜水温 (°C)	3.6	14.2	約10.6°C上昇
暖房平均能力 (kW)	11.8	9.92	約16%低下
暖房運転率 (%)	93.7	93.4	ほぼ同等

測定条件：室内温度20°C、外気温-4°C、湿度80%

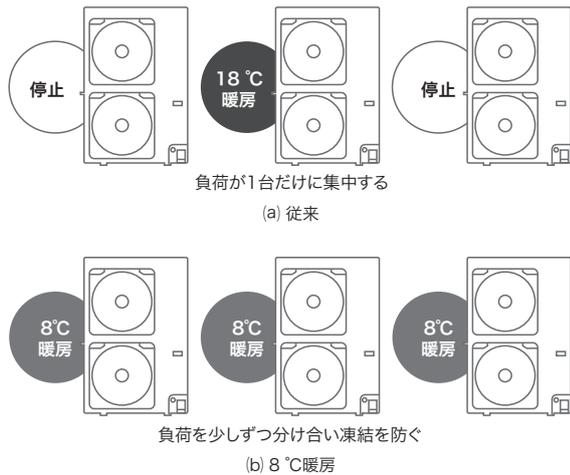


図 7. 8°C暖房制御の効果的な活用例

18°C設定×1台より8°C設定×3台での暖房の方が、電気代が安くなる上、より確実に朝まで連続運転できる。

Example of effective use of 8°C heating control method

したりする機能である。

現状でも、従来の暖太郎を6台据え付けている店舗で、夜間に1台だけ設定温度18°C（従来の暖太郎の最低暖房設定温度）で暖房運転を行い、商品の凍結を防いでいる事例がある。このような使い方をすると、運転している1台が過負荷になり、夜間の無人運転中に室外機が凍結で停止することがあった。

暖太郎HRP1シリーズは、据え付けられている複数台を全て8°C設定にする8°C暖房機能を追加したので、暖房負荷を分散して凍結を抑制し、朝まで運転できる（図7）。

4. 実証試験場の設立

暖太郎HRP1シリーズの開発では、社内の試験室での評価だけでなく、湿度が高く降雪も多い旭川市に実証試験場（図8）を設立し、2章と3章で述べた機能などを検証してきた。試験室では、温度や湿度は調整できるが、降雪や日光、風などの再現ができない。室外機の凍結を防いでメンテナンスを不要にすることが重要な開発項目であったので、



図 8. 実証試験の様子

旭川市にあるコンビニエンスストアの建物を利用して、実証試験を行った。

Proof tests at Asahikawa Technology Center

これを実使用環境で確認するには、実証試験場における実証試験は大変有意義であった。

5. あとがき

暖太郎HRP1シリーズは、従来機をフルモデルチェンジしたので、ここに記載した以外にも多くの機能向上や信頼性改善を織り込んだ。今後は、室外機だけでなく、除霜時の室内ユニットからの冷氣落ち改善や、室内の温度むらを低減する気流の採用など、室内機やリモコンの機能・性能向上を行い、低温地域対応技術を高めて暖房機として更に進化させていく。

暖太郎は、我が国では寒冷地向けの位置付けで、一部の地域向けの製品であるが、世界的に見れば、多くの主要都市が低温地域に存在し、市場は更に広い。今回確立した低温地域対応技術を、海外向け機種にも生かすことで、より一層快適な暖房空間を世界中に届けていく。

・スーパーダイマは、日本製鉄（株）の商標。



佐野 充邦 SANO Mitsukuni
東芝キャリア（株）
技術統括部 LC換気設計部
Toshiba Carrier Corp.



上重 淳 UESHIGE Jun
東芝キャリア タイ社
Toshiba Carrier Thailand Corp.



水頭 正一郎 SUITO Shoichiro
東芝キャリア（株）
技術統括部 LC換気設計部
Toshiba Carrier Corp.