

低GWP冷媒R448A及びR449Aを含む 5冷媒に対応した屋外設置形コンデンシングユニット

Outdoor Condensing Units Handling Five Refrigerants Including R448A and R449A with Low GWP

白井 弘二 SHIRAI Koji 内田 俊介 UCHIDA Shunsuke 楠野 真悠 KUSUNO Masaharu

冷凍空調業界では、低温機器の冷媒としてR404Aが広く用いられてきたが、地球温暖化係数（GWP）が3,920と高いことから、低GWP冷媒に対応する機器の開発が求められている。

東芝キャリア（株）は、低GWPかつ不燃性の冷媒R448A（GWP=1,386）及びR449A（GWP=1,396）に対応するとともに、従来の冷媒R404A、R410A、R407Cも使用可能な、5冷媒に対応した0.75～2.2 kWクラスの屋外設置形コンデンシングユニットを開発した。業務用として多岐にわたる顧客ニーズに応え、冷媒移行期における柔軟な製品選択を可能にした。

R404A has been widely used in the refrigeration and air-conditioning fields as the main refrigerant in condensing units. Due to its high global warming potential (GWP) value of 3920, however, demand has been increasing in recent years for condensing units using lower GWP refrigerants as a means of contributing to the prevention of global warming.

Toshiba Carrier Corporation has developed 0.75–2.2 kW outdoor condensing units capable of handling five refrigerants; namely, the low-GWP and nonflammable refrigerants R448A (GWP = 1 386) and R449A (GWP = 1 396), and the conventional refrigerants R404A, R410A, and R407C. These products allow customers to flexibly select the optimal products to meet various business objectives during the transitional phase of shifting to lower GWP refrigerants.

1. まえがき

近年、国際的に気候変動への対応が活発に議論され、CO₂（二酸化炭素）にとどまらず、HFC（ハイドロフルオロカーボン）類を含む温室効果ガスの排出抑制が大きな課題となっている。従来の低温機器用冷媒であるR404Aは、地球温暖化係数（GWP）^(注1)が3,920と高いため、使用を終息していく予定であり、低GWP冷媒の採用が急務となっている。

そこで今回、低GWP冷媒への転換促進を目的として、「フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」（フロン排出抑制法）による環境影響度の2025年度目標値（GWP \leq 1,500）に対応する、0.75～2.2 kWクラスの屋外設置形コンデンシングユニットを、2019年12月に市場投入した。低GWP冷媒には、R404Aと同等の安全性、施工性が見込まれるGWP1,386のR448Aと1,396のR449Aの2冷媒を採用するとともに、従来の主要3冷媒R404A、R410A、R407Cも引き続き使用可能としている。

ここでは、今回開発した5冷媒対応の屋外設置形コンデンシングユニットについて、その概要や特長を述べる。

(注1) GWPの数値は、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第4次評価報告書に基づく値。



図1. 屋外設置形コンデンシングユニット（0.75～2.2 kW）

0.75 kW (TAM130AU-SV)、1.1 kW (TAM200AU-SV)、2.2 kW (TAM350AU-SV)の3機種を市場投入した。

Outdoor condensing unit (refrigeration capacity range: 0.75–2.2 kW)

2. 規制目標に対応したコンデンシングユニット用冷媒の選定

コンデンシングユニットは、コンプレッサーや、凝縮器、ファン、制御器などで構成され、凝縮された液冷媒を冷却器側に供給する役割を持つ。屋外設置形と呼ばれるタイプは、エアコンの室外機に似た構造である（図1）。冷却器

表1. コンデンシングユニットの主な冷媒
Main refrigerants for condensing units

項目	冷媒				
	R404A	R407C	R410A	R134a	R744 (CO ₂)
分類	HFC 混合冷媒	HFC 混合冷媒	HFC 混合冷媒	HFC	自然冷媒
GWP	3,920	1,770	2,090	1,430	1
オゾン破壊係数 (ODP)	0	0	0	0	0
蒸発温度帯	冷凍 -45~-20℃	○	○	○	○
	冷蔵 -20~-5℃	○	○	○	○
	高温 -5~+10℃	○	○	○	○

側は、顧客の選択や設計により、ユニットクーラーなどと組み合わせ使用される。中形クラスのコンデンシングユニットは、コンビニエンスストア用などとして別置形ショーケースと組み合わせ、小形クラスの屋内設置形タイプは、別メーカーの内蔵形ショーケースや恒温試験装置などの製品に組み込まれ、再出荷されるケースもある。このように、コンデンシングユニットの使われ方は多岐にわたり、基本的に冷却器側の特定ができないため、できるだけ汎用性・信頼性を高めた設計としている。

表1に、コンデンシングユニットで一般に使われている冷媒を示す。R404Aは、生鮮食料品や飲料用の一般の冷蔵ショーケースから、魚などを冷凍で保管する低温倉庫まで、幅広く主力冷媒として用いられているが、GWPが3,920と高く、2019年に入り生産量及び輸入量の総量規制に伴う市場流通量の不足で価格が上昇し、入手性の悪化が進みつつある。自然冷媒で温暖化係数の低いR744 (CO₂) は、自動販売機や内蔵形ショーケースへの採用が進み、現在では一部のメーカーからR744 (CO₂) 対応のコンデンシングユニットが発売されている。

2.1 冷媒規制

2015年4月に施行されたフロン排出抑制法は、フロン類(特定フロン及び代替フロン)のライフサイクル全般(生産・使用・回収・破壊など)での排出抑制対策を規定している。また、業務用冷凍空調機では、廃棄時の冷媒フロン類の回収、機器使用時の点検・漏えい量の報告を義務付けており、2020年施行の改正法では、機器廃棄時にフロン回収を行わないユーザーに対する罰則が導入された。

更に、フロン排出抑制法では指定製品制度を設けている。フロン類使用製品の低GWP化、ノンフロン化を進めるため、家庭用エアコンなどの製品(指定製品)の製造・輸入

業者に対し、温室効果低減の目標値を定め、出荷する製品区分ごとに加重平均で目標達成を求めている。コンデンシングユニットは、2025年度までに加重平均GWPを1,500以下とするように目標設定されているため、3,920と高いGWPのR404Aに替わる低GWP冷媒対応機種の開発が必須である。

2.2 代替冷媒の選定

コンデンシングユニットの冷媒は、規制目標であるGWPだけでなく、安全性を大前提に、環境性や、性能、経済性などの総合的な配慮が必要である。

- (1) 安全性 毒性が低い、可燃性リスクが低い
- (2) 環境性 オゾン破壊係数=0
- (3) 性能 機器の効率が優れている
- (4) 経済性 妥当な機器コスト、工事コスト

表2に、R404Aの代替候補となる低GWP冷媒を示す。エアコンなどで用いられているR32は、GWPが700未満と低いものの、微燃性冷媒(A2L^(注2))なので、冷媒漏えい時の安全を確保するための製品形態や、設置状況に応じた何らかの対策などが必要であり、製品コストやシステムコストが高くなる。また、前述したように、コンデンシングユニットは様々な冷却器と組み合わせられるため、十分な安全対策を取れない可能性があり、微燃性冷媒は選定しにくい。R744 (CO₂) は、内蔵ショーケースなど室内に設置される機器については比較的対応しやすいが、環境温度が臨界温度の31℃を超える場合、通常の冷凍サイクルでは極端に冷凍能力が低下し、吐出温度が高くなるため対策が必要になる。また、圧力が高いため、コンプレッサーケースや配管の厚肉化などの高圧対策が必要となり、製品コストと工事コストが高くなる。このため、環境性には優れるものの、性能と経済性への影響が懸念される。

一方、R448A及びR449Aは、GWPが1,500未満で不燃性であり、圧力や、能力、COP(エネルギー消費効率)がR404Aに近いので、扱いやすい。短所としては、構成冷媒の沸点が異なる非共沸冷媒であるため、蒸発(凝縮)が開始する温度と終了する温度に差があることや、R404Aに比べて吐出温度が高くなることなどが挙げられるが、R32及びR744 (CO₂) に比べれば製品対応はしやすいと考えられる。

これらのことから、製品側、工事側とも現行と同等の対応が見込め、安全性や、環境性、性能、経済性など、全ての面で良好といえるR448A及びR449Aを代替冷媒に選定した。

(注2) ISO 817(国際標準化機構規格 817)の安全等級。A2Lは、低毒性(A)の微燃性(2L)を表す。

表2. 現行冷媒と代替冷媒の特性

Characteristics of conventional and alternative refrigerants

項目		低GWP冷媒				現行冷媒		
		HFO系		HFC系	自然冷媒	HFC系		
		R448A	R449A	R32	R744 (CO ₂)	R404A	R407C	R410A
組成 (wt%)	R1234yf	20.0	25.3	—	—	—	—	—
	R1234ze (E)	7.0	—	—	—	—	—	—
	R134a	21.0	25.7	—	—	4.0	52.0	—
	R32	26.0	24.3	100	—	—	23.0	50.0
	R125	26.0	24.7	—	—	44.0	25.0	50.0
	R143a	—	—	—	—	52.0	—	—
	CO ₂	—	—	—	100	—	—	—
ODP		0	0	0	0	0	0	0
GWP		1,386	1,396	675	1	3,920	1,770	2,090
安全等級		A1	A1	A2L	A1	A1	A1	A1
物性*	凝縮圧力 (kPa)	2,007	1,986	2,795	(9,000)	2,052	1,863	2,730
	蒸発圧力 (kPa)	465	461	691	3,046	513	416	679
	吐出温度 (°C)	80	80	110	(105)	71	82	90
	体積能力 (kJ/m ³)	2,773	2,741	4,166	(5,110)	2,681	2,605	3,794
	理論COP	3.90	3.90	3.84	(1.37)	3.72	3.96	3.76
	蒸発器温度勾配 (K)	4.00	3.60	—	—	0.37	4.22	0.07

* 米国標準技術研究所 (NIST) の冷媒熱物性データベースソフトウェアREFPROP (Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database) Ver.9.1により計算
 計算条件: 平均凝縮温度 45 °C, 凝縮器出口過冷却量 0 °C, 平均蒸発温度 -5 °C, コンプレッサー吸込み温度 18 °C
 R744 (CO₂) は参考値 (高圧 9 MPa, 内部熱交ありで算出)

3. 5 冷媒対応機の開発

開発機は、現行の小形クラスのラインアップと同じ、0.75 kW, 1.1 kW, 2.2 kWクラスの3機種とした。また、設計効率化や低コスト化を図るため、筐体(きょうたい)及び内部構造は、業務用空調機の室外機とのプラットフォーム設計とし、3機種共通筐体とした。冷媒は、R448A, R449Aとともに、現行冷媒のR404A, R410A, R407Cも選択可能な5冷媒対応機とした。2025年度のGWP目標値に向け、R448Aなどへの移行段階に入ってきているが、代替冷媒だけに絞った製品では汎用面で市場に受け入れられにくい状況であり、今後変化していく市場に合わせてユーザーの選択肢を広げられるように、複数冷媒を選択可能にした。

3.1 開発のポイント

複数冷媒の共用機とするため、5冷媒(R448A, R449A, R404A, R410A, R407C)が同じコンプレッサー、冷凍機油、制御で問題ないか、という点がポイントとなる。信頼性については、エステル系の冷凍機油に対し、R448A, R449Aに含まれる新たな成分、HFO(ハイドロフルオロレフィン)冷媒であるR1234yf及びR1234ze(E)の影響、R404Aに対してR448A, R449Aの吐出温度が高い点に留意した。

3.2 信頼性確保

コンプレッサーの信頼性については、R448A及びR449AにHFO冷媒が含まれるため、冷凍機油への冷媒溶け込み量が増え、溶解粘度が低下することによる油膜確保が懸念される。今回、実使用過負荷条件で耐久試験を実施し、摩耗進行などの問題がないことを確認した。

吐出温度が高くなる点については、コンプレッサーを冷却する液インジェクション制御が、吐出温度をパラメーターとして電子制御膨張弁で流量調整するため問題なく、制御の5冷媒共用も可能である。

コンプレッサーやファンモーターによる高圧側の制御は、従来は、凝縮器センサーによる温度測定値を圧力換算することで行っていた。今回、追従性の問題や冷媒ごとの制御値追加の煩雑さを解決するため、新たに高圧センサーを追加した。直接圧力値を取得して高圧制御を行うことで問題を解決し、5冷媒いずれの選択時でも精度の高い運転と保護制御を可能とし、信頼性を向上させた。

これらのことから、コンプレッサー及び冷凍機油、ほかの構成部品や制御を含め、5冷媒共用による信頼性確保は可能であると判断した。図2に冷媒配管図を、図3に製品の蒸発温度使用範囲を示す。R448A及びR449Aは、コンプレッサーの信頼性を確保するため、蒸発圧力が負圧にならないように、蒸発温度を-40 °C以上とした。

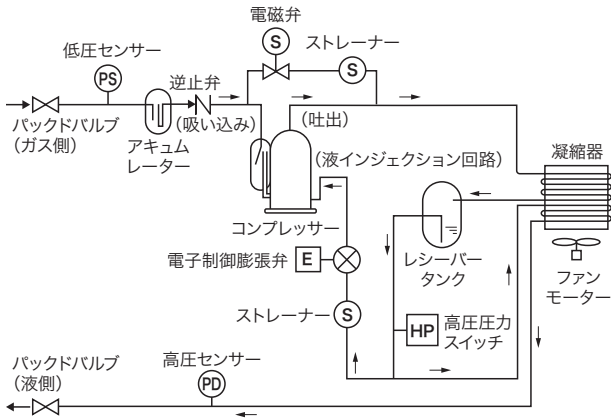


図2. コンデンシングユニットの冷媒配管図

図中、レシーバータンク出口から分岐左側が液インジェクション方向、右側が過冷却方向である。

Condensing unit refrigerant piping diagram

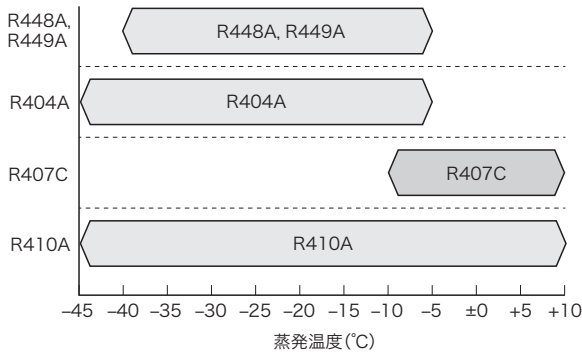


図3. 冷媒別の蒸発温度使用範囲

顧客の冷却器仕様(蒸発温度、冷凍能力など)に応じ、最適な冷媒を選択できる。

Evaporation temperature range of five refrigerants

3.3 R404Aとの性能比較

R448A, R449A, 及びR404Aの2.2 kWクラスの冷凍能力特性を図4に、COP特性を図5に示す。R448A及びR449Aは、R404Aに対し、蒸発温度が低温条件と低運転周波数時に冷凍能力がやや低下する傾向にあるが、COPは、中温条件でR404Aより増加傾向となる。

3.4 省エネ化技術

レシーバータンク出口側の液冷媒を、再び凝縮器に戻して温度を下げる、過冷却部を設けた(図6)。レシーバータンクは、狭い機械室内に設置され、コンプレッサの排熱の影響で冷媒温度が上がる傾向にあるため、再び冷媒を冷却することで過冷却を確保する。これにより、0.75 kWクラスでは、ユニット出口の液冷媒温度が過冷却部を持たない場合と比べて約5 K低下し、約4%の能力アップとなった。

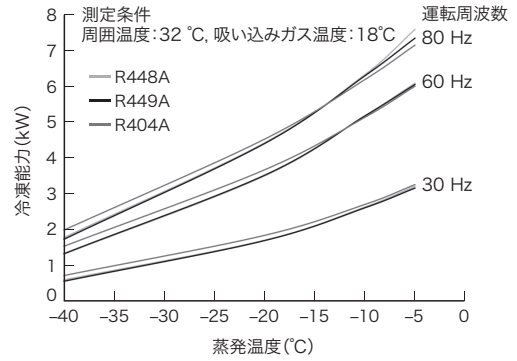


図4. 冷凍能力特性 (2.2 kW)

低GWP冷媒のR448A及びR449Aの冷凍能力は、冷蔵ショーケースなど需要の多い冷蔵域での蒸発温度 -10°C で、R404Aと同等以上である。

Dependence of refrigeration capacity of 2.2 kW condensing unit on evaporation temperature

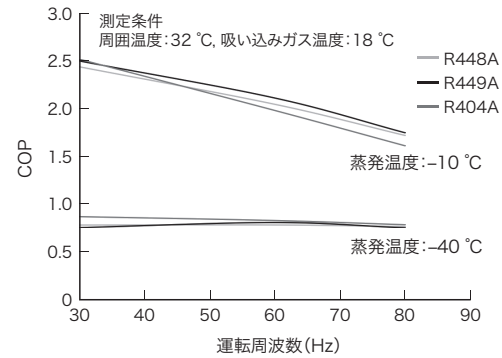


図5. COP特性 (2.2 kW)

R448A及びR449AのCOPは、需要の多い蒸発温度 -10°C でR404Aと同等以上であり、省エネ性で有利といえる。

Coefficient of performance (COP) characteristics of 2.2 kW condensing unit

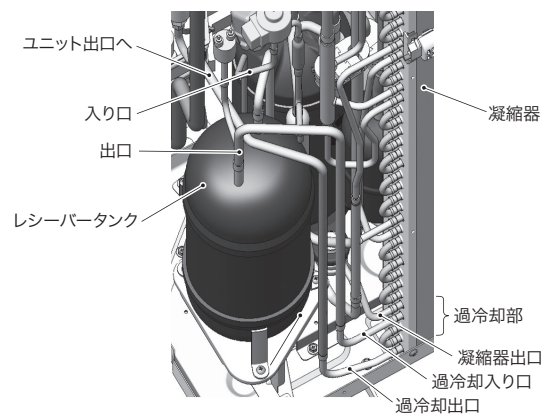


図6. 過冷却部の冷媒配管

従来機の凝縮器配管を見直し、新たに過冷却部を設けることで、コンプレッサの排熱による冷媒温度の上昇を抑制した。

Refrigerant piping in subcooling section

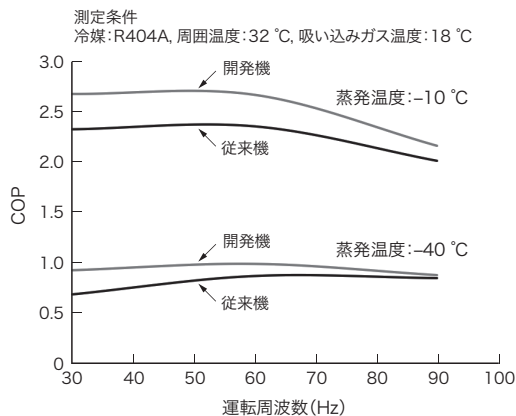


図7. COP特性 (0.75 kW)

需要の多い蒸発温度-10℃でCOPが最大0.3アップし、省エネ性が向上した。

COP characteristics of 0.75 kW condensing unit

また、制御基板を小型化し、コンデンシングユニットの筐体を全機種共通にすることで、製品内部のスペース確保を図った。これにより、0.75 kW機種は、凝縮器面積の増加が可能となったことで省エネ性能が向上し、従来機に比べCOPが最大0.3アップした(図7)。

4. その他の特長

メンテナンス性向上のため、このクラスでは初めて制御基板上に7セグメントのLED(発光ダイオード)を設け、運転圧力や、各部温度、異常発生時のエラーコードといった文字情報を表示可能にした(図8)。サービス対応などで運転中の圧力を確認する際、ゲージマニホールドなどの専用工具が不要となるため、工具装脱着時の冷媒の大気漏えい防止にも効果がある。また、将来的に運転データを外部出力できるように、通信ポートも装備した。

更に、冷却器側の希望温度をコンデンシングユニットに設定できる制御を追加した。従来は、顧客が希望温度を圧力換算して圧力値の設定を行っていたが、今回、5冷媒の圧力換算値を制御に織り込み、直接温度設定ができるようにした。

5. あとがき

従来の冷媒に加え、R448A及びR449Aの2種の低GWP冷媒を採用し、サービス性と省エネルギー性を向上させた屋外設置形コンデンシングユニットを市場投入した。5冷媒対応機種なので、冷媒や部品の流通事情に合わせ、後で冷媒の切り替えを行うことを前提とした導入も可能となる。冷媒移行の過渡期に柔軟に対応でき、市場要求である低

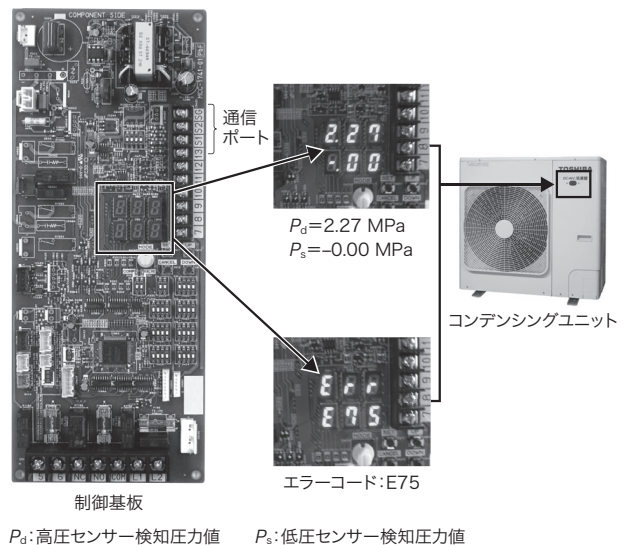


図8. 制御基板上のLED表示と通信ポート

文字情報表示や通信ポートの装備でメンテナンス性・サービス性を向上させた。また、外部入出力端子も多数備え、汎用性を高めている。

Light-emitting diode (LED) displays and communication ports on control board

GWP、低ランニングコストを兼ね備えた製品といえる。

今後は、低GWP冷媒対応機種のラインアップを、屋外設置形の中形ゾーン(3.75~6.0 kWクラス)及び屋内設置形に順次展開していく。また、フロン排出抑制法に向け、更なる省エネ化・低GWP化を進め、IoT(Internet of Things)による遠隔監視や、故障予知、冷媒漏えい検知など、顧客システムへの対応を推進していく。



白井 弘二 SHIRAI Koji
東芝キャリア(株)
技術統括部 冷機温水設計部
Toshiba Carrier Corp.



内田 俊介 UCHIDA Shunsuke
東芝キャリア(株)
技術統括部 冷機温水設計部
Toshiba Carrier Corp.



楠野 真悠 KUSUNO Masaharu
東芝キャリア(株)
技術統括部 冷機温水設計部
Toshiba Carrier Corp.