

世界初 CO₂スクロータリー圧縮機2台搭載 業務用大容量コンデンシングユニット“HCCV2001M”の開発

Development of the World's First Large Capacity Commercial Condensing Unit
“HCCV2001M” Equipped with Two CO₂ Scroll and Rotary Compressors



水野 尚夫*¹
Hisao Mizuno

村上 健一*²
Kenichi Murakami

後藤 孝英*³
Takahide Goto

川西 章夫*³
Akio Kawanishi

早川 哲矢*³
Tetsuya Hayakawa

塩谷 篤*⁴
Atsushi Enya

地球温暖化防止対策として、地球温暖化係数(Global Warming Potential;GWP)の低い冷媒への転換(低 GWP 化)が冷凍空調機器に求められている。三菱重工サーマルシステムズ(株)(以下、当社)は、業務用コンデンシングユニットで現在、主流のフロン冷媒である R404A (GWP3920) や R410A (GWP2090) に対し、GWP が1の自然冷媒 CO₂を採用した 10 馬力“HCCV1001”に続き大容量の 20 馬力“HCCV2001M”を開発した。大容量化ではスクロータリー圧縮機を2台搭載し能力対応範囲を拡大しながら、“HCCV1001”と同寸法のキャビネットに機器を収めることで、設置自由度を確保した。本報では本製品の技術課題と適用技術について説明する。

1. はじめに

日本ではフロン排出抑制法により低 GWP 化を推進しており、業務用コンデンシングユニットは圧縮機定格出力 1.5kW を超えるものに対し、使用冷媒を 2025 年までに GWP1500 以下とする目標が義務付けられている。表1に示すように、低 GWP 化を目的とした代替冷媒候補として Hydro Fluoro Olefin (HFO) と Hydro Fluoro Carbon (HFC) を混合した R448A (GWP1387), R463A (GWP1494) のフロン冷媒がある。これらはフロン冷媒であることから、使用時に一定量の冷媒が漏えいした場合には国への報告義務や、整備時・廃棄時の冷媒回収・充填及び廃棄に伴う証明書等の発行、定期的な機器の点検義務など施工、使用、整備、廃棄それぞれのライフステージでの冷媒管理が義務つけられている。また、GWP も 1500 弱と大きいことが欠点である。自然冷媒のアンモニア NH₃ は燃焼性と毒性から保守管理面で扱いづらい点があり、小型冷凍冷蔵には向いていない。一方、自然冷媒の CO₂ は設計圧力が高いが GWP が低く、単一成分でフロン冷媒のような冷媒管理の義務化も少ないことから取り扱いやすい資質を持っている。これらの優れた点から当社は自然冷媒である CO₂ 冷媒を採用した業務用コンデンシングユニット 10 馬力“HCCV1001”を 2017 年に市場投入し、好評を博している。

今回開発した業務用大容量コンデンシングユニット 20 馬力“HCCV2001M”は、表2に示すように 10 馬力“HCCV1001”と同寸法のキャビネットに、図1のスクロータリー圧縮機を2台搭載することで大容量化に対応した。また、モントリオール議定書で 2020 年に生産が全廃になる R22 冷媒を使用したコンデンシングユニットとの比較を表3に示す。“HCCV2001M”は R22 機対比で、外形寸法、重量などで低減を図り、R22 機の買い替え需要にも対応させた。

*1 三菱重工サーマルシステムズ(株)空調機技術部 主席プロジェクト統括

*2 三菱重工サーマルシステムズ(株)空調機技術部 主席技師

*3 三菱重工サーマルシステムズ(株)空調機技術部

*4 三菱重工業(株)総合研究所伝熱研究部 主席研究員

表1 自然冷媒 CO₂とHFC 系混合冷媒

	二酸化炭素 (CO ₂)	アンモニア (NH ₃)	混合冷媒 (R448A)	混合冷媒 (R463A)
地球温暖化係数 (GWP)	1	<1	1387	1494
燃焼性	不燃性	微燃性	不燃性	不燃性
運転・維持の資格が不要となる法定能力(トン)	20トン未満	5トン未満	20トン未満	20トン未満
毒性	無し	有り	無し	無し
保安設備	漏えいセンサ	漏えいセンサ, 除害設備, 感震器, 保安用具の設置	漏えいセンサ	漏えいセンサ

混合冷媒 GWP 値; 出典“IPCC 第4次評価報告書”地球温暖化係数(GWP)100年値

表2 HCCV2001M の仕様

形式		HCCV2001M (20馬力)	HCCV1001 (10馬力)
用途		冷蔵・冷凍	
電源		3相 200V 50/60Hz	
使用冷媒		R744(二酸化炭素)	
使用周囲温度		-15℃～43℃	
使用温度範囲		-45℃～-5℃	
法定冷凍能力		5.96トン	2.98トン
設計圧力		高圧 14MPaG/低圧 8MPaG	
圧縮機	方式	二段圧縮スクロータリー	
	駆動方式	DC インバータ	
	台数	2台	1台
外形寸法(mm)		幅 1350×奥行 720×高さ 1690	
製品重量		470kg	340kg

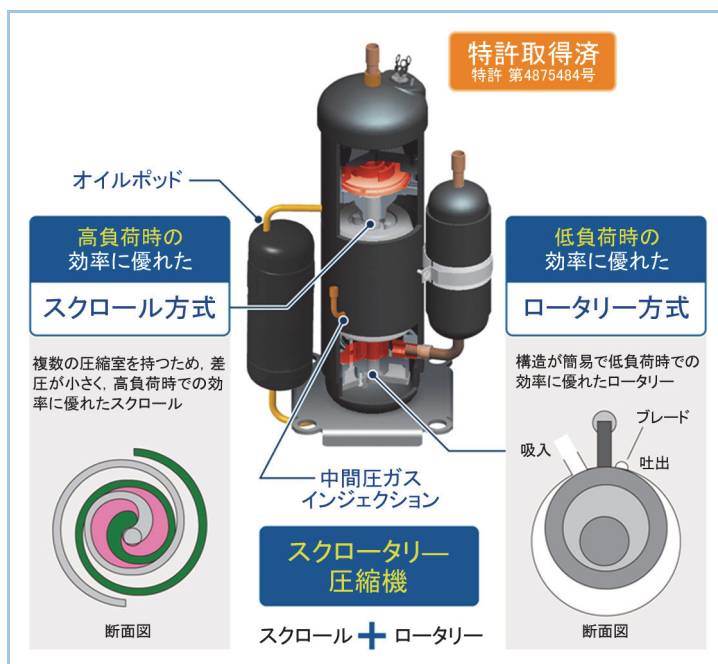


図1 スクロータリー圧縮機

“HCCV2001M”は広範囲な負荷に対応するため、圧縮機の台数制御と圧縮機回転数制御を併用している。台数制御は接続する負荷機(コンデンシングユニットに繋がれるショーケースやクーラ等)の要求負荷に応じて、圧縮機1台運転と圧縮機2台の並列運転を切り替える制御、圧縮機回転数制御は圧縮機の回転数を調整する制御である。これらの制御によって対応負荷下限は“HCCV1001”と同値のまま、能力上限は2倍に拡大した。

表3 HCCV2001M の仕様 (R22 機との比較)

形式	HCCV2001M (20馬力)	HCA150M (20馬力)
用途	冷蔵・冷凍	
電源	3相 200V 50/60Hz	
使用冷媒	R744(二酸化炭素)	R22
使用周囲温度	-15℃～43℃	
使用温度範囲	-45℃～-5℃	
法定冷凍能力	5.96トン	6.78/8.08トン
設計圧力	高圧 14MPaG/低圧 8MPaG	高圧 2.94MPaG/低圧 1.27MPaG
圧縮機	方式	二段圧縮スクロータリー
	駆動方式	DC インバータ
	台数	2台
外形寸法(mm)	幅 1350×奥行 720×高さ 1690	幅 2700×奥行 600×高さ 1800
掘付面積	0.98m ²	1.62m ²
製品重量	470kg	500kg
接続配管	液管	Φ 15.88
	ガス管	Φ 25.4
		Φ 19.05
		Φ 41.28

2. 技術課題

スクロータリー圧縮機の2台搭載による大容量化に対する技術課題を以下に示す。

(1) 大容量化のための余剰冷媒制御

限られたキャビネット寸法に各機器を収めるため、システム内の冷媒の量を調整する役割を持つ液冷媒を溜める容器のアクキュムレータやレシーバのコンパクト化を図る必要がある。そのためレシーバからの余剰な液冷媒の圧縮機への流れ込みを防ぐ必要がある。

(2) 圧縮機内の冷凍機油の確保制御

圧縮機内の冷凍機油の枯渇を防止するため、配管内の油戻し運転に加え、空調機で実績のある2台の圧縮機間を均油管で接続し、均油制御を適用する。スクロータリー圧縮機では、油の貯留する部位の圧力が低段圧縮後の中圧となり、運転の影響を受け2台の圧力に差圧が発生する。そのため、差圧による均油管を通じた冷凍機油の過剰な移動を回避し、同時に各圧縮機内の冷凍機油を均油制御により確保する必要がある。

これら技術課題に対する対応を次章以降で説明する。

3. 大容量化のための余剰冷媒制御

システムの大容量化は、接続する負荷機や接続配管の容積増加により封入冷媒量が増えるため、運転条件により変化する余剰冷媒量をレシーバに貯める必要がある。当社が採用する二段圧縮ガスインジェクションサイクルの場合、通常運転では図2(a)に示すように、レシーバで冷媒が液とガスに分離されガスインジェクション回路に冷媒ガスが導かれる。冷凍能力負荷が極端に少ない運転では、循環量が少なくなり、余剰冷媒がレシーバへ許容容積を超えて溜まりこみ、液冷媒がガスインジェクション回路から圧縮機に直接液を吸い込む場合がある。液冷媒が圧縮機に流入すると、圧縮機内の冷凍機油が希釈され、粘度が低下し潤滑性の悪化により、圧縮機の信頼性に悪影響を与える。この場合、レシーバ容量を十分に大きくして許容容積を増やす方法が一般的である。しかしながら、この方法は小型・軽量の要請に応えることができない。

“HCCV2001M”は、“HCCV1001”と同寸法サイズとするために、レシーバはHCCV1001と同一の機械室サイズで確保できる最大容積とし、図2(b)に示すように、レシーバの液面状態を監視する液面センサを設置し、余剰冷媒制御している。これは過渡的に液面が上昇し、液面センサが許容容積以上の液面を検知した場合、コンデンシングユニットの液管出口部上流の内部熱交換器(二重管液ガス熱交換器)の回路を通じて、液冷媒を低圧側へ一時的に逃がす制御である。この制御により、圧縮機の継続運転が可能となり、必要な冷却能力を確保した。また、能力が過多とな

る低負荷時に、許容容積以上の液面を検知する場合は、インジェクション回路を閉止、かつ、圧縮機を停止する制御を採り入れることで、液冷媒の圧縮機流入を回避している。圧縮機再起動後はレシーバ液面が低下後にインジェクション回路を開とする制御を入れることで、冷凍能力を確保している。

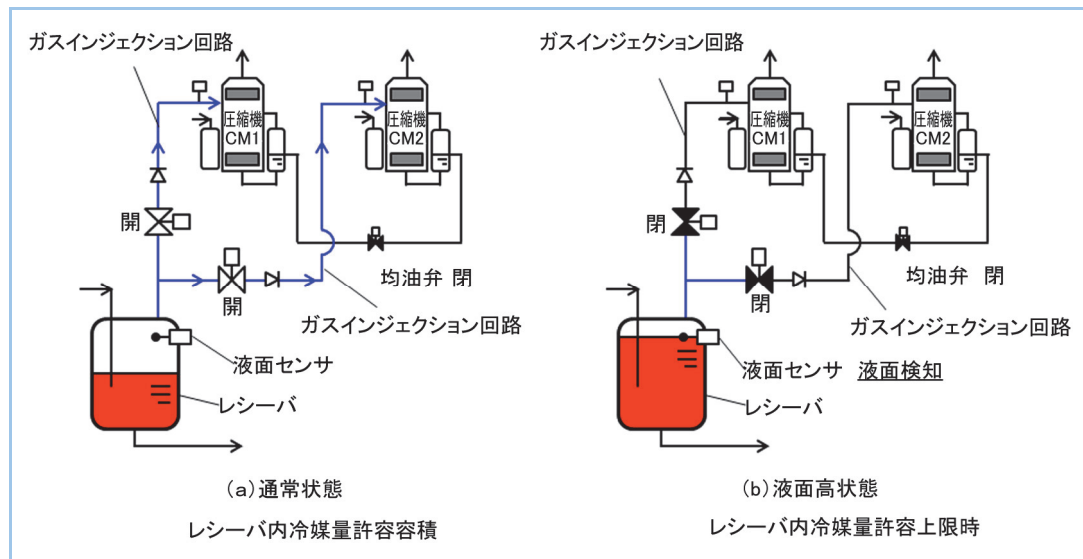


図2 余剰冷媒制御

4. 圧縮機内冷凍機油の確保制御

圧縮機内の冷凍機油の確保は、空調機で製品実績のある油戻し制御と、均油制御を採用している。油戻し制御とは、負荷機である熱交器やガス配管内に溜まったシステム内の冷凍機油を圧縮機に戻す制御のことで、圧縮機からの油吐出量と配管内油ホールド量を考慮して制御の開始条件を決定している。

圧縮機から吐出されオイルセパレータで分離しきれず冷媒回路へ出る油量割合を示す冷凍機油循環量割合(冷凍機油循環量/(冷凍機油+冷媒循環量))と圧縮機回転数の実測相関を図3に示す。本図から、蒸発温度、圧縮機回転数で変化する冷凍機油の吐出量をきめ細かく推定し、圧縮機内の冷凍機油不足とならないよう油戻し運転実施の判断を行っている。冷凍機油を圧縮機に戻すためには、配管中の冷媒が液冷媒の場合、冷凍機油は冷媒とともに戻ることが可能だが、ガス冷媒の場合、冷凍機油は冷媒と同流速で戻ることができない。これは作動流体である冷媒の密度、及び、流速が小さいと相溶性のある油であっても流動することが困難なためである。そのため、コンデンシングユニットが負荷機に対し高位置の(ヘッド差がある)設置をされた場合も考慮し、冷媒が冷凍機油を上向きに流動させることが可能な移動(フラッディング流速)以上を確保することで、冷凍機油を圧縮機に戻す制御を取り入れた。油戻し制御の具体的な作動は、このフラッディング流速を確保するため、一時的に圧縮機回転数を上げてシステム内に溜まりこんだ冷凍機油を流動させ、圧縮機へ戻すものである。この制御内容の検証は、当社社内工場に所有する高ヘッド差試験設備を用い、妥当性を確認している。

さらに、冷凍機油確保のために、2台の圧縮機間の油の偏りをなくす均油制御を実施している。これは2台の圧縮機を同一冷凍サイクルの中で運転すると、運転周波数が同一であっても、圧縮機、システムの個体差による各圧縮機への油戻り量の違いから、片側の圧縮機に冷凍機油の偏りが発生するためである。また、本製品では負荷が小さい場合にも冷凍機を継続運転可能とするため、圧縮機1台運転の台数容量制御を採用しており、同様に片側の圧縮機に冷凍機油の偏りが発生する場合がある。これらの圧縮機間の油の偏りが継続すると油不足となるため、空調機で実施している均油制御を応用適用した。空調機は、油を貯留している圧縮機が各圧縮機の

発停に関わらず低圧となっている。このため、圧縮機間の油の偏りをなくすことを目的に各圧縮機本体を均油管で接続し、2台の圧縮機を異なる回転数で運転させことにより、各圧縮機の圧力差を用いて冷凍機油を移動させ油の偏りを回避している。しかし、コンデンシングユニットの“HCCV2001M”のスクローター圧縮機の場合、冷凍機の貯留する部分が低段圧縮後の中圧であるため、圧縮機1台運転時には、停止圧縮機の内部は低圧となる。このため、中圧である運転中の圧縮機から低圧である停止中の圧縮機へ、冷凍機油が均油管を通じて移動することを回避する必要がある。均油管に均油弁を設置することにより、冷凍機油の移動を回避した。圧縮機が運転中の場合は、均油弁を閉止して各圧縮機間の油の移動を回避し、均油制御が必要となった場合には、各圧縮機の圧力を合わせるシンクロ制御(図4(a))を行った後、均油弁を開けて図4(b)に示す均油制御へ移行する制御としている。

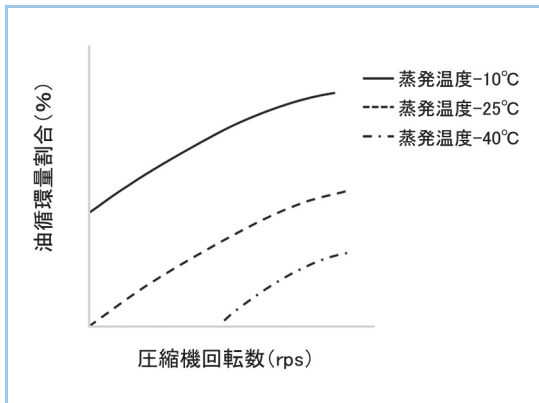


図3 油循環量割合

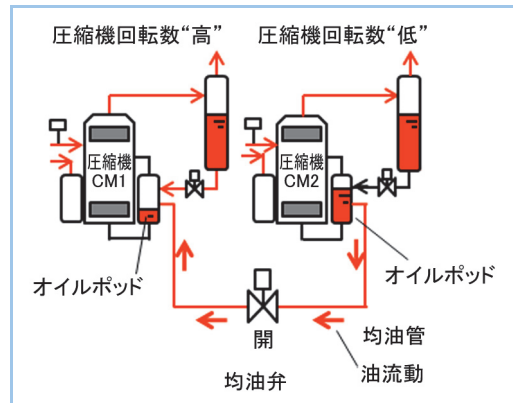


図4(b) 均油制御概要

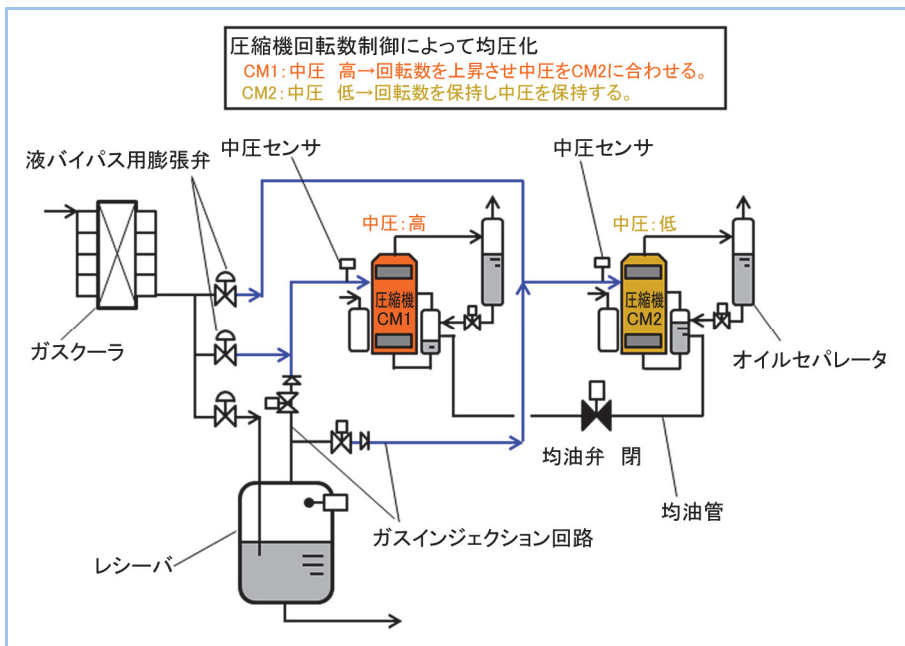


図4(a) シンクロ制御概要

また、さらなる信頼性向上対策として、冷凍機油の貯留量を増やすためオイルポッドを設けるとともに、冷凍機油の油面検知のためのセンサを設置しており、油面低下を検出した場合に油戻し制御、均油制御を実施し、圧縮機故障を未然に防止する制御も取り入れている。

5. 10HP同様の使用範囲を確保

今回開発した業務用大容量コンデンシングユニット 20 馬力“HCCV2001M”は、10 馬力“HCCV1001”と同寸法のキャビネットとして据え付け面積を同一にしており、連続設置でも間隔最小 10 mmを保ち能力対比で据付性を向上させている(図5)。また、従来フロン機の冷凍冷蔵の使

用条件, 据え付け条件を満たしており, “HCCV1001”と同様, 容易に既設機からの更新需要に対応できる仕様となっている。

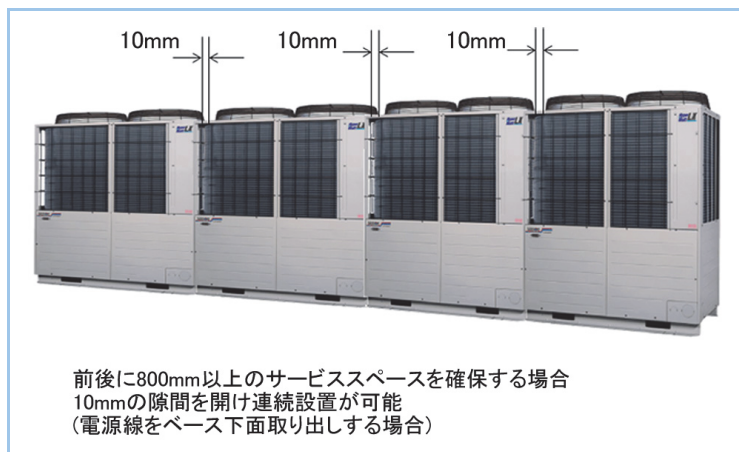


図5 連続設置

使用条件

- ① 蒸発温度を -45°C から -5°C まで任意に設定可能。
- ② 外気温度が -15°C から 43°C までの範囲で使用可能。

据え付け条件

- ③ 負荷装置とコンデンシングユニットの接続配管長さは 10~100mの範囲が可能で, コンデンシングユニットが上, 負荷機が 22m下の位置関係にある据え付け状態でも運転可能(図6)。

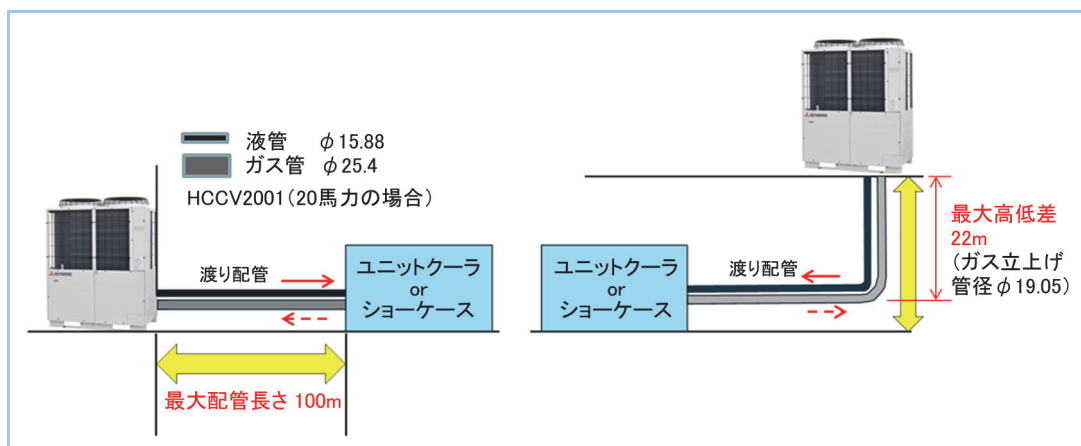


図6 据え付け性(配管長とヘッド差)

6. まとめ

今回開発した自然冷媒 CO_2 を採用した業務用大容量コンデンシングユニット“HCCV2001M”は, 環境にやさしいだけでなく, 従来のフロン冷媒を使用したユニットと同様の扱い易さを備えている。これらのシリーズを冷凍冷蔵倉庫やスーパーマーケットだけでなく, 工場設備へも適用拡大していくことにより, CO_2 排出量を削減し地球環境保全に貢献していく。

参考文献

- (1) 水野尚夫, 村上健一, 竹田猛志; 冷凍 VOL.094, No.1097, 冷凍冷蔵倉庫への CO_2 冷媒直膨システム導入事例, 2019, 03