

CO₂冷媒によるヒートポンプ最新技術

Recently Technology of Heat Pump with CO₂ Refrigerant

株式会社前川製作所 グローバルセンター
MAYEKAWA MFG.CO.,LTD. Global Center
神戸 雅範
Masanori KANDO

キーワード：自然冷媒，ヒートポンプ，省エネルギー，加熱，冷却

Key Word : Natural refrigerants, Heat pump, Energy conservation, Heating, Cooling

1.はじめに

ヒートポンプは、IEA「ETP2008(エネルギー技術展望 2008)」、「Cool Earth—エネルギー革新技术計画」、総合科学技術会議「環境エネルギー技術革新計画」等で、エネルギー・環境問題の解決策の一つの柱として取り上げられるなど、最近大きな期待が寄せられている。事実、ヒートポンプ技術は、我が国に於いては民生部門ならびに産業部門の各分野で大きく進展し、今や世界の中でもトップクラスの技術に成長した。

今年の6月に政府が2020年までに我が国の温室効果ガスの排出量を2005年比で、15%削減する中期目標を決めたが、これはヒートポンプの普及と活躍の場を益々拡大させるものと考えられる。

家庭用・業務用・産業用の各分野では、様々なヒートポンプに主にフロン系冷媒が使用されてきたが、21世紀に入って以降、フロン系冷媒と並行して、自然冷媒の一つであるCO₂冷媒がエコキュートに使用されるようになり、CO₂冷媒は非常に身近な存在になってきた。CO₂冷媒を用いたヒートポンプは「温水」を発生するに留まらず、現在では「120℃の熱風」を発生させるレベルにまで至った。

本稿では最近相次いで開発を終えた、排温水や井水を熱源として高効率・高温給湯が可能な「水熱源エコキュート(冷水・温水同時取り出しヒートポンプ)」、ならびに燃焼装置を代替・補完することが可能な高効率「CO₂ヒートポンプ式熱風発生装置」について、その概要と性能ならびに用途等について紹介する。

2.ヒートポンプに使用される冷媒の現状と動向

ヒートポンプサイクル中を流れ、熱を効率よく運ぶ媒体が冷媒である。ヒートポンプや冷凍機用の冷媒には、従来からR-22(HCFC22)を代表とするHCFC系フロン多く用いられてきたが、オゾン層破壊係数(ODP)がゼロではなく、しかも地球温暖化係数(GWP)がCO₂の1700倍もあることからR-22(HCFC22)は国内に於いて、補充分を残して新規分の製造は2010年で中止されることが決定されている。また、塩素を含まずODPがゼロの代替冷媒HFC系フロンに関してもGWPが高いことから、気候変動枠組条約第3回締結国会議(COP3 京都会議, 1997年12月)で削減目標の対象物質に指定された。一方、フロンを使用せずに自然冷媒を用いたヒートポンプも開発され普及してきている。自然冷媒としてはアンモニア、プロパン、イソブタン、CO₂、水、空気などがあるが、アンモニアを用いたヒートポンプや冷凍機、プロパンやイソブタンを用いた家庭用冷蔵庫、CO₂冷媒を用いた給湯器であるエコキュートなどが、産業用、業務用、家庭用として多くの実績を有するに至っている。ヒートポンプ用の冷媒について要約すると表1のようになる。CO₂冷媒は可燃性、毒性がないため安全であり、フロン冷媒に比べ地球温暖化への影響が極めて少ない。そしてCO₂冷媒を用いたヒートポンプは高压側を超臨界状態とする遷臨界サイクルで運転することにより、高効率で高温の加熱を行えるという大きな特徴を有する。各種冷媒の環境影響を考えると、表1に示すように、代替フロンであるR400番台冷媒(HFC)のGWPはCO₂の1500倍以上となり、例えばR404Aを1kg大気に漏洩させた場合には、CO₂を3922kg排出した場合と同等の地球温暖化影響がある事になる。現在フロン類についてはフロン回収・破壊法により回収が義務付けられており、2007年度における業務用冷凍空調機器廃棄時等の全フロン類の回収率は32%、HFCのみの回収率は49%と推定されており¹⁾、HFCのみを見ても50%以上が未回収という事になる。

冷媒全般に言えることであるが、HFC、HCFC 系のフロン類に関しても、また自然冷媒に関しても、使用から廃棄まで「漏洩防止の徹底」ならびに「回収の徹底」が、今後益々要求される。

表 1 冷媒の特性¹⁾

冷 媒		ODP	GWP [100 年]	安全区分
自然冷媒	CO ₂ (R744)	0	1	低毒性/不燃
	アンモニア (R717)	0	<1	高毒性/弱燃
	プロパン (R290)	0	3	低毒性/強燃
	イソブタン(R600a)	0	3	低毒性/強燃
HCFC	R22	0.055	1700	低毒性/不燃
HFC	R134a	0	1300	低毒性/不燃
	R404A	0	3780	低毒性/不燃
	R407C	0	1650	低毒性/不燃
	R410A	0	1980	低毒性/不燃

ODP:Ozone Depletion Potential オゾン層破壊係数 GWP:Global Warming Potential 地球温暖化係数

1) http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/ozone/files/data/1shu_kaishuuryou/h19-1shu-kaishuuryou.pdf

3. 水熱源エコキュート(冷水・温水同時取り出しヒートポンプ)

エコキュートは凝縮器（ガスクーラ）において、凝縮温度が一定となるフロン、アンモニア冷媒を使用したヒートポンプとは異なり、図 1 に示した通り温度が連続的に変化するため不可逆損失が小さいことから、高効率で高温給湯が可能である。

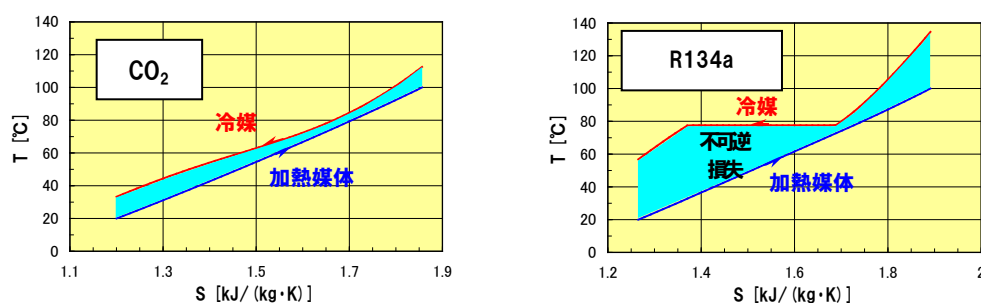


図 1 高温供給熱交換器でのエントロピと温度変化

このような優れた特性を持つ CO₂ 冷媒を用いたヒートポンプ給湯機、エコキュートは 2001 年に家庭用として販売開始され、当社では 2005 年より業務用エコキュートに販売参入した。

それまでに商品化されたエコキュートは、空気から熱を汲み上げて水を加熱し、給湯する空気熱源ヒートポンプであった。空気は入手が容易であり、ヒートポンプへの供給もファンで行うため配管設備が不要であるというメリットがあるが、空気から採熱するための熱交換器が大きくなり、また外気温度低下時には性能が低下し、採熱され温度が下がった空気は一般的に有効利用されていないという欠点を有していた。これらを背景に「空気」ではなく「水」を熱源として高効率・高温給湯が可能な「水熱源 業務用エコキュート」を商品化した。以下に水熱源業務用エコキュートの主な特徴まとめて示す。

3.1 冷温熱同時供給

加熱側では 65℃～90℃の給湯を行い、同時に 17℃～10℃の冷水あるいはブラインによる冷熱供給が可能である。

3.2 高効率

温水と冷水（冷ブライン）を同時利用するので、給湯能力と冷却能力の合算効果が得られ高効率となる。

例えば 17℃の水を 65℃まで加熱しながら、22℃の温排水を地下水温度レベルの 17℃まで冷却し、この 65℃の温水と地下水温度レベルの 17℃の冷温熱を同時利用した場合には COP t 8.0 以上の高効率運転が可能である。

3.3 高出力、コンパクト、シンプルな内部構造

自社製レシプロ圧縮機を採用し、給湯能力はエコキュートとして国内最大級の 100kW 以上が可能である。また、本体設置面積は当社空気熱源業務用エコキュートの 1/2 となる 1.3m² とコンパクトである。

また、デフロストが不要なため空気熱源と比較して内部構造はシンプルである。

3.4 優れた環境性

電気でお湯を沸かすため燃焼部がなく安全、安心であり、自然冷媒 CO₂ を用いて高効率運転を行うため優れた環境性を発揮する。

3.5 通年高温給水・循環加温運転可能

年間を通じて 90℃出湯が可能のため殺菌が必要な市場に対して有効であり、また 70℃貯湯と比較した場合に貯湯槽の設置スペース及び重量を 30%減らす事ができる。

給湯給水入口温度の上限は 65℃であり、給水温度 65℃の際に 90℃出湯の循環加温運転が可能である。本特長により給湯配管や貯湯槽放熱時のお湯の再加熱時に循環加温運転が可能であり、電気ヒーター等の他の熱源機器が不要になる。

3.6 用途に応じた給湯システムの構築

本機は当社空気熱源業務用エコキュートと同様に貯湯槽容量を自由に選択でき、また、密閉型貯湯槽だけでなく開放型貯湯槽も選択できる。

3.7 仕様

水熱源業務用エコキュートは冷熱温度帯別に 3 タイプ用意している。水熱源業務用エコキュートの仕様を表 2 に示す。熱回収型は主に温排水を熱源として利用し、温排水を井水温度レベルまで下げ、再度冷却水として有効利用することも可能である。

冷水取出型は、一般空調用を使用することを想定したタイプである。冷却工程等の循環水を冷却すると同時に、加熱殺菌用の給湯を供給することが可能となる。

またブライン取出型も、冷却・冷蔵と同時に給湯が必要な食品工場や、夜間氷蓄熱＋夜間高温貯湯などの用途を想定している。図 2 に水熱源業務用エコキュート外観、図 3 に CO₂ 圧縮機 mayekawaC 2 HT 外観示す。



図 2 水熱源業務用エコキュート外観



図 3 CO₂ 圧縮機 mayekawaC 2 HT 外観

表 2 水熱源業務用エコキュート仕様

型 式		HWW-2HTC		
タ イ プ		ブライン取出型	冷水取出型	熱回収型
冷却側温度（入口→出口）		-5℃→-9℃	12℃→7℃	22℃→17℃
性 能※1	給湯能力 [kW]	49.9	82.1	101.8
	冷却能力 [kW]	35.0	61.7	82.3
	消費電力 [kW]	18.4	21.8	23.1
電 源		3φ AC200V 50Hz/60Hz		
外形寸法 [mm]		W1,140×L1,293×H1,919		
重 量 [kg]		1,130		
圧縮機	型 式	半密閉型レシプロ式 2 気筒 mayekawa C2HT		
	電動機呼称出力 [kW]	25		
使用温度範囲	給湯側給水温度 [℃]	5～40℃（65℃出湯時） 5～65℃（90℃出湯時）		
	出湯温度 [℃]	65～90		
	冷却側入口温度 [℃]	-5～37	9～25	9～25
	冷却側出口温度 [℃]	-10～32	5～20	5～20

※ 1 給水 17℃→出湯 65℃の場合

3.8 水熱源業務用エコキュートの適用検討例

3.8.1 業務用冷房給湯用途への適用

大型病院等の年間冷房負荷および給湯負荷が存在する業務用途への適用を検討し、他方式と比較する。

水熱源業務用エコキュートは給湯負荷基準で選定し、同時に得られる冷熱は全て冷房に使用すると仮定した。夜間の水熱源業務用エコキュート給湯能力余剰分は高温貯湯（90℃）し、同時に得られる冷熱を氷蓄熱し、冷房に利用する。

水熱源業務用エコキュートの日中出湯温度を 65℃とし、夜間出湯温度は蓄熱槽容量小型化を考慮し 90℃とした。冷熱用途として冷房を想定し、負荷側出入口温度を 12℃→7℃に設定し、水熱源業務用エコキュート冷却側出入口温度は日中 8℃→3℃、夜間は氷蓄熱を実施するため、-5℃→-9℃とした。

図 4 に水熱源業務用エコキュート適用概略図を示す。また、表 3 に設計条件及び水熱源業務用エコキュート能力を示す。

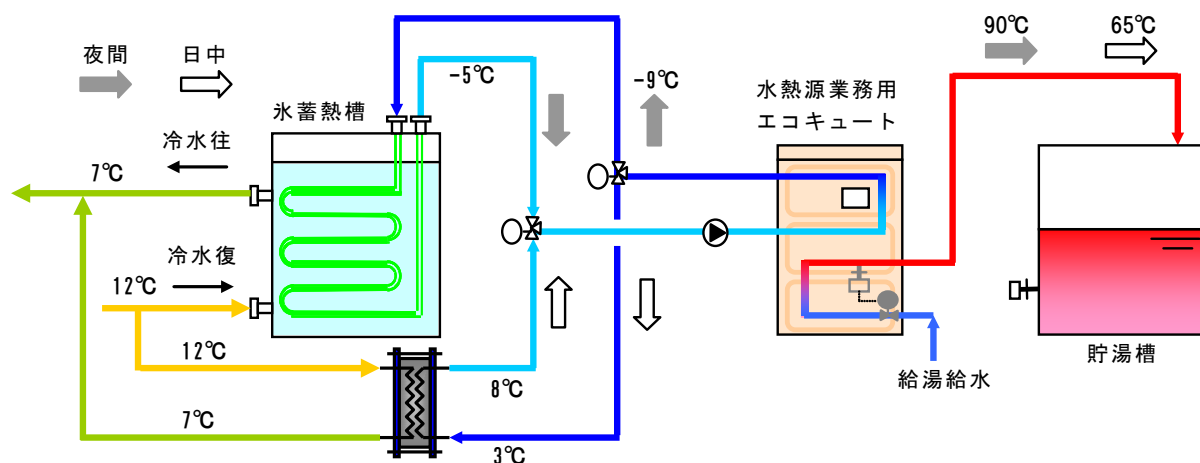


図 4 水熱源業務用エコキュート適用概略図（業務用途／冷房・給湯）

表 3 設計条件及び水熱源業務用エコキュート能力

	設計条件			水熱源業務用エコキュート能力（1 台当り）						
				給湯側温度		冷却側温度		給湯能力	冷却能力	圧縮機消費電力
	温度条件	必要湯量	給湯負荷	給水	出湯	入口	出口			
	℃	m ³ /h	kW	℃	℃	℃	℃	kW	kW	kW
日 中 9:00～18:00	17→65	1.80	100	17	65	8	3	65.0	48.8	19.2
夜 間 18:00～9:00		0.36	20	17	90	-5	-9	41.0	26.8	17.2

表 3 の設計条件及び能力より水熱源業務用エコキュートのランニングコスト及び CO₂ 排出量を算出し、他方式と比較した。他方式として給湯機器を A 重油ボイラ、都市ガスボイラ、冷熱供給機器として空冷チラーを想定した。表 4 に各方式の 1 日あたりの CO₂ 排出量とランニングコスト比較について示す。

表 4 各方式の 1 日あたりの CO₂ 排出量とランニングコスト比較^{※1,2,3}

方 式	電気 使用量	A 重油 使用量	都市ガス 使用量	CO ₂ 排出量	電気 料金	都市 ガス料金	A 重油 料金	ランニング コスト
	kWh	L	Nm ³	kg-CO ₂	円	円	円	円
水熱源業務用 エコキュート ^{※4}	431	—	—	146	4,535	—	—	4,535
空冷チラー＋ A 重油ボイラ ^{※5}	240	130	—	432	2,884	—	8,449	11,333
空冷チラー＋ ガスボイラ ^{※5}	240	—	124	339	2,884	7,419	—	10,303

※1 CO₂ 排出量原単位²⁾ 電気：0.339kg-CO₂/kWh A 重油：2.70kg-CO₂/L 都市ガス：2.08kg-CO₂/Nm³

※2 エネルギー料金 電気：12 円/kWh（蓄熱時 4.8 円/kWh） A 重油：65 円/L 都市ガス：60 円/Nm³

※3 発熱量 A 重油：39.1MJ/L 都市ガス：41.1MJ/Nm³

※4 水熱源業務用エコキュートについては夜間貯湯日中移行分のみ蓄熱時電気単価適用（22:00～8:00）

※5 ボイラ効率 85%、空冷チラー COP 3.5 に設定

表 4 より水熱源業務用エコキュートを 1 台導入した場合、空冷チラー＋A 重油ボイラを使用した場合と比較して、1 日当りの CO₂ 排出量は 286kg、ランニングコストは約 6,800 円削減し、削減率は CO₂ 排出量で 66.2%、ランニングコストで 60.0%である。

なお、熱源機器の年間稼働率を 80%と想定すると、業務用エコキュートの導入によってランニングコストで年間約 200 万円、CO₂ 排出量は年間 83.5ton 低減可能となる。

3.8.2 食品殺菌（加熱）冷却工程への適用

従来方式では、加熱・殺菌工程にスチームを供給し、冷却工程ではチラーで冷却した冷水を循環しているパストクーラーに対して水熱源業務用エコキュートの適用を検討する。

パストクーラーへ投入される製品として表 5 に示すカップゼリーを想定した。

表 5 製品温度および処理量

製 品 名	カップゼリー（240g）
製品温度	投入時 10℃→（殺菌・加熱）→85℃→（冷却）→23℃
処 理 量	5,000 個/hr
操業時間	16hr/日

表 6 加熱・冷却負荷

工 程	供給温度	負 荷
	℃	kW
殺菌・加熱	90	142.0
冷 却	10	98.6

表 7 水熱源業務用エコキュートの能力

給湯側温度		冷却側温度		給湯 能力	冷却 能力	圧縮機 消費電力
給水温度	出湯温度	入口温度	出口温度			
℃	℃	℃	℃	kW	kW	kW
30	90	15	10	71.0	49.5	24.5

表 6 の負荷条件及び表 7 の能力から水熱源業務用エコキュートの必要台数は 2 台となる。

表 7 に示した水熱源業務用エコキュートのランニングコスト及び CO₂ 排出量を他方式と比較する。他方式については給湯機器を重油ボイラ、ガスボイラ、冷熱供給機器として空冷チラーを想定した。各エネルギーの単価及び CO₂ 排出量原単位は表 4 の値を採用した。

表 8 に各方式の 1 日当りのランニングコストと CO₂ 排出量、図 5 に水熱源業務用エコキュート適用概略図を示す。

表 8 各方式のランニングコストと CO₂ 排出量（2 台設置、稼働時間 16hr/day）

方 式	電気 使用量	A 重油 使用量	都市ガス 使用量	CO ₂ 排出量	電気 料金	都市 ガス料金	A 重油 料金	ランニング コスト
	kWh	L	Nm ³	kg-CO ₂	円	円	円	円
水熱源業務用 エコキュート	783.3	0	0	265.6	9,400	0	0	9,400
空冷チラー＋ A 重油ボイラ※1	426.2	245.9	0	808.4	5,114	0	15,983	21,907
空冷チラー＋ ガスボイラ※1	426.2	0	233.9	631.0	5,114	14,036	0	19,150

※1 ボイラ効率 85%、空冷チラー COP 3.7 に設定

表 8 より水熱源業務用エコキュートを 2 台導入した場合には空冷チラー＋A 重油ボイラを使用した場合と比較して、1 日（16hr）当りの CO₂ 排出量は 542.8kg、ランニングコストは約 12,500 円削減し、削減率は CO₂ 排出量で 67.1%、ランニングコストで 57.1%である。熱源機器の年間稼働日数を 250 日と仮定すると、業務用エコキュートの導入によってランニングコストで年間約 312 万円、CO₂ 排出量は年間 135.7ton 低減可能となる。

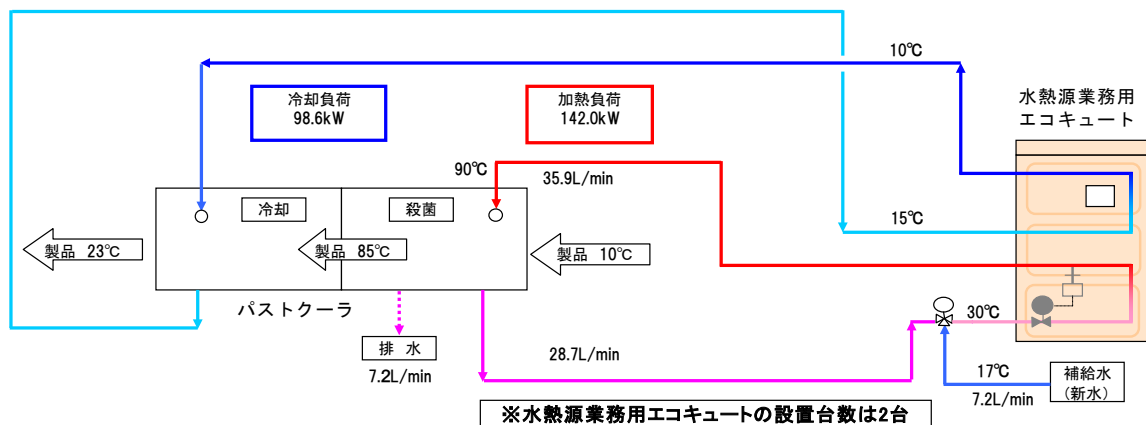


図 5 水熱源業務用エコキュート適用概略図（産業用途 食品工場／加熱・冷却用途）

4. CO₂ ヒートポンプ式熱風発生装置

4.1 CO₂ ヒートポンプ式熱風発生装置の概要

熱風を用いた産業用乾燥装置には、少量多品種に対応した通気式箱型乾燥器、ベルト上に被乾燥材料を載せて移送しながら乾燥するバンド通気乾燥器、下方より熱風を吹き込んで粉粒体を浮遊流動させながら乾燥させる流動層乾燥装置、被乾燥材料をドラム内で回転させながら熱風を吹き込む回転乾燥装置など多様な方式がある。また、要求される熱風温度は表 9 のように被乾燥材料に応じて様々であり、食品や木材などの乾燥においては品質への影響を考慮して温度と共に湿度を調節する場合もある。一方、熱風を発生させるための熱源は、重油、ガスなどの燃焼ガスをそのまま乾燥に用いる直火方式、熱交換器を備えた間接加熱炉により熱風を発生させる方式、ボイラによる蒸気を熱源として熱風を発生させる方式、電気ヒータで熱風を得る方式などがある。一方、ヒートポンプを熱源とする産業用乾燥装置は農水産物、食品、木材などにおいて既に実用化されてはいるが、一般に 70℃以下の比較的低温の乾燥用途に限定されている。

今回製品化を行ったヒートポンプシステムは、乾燥装置におけるヒートポンプの適用範囲を拡大するため、高温加熱に向いている CO₂ 冷媒を用いて 120℃までの熱風を発生させることができるものとした。また、乾燥室からの排気や、工場内に存在する低温排熱を利用して高効率で熱風を発生させるものとし、乾燥室に供給する熱風温度を精度良く調整できるシステムとした。



図 6 CO₂ ヒートポンプ式熱風発生装置の概要

表 9 被乾燥材料と熱風温度

材料	熱風温度 ℃	材料	熱風温度 ℃
穀類	60	ふりかけ	100
顔料	60	有機薬品	120
医薬品	80	酸化チタン	130
アミノ酸	80	酸化鉄	130
木材（柱用）	80	樹脂	150
Tレジン	80	鉱石ペレット	150
短繊維	90		

表 10 適用市場

■乾燥・除湿 ・各種塗装工程での塗料乾燥 ・接着工程での接着剤乾燥 ・食品・薬品製造プロセス （乾物・干物・乾燥食品全般）での乾燥 ・繊維加工プロセスでの洗浄後乾燥 ・金属加工プロセスでの脱脂・洗浄後の乾燥 ・樹脂原料等の除湿乾燥 ・食品工場の洗浄プロセス後の乾燥 （バット洗浄、洗堰、等） ■加熱 ・固形原料の加熱（融解） ・高粘度原料の加熱（粘度低下） ・デシカント除湿装置の再生熱源として

表 11 CO₂ ヒートポンプ式熱風発生装置の特徴

1. 環境性・安全性 ● CO₂排出量を約70%削減！ ● 燃焼工程が全くない為、安全かつNOx排出量もゼロ！ 2. 経済性 ● エネルギー消費量を約80%削減！ ● 蒸気加熱時に必要であった水道代（上下水）、水処理費用も不要！ ● 温風と冷熱（ブライン、冷水等）を同時に使う場合は更にお得！ 3. 信頼性 ● 業務用・産業用給湯機（エコキュート）として「高い信頼性」と「実績」のある CO₂圧縮機を採用！ ● 燃焼やボイラ水質劣化による機器損傷の恐れがなく、装置が長寿命 ● 空気加熱温度、加熱風量を設定することにより、自動運転が容易！

表 12 CO₂ ヒートポンプ式熱風発生装置の仕様

装置仕様	
名称	水熱源式CO ₂ ヒートポンプ熱風発生装置
加熱能力	110kW
圧縮機定格動力	25kW
冷媒	R744 (CO ₂)
圧縮機型式	半密閉型レシプロ式2気筒 型式：2HT
電源	3φ×AC200V
法定冷凍トン	9.0トン
運転範囲	温風出口温度120℃以下 熱源水出口温度-9℃～32℃
容量制御	インバータ回転数制御（30～65Hz）
概略寸法	W1,100×L1,600×H2,200
概略重量	製品重量1,700kg （運転重量1,750kg）
※本表に記載の能力は、空気入口温度20℃、温風供給温度100℃、 蒸発温度20℃の場合です。	

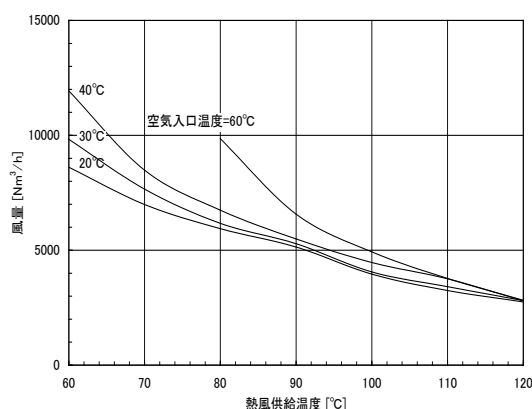
CO₂ ヒートポンプシステムの適用市場を表 10 に示す。産業用の各種加熱分野が主体であるが、業務用分野等ではデシカント空調システムの再生熱源としても利用が可能である。特に近年は空調分野において、潜熱・顕熱分離システムの採用事例が増加しているが、潜熱処理としてのデシカント空調システムに応用することは、建築物におけるエネルギー消費を抑制する上で効果が期待できる。

表 11 には CO₂ ヒートポンプ式熱風発生装置の特徴を示す。エネルギー消費量を約 80%、CO₂ 排出量を約 70%削減することが可能である。

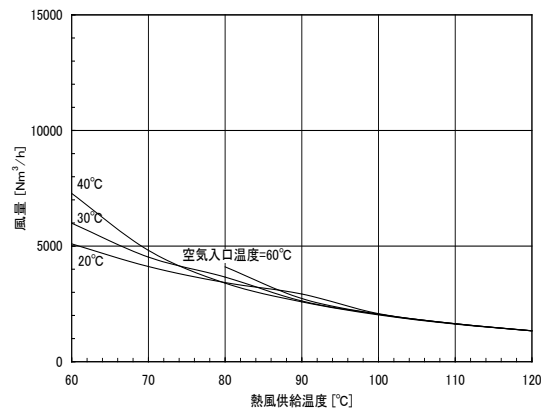
4.2 CO₂ヒートポンプ式熱風発生装置の性能

定格出力 25kW の圧縮機モータを搭載した CO₂ ヒートポンプシステム 1 台における加熱器の空気温度と風量の関係を図 7 に、加熱 COP (COP_h) との関係を図 8 に示す。なお、蒸発温度はヒートポンプの熱源の種類やシステムの運転状況によって様々であるため、本図では蒸発温度が 20℃ と 0℃ の 2 種類について示した。

ガスクーラの空気出口温度は圧縮機における吐出温度の設計仕様から 120℃ が上限である。加熱 COP はエコキュートの場合と同様に、ガスクーラへの空気入口温度が高くなると、冷媒出口温度が上昇してガスクーラにおけるエンタルピー差が小さくなるため加熱量が低下して COP は減少する。また、空気出口温度を高くすると圧縮機吐出圧力を上げる必要があるため、圧縮機の消費電力が増加して COP は低下することになる。また、蒸発温度が 20℃ から 0℃ になると COP が約 1.0 低下する。よって、ヒートポンプの熱源として乾燥室や工場内での排熱を利用するシステムや、外気導入量が比較的多い乾燥システムが本システムに適していると言える。

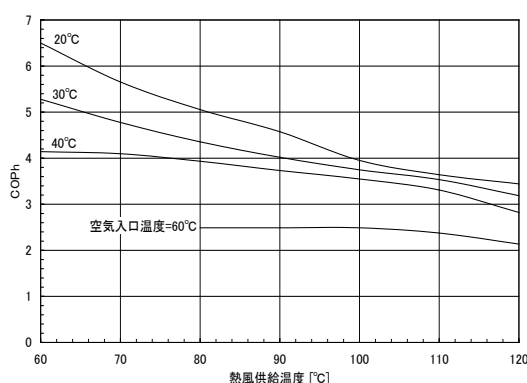


(a) 蒸発温度 20℃ の場合

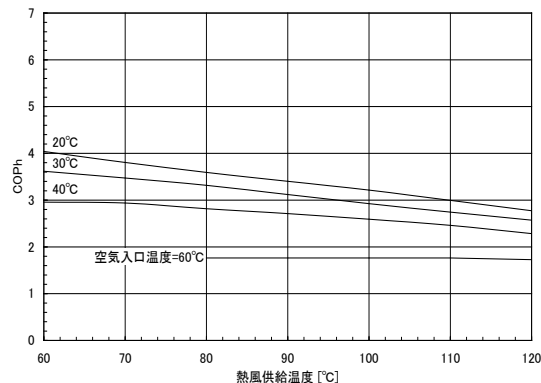


(b) 蒸発温度 0℃ の場合

図 7 加熱空気温度と風量の関係



(a) 蒸発温度 20℃ の場合



(b) 蒸発温度 0℃ の場合

図 8 加熱空気温度と加熱 COP の関係

4.3 CO₂ヒートポンプ式熱風発生装置の適用検討例

クリーンルームなどの工場空調用のデシカント空調機に対する適用を検討し、他方式と比較する。デシカント空調機は、プレクーラー、アフタークーラー等に冷熱を必要とし、又、空気を加熱して再生用に使用している。CO₂ ヒートポンプ式熱風発生装置は、ヒートポンプシステムの特徴である加熱と冷却を同時に行うことができるため、デシカント空調機に対する適用が可能であり、熱源転換の可能性を有する。

本項ではデシカント空調機により、外気を除湿し 20℃ の空気を空調用に供給するものとして、CO₂ ヒートポンプ式熱風発生装置を用いて、6000m³/h の空気を 20℃ から 80℃ まで再生用として加熱し、同時に発生する冷熱は全てクーラー用の 7℃ の冷水に使用すると想定した。

図 9 にシステムフローの概略、表 13 に設計条件と CO₂ ヒートポンプ式熱風発生装置能力を示す。

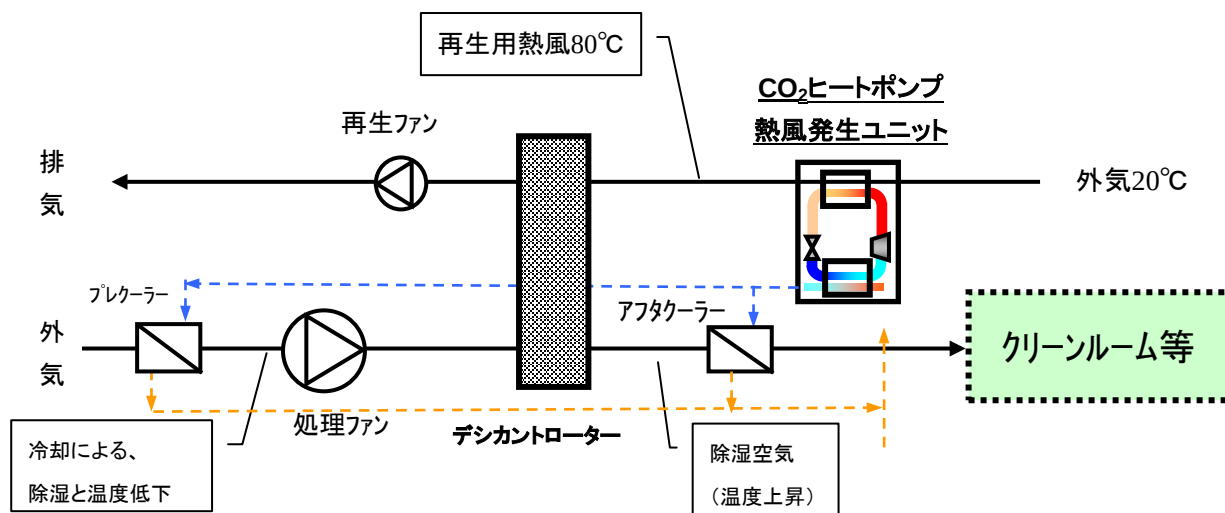


図9 CO₂ヒートポンプ式熱風発生装置適用概略図（デシカント空調用途／加熱・冷却）

表13 設計条件及CO₂ヒートポンプ式熱風発生装置（ヒートポンプ1台）

設計条件							CO ₂ ヒートポンプ熱風発生装置能力				
再生用風量	空気入口温度	相対湿度	絶対湿度	空気出口温度	冷水入口温度	冷水出口温度	加熱能力	冷却能力	消費電力	冷水供給量	加熱COP
M3/h	°C	%	g/kg'	°C	°C	°C	kw	kw	kw	L/min	
6000	20	70	10.3	80	12	7	124.00	95.00	29.50	272.33	4.20

表13の設計条件及び能力よりCO₂ヒートポンプ式熱風発生装置のランニングコスト及びCO₂排出量を算出し、他方式と比較した。他方式として再生用熱源に蒸気を用いるとして、その蒸気をA重油ボイラ、都市ガスボイラで製造するとし、冷熱供給機器として空冷チラーを想定した。

表14に各方式の1日あたりのCO₂排出量とランニングコスト比較について示す。

尚、クリーンルームなどの工場空調では一般的に稼働時間が長く、本項では24時間連続運転をする場合として検討した。

表14 各方式の1日あたりのCO₂排出量とランニングコスト比較※1,2,3

方式	電気使用量	A重油使用量	都市ガス使用量	CO ₂ 排出量	電気料金	都市ガス料金	A重油料金	ランニングコスト
	kWh	L	Nm ³	kg-CO ₂	円	円	円	円
CO ₂ ヒートポンプ式熱風発生装置※4	708	—	—	240	8,496	—	—	8,496
空冷チラー+A重油ボイラ※5	651	322	—	1091	7,817	—	20,953	28,770
空冷チラー+ガスボイラ※5	651	—	307	859	7,817	18,400	—	26,217

※1 CO₂排出量原単位²⁾ 電気：0.339kg-CO₂/kWh A重油：2.70kg-CO₂/L 都市ガス：2.08kg-CO₂/Nm³

※2 エネルギー料金 電気：12円/kWh（蓄熱時4.8円/kWh） A重油：65円/L 都市ガス：60円/Nm³

※3 発熱量 A重油：39.1MJ/L 都市ガス：41.1MJ/Nm³

※4 一日の稼働時間を常時空調の24時間に設定

※5 ボイラ効率85%、空冷チラーCOP3.5に設定

表14よりCO₂ヒートポンプ式熱風発生装置を1台導入した場合、空冷チラー+A重油ボイラを使用した場合と比較して、1日当りのCO₂排出量は851kg、ランニングコストは約20,200円削減し、削減率はCO₂排出量で78%、ランニングコストで70.0%である。

なお、熱源機器の年間稼働率を 40%と想定すると、CO₂ヒートポンプ式熱風発生装置の導入によってランニングコストで年間約 295 万円、CO₂排出量は年間 124.2ton 低減可能となる。

4. 結言

昨年から今年にかけて製品化して販売を開始した 2 種類の CO₂ヒートポンプについて、その特徴、性能、そして導入効果について紹介した。いずれの CO₂ヒートポンプも従来の燃焼装置を代替・補完することが可能な高効率を有しており、今後産業用・業務用分野にて導入が進み、温室効果ガス排出削減に貢献することが期待される。本稿で紹介したヒートポンプが、顧客プロセスにおいてイノベーションの一端を担うことを願う次第である。

【謝辞】

「CO₂ヒートポンプ式熱風発生装置」は関西電力株式会社殿との共同開発である。本開発に多大なご尽力を賜った関西電力株式会社殿各位に心からの謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 町田明登：「産業用自然冷媒冷凍システム」，建築設備と配管技術，Vol. 44，No. 10p，p17-21
- 2) 神戸雅範：「地球温暖化対策の主役「ヒートポンプ」」，エレクトロヒート 第 27 巻 第 4 号(通巻 150 号)
- 3) 西田耕作, 門脇仁隆：「産業用 CO₂ヒートポンプ 乾燥システムの開発」2008 日本冷凍空調学会年次大会講演論文集
- 2) 米田弘和：「冷温同時取り出しエコキュートの紹介」，環境と新冷媒 国際シンポジウム 2008 講演論文集