

6. プロパン冷媒氷蓄熱ヒートポンプチラー

A Heat Pump Chiller using Propane as Refrigerant Applicable to the Ice Storage System

キーワード：プロパン，自然冷媒，炭化水素，氷蓄熱ヒートポンプ，チラー，防爆

Propane, Natural refrigerant, Hydrogenated carbon, Ice storage heat pump, Chiller, Flame-proof

柴 芳郎* Yoshiro SHIBA 渥美 朋也** Tomonari ATSUMI

1. はじめに

フロンガスであるR12などのCFC (Chloro Fluoro Carbon) やR22などのHCFC (Hydrogenated Chloro Fluoro Carbon) は、大気圏中で太陽からの強い紫外線によってその成分である塩素 (Cl) が放出されて、それがオゾン (O₃) と反応し、分解 (破壊) させる。このようにしてオゾンが破壊されると、大気圏中のオゾン層で吸収していた有害な紫外線が、地表により多く到達し、その結果、皮膚ガンの増加、生態系の変化などの悪影響を生じると言われている。

また、フロンはCO₂などとともに温室効果ガスでもある。温室効果ガスは、地表からの赤外線 (熱) を大気圏外に放散せずに吸収してしまうため、地表の気温を上昇させてしまう。これにより海面の水位が上昇し、地面の水没、これに伴う生態系の変化などの影響があると言われている。

理論的には冷媒は冷凍機中の配管の中に密封され、修理や廃棄する場合も冷媒回収を行うので、外気に放出されることはないのだが、現実的には封入時や回収時におけるエアページなどによる漏洩、配管漏れによる漏洩など、フロンの大気放出を完全に抑制することは難しい。

既に、CFC系フロン冷媒の全廃やHCFC系フロン冷媒の段階的規制が決定している。しかし、オゾン層を破壊することのない新冷媒HFC (Hydrogenated Fluoro Carbon) 系フロン冷媒も、地球温暖化には影響を与えてしまう。

ゼネラルヒートポンプ工業(株)では、空調・給湯用ヒートポンプチラーの冷媒として1997年からオゾン層

破壊のないHFC冷媒R407Cを導入している。さらに地球温暖化の問題を解消するため、1999年からゼネラルヒートポンプ工業(株)と中部電力(株)と共同で、自然冷媒プロパンを用いたヒートポンプチラーの開発を行った。

最近注目を浴びている自然冷媒としては、プロパン、アンモニア、二酸化炭素などが挙げられる。アンモニアは弱燃性で有毒であり、除外装置が必要になるため、コストアップとなってしまふ。二酸化炭素は圧力が高く、給湯専用には使用できるが、氷蓄熱・冷暖房や給湯に切り替える場合、制御弁の耐圧制限を超えてしまふ、使用することができない。プロパンは従来、空調用冷媒よりも圧力が若干低い程度であるので従来配管や機器が使用できるので、空調・給湯用冷媒としてプロパンを採用し、新たに可燃性に対する対策を行った。

ここでは、地球環境に優しいプロパン冷媒氷蓄熱ヒートポンプチラーの紹介を行う。

2. プロパン冷媒の特徴

プロパンは、自然冷媒のひとつである。自然冷媒とは、人工的に合成するフロンなどとは異なり、自然に存在する物質 (空気、水、天然ガス、アンモニアなど) を用いた冷媒である。プロパン (C₃H₈) やブタン (C₄H₁₀) などは、構成原子が水素 (H) および炭素 (C) のみであるため、フロン (HCFC系やHFC

*ゼネラルヒートポンプ工業(株)
Zeneral Heatpump Industry Co., Ltd.

**中部電力(株)
Chubu Electric Power Co., Inc.

原稿受理 平成13年12月3日

表1 空調用冷媒物性値

項目	単位	R 22	R 407 C	アンモニア	二酸化炭素	プロパン (高純度)
冷媒記号	—	R 22	R 407 C	R 717	R 744	R 290
分子式	—	CHClF ₂	CH ₂ F ₂ + CHF ₂ CF ₃ + CH ₂ FCF ₃	NH ₃	CO ₂	C ₃ H ₈
分子量	—	86.469	86.204	17.031	44.010	44.094
沸点	°C, at 1 atm	-40.82	-43.57	-33.48	-78.5 (昇華点)	-42.1
飽和ガス蒸気圧	MPa, at 25°C	1.044	1.019	1.003	6.425	0.951 8
臨界温度	°C	96.15	86.54	132.4	31.1	96.8
発火温度	°C/ASTM 法	—	—	651	—	432
燃焼範囲	vol %	—	—	16~25	—	2.1~9.5
毒性(作業環境 許容濃度)	ppm	1 000	1 000	25	5 000	1 000
ガス密度	kg/m ³ , at 25 °C, 1 atm	3.587	3.582	0.703 5	1.808	1.832
飽和液密度	kg/m ³ , at 25 °C	1 191	1 138	602.8	712.0	492.5
オゾン層破壊係数	(ODP)	0.055	0	0	0	0
地球温暖化係数	(GWP)	1 700	1 500	0	1	3

系) に対して HC 冷媒や炭化水素冷媒と呼ばれる。R 22, R 407 C および自然冷媒であるアンモニア, 二酸化炭素, プロパンの物性値を表 1 に示す。

プロパンは自然冷媒であるため, 大気中に放出してもオゾン層破壊や地球温暖化にほとんど影響しないという特長がある。すなわち, プロパンのオゾン層破壊係数 (ODP) は 0 であり, 地球温暖化係数 (GWP) はほとんど 0 に近く, R 22 や R 407 C の 1/500 以下である。しかし, プロパンは毒性はないものの強燃性であるという特徴があり, 空調用冷媒として使用する場合には漏洩時の対策が必要である。

プロパンは, 沸点が R 22 や R 407 C とほぼ同じであり, R 22 や R 407 C の代替冷媒として使用できる。また, 成績係数 (COP) が, 従来用いられてきた R 22 と比較して同等の値が得られるといった熱サイクル特性上の特長もある。本製品の基礎試験でも, 空冷チラー定格条件での冷房運転時の効率 2.4 が R 407 C 機に比べてプロパン機は 2.7, 氷蓄熱運転における効率は R 407 C 機の 2.1 に対してプロパン機は 2.5 という結果がでている。

なお, 空調・給湯用ヒートポンプチラーの冷媒として用いるプロパンは, 純度 99 % 以上に精製したものである。

3. 空調方式

製品化したプロパン冷媒氷蓄熱ヒートポンプチラーの仕様を表 2 に示す。本製品は空冷のヒートポンプチラーであり, 空調用の温水・冷水の生成, 夜間電力を利用した氷蓄熱ブライン冷却, 瞬間給湯, 給湯加温の機能を有している。

また, 排熱回収機能も有しており, 冷温熱の同時取り出し (冷水運転と給湯運転を同時に行うなど) も可能となっているのが特長である。プロパン冷媒氷蓄熱ヒートポンプチラーの外観を図 1 に示す。

プロパン冷媒氷蓄熱ヒートポンプチラーを利用する冷暖房・給湯システムは, 当社における従来の R 22 や現行の R 407 C を利用したシステムと同様に, 柔軟なシステムの構築が可能である。ここでは一般的なシステム構成を紹介する。

図 2 は, ブライン回路のみのシステムである。夏季は氷蓄熱, 冬季は温水蓄熱を行い, 放熱ポンプによりクッションタンク中の冷水・温水を適切な温度に調節して二次側の空調機に送ることにより, 冷暖房を実現する。十分な蓄熱が可能な場合有効な方式である。

図 3 は, ブライン回路と冷温水回路を切り替える 2 回路のシステムであり, 夜間の蓄熱運転に加えて, 昼

表2 プロパン冷媒対応氷蓄熱式ヒートポンプチラー仕様

項目	型式	ZQ-7A7-□-P	ZQ-14A7-□-P	ZQ-21A7-□-P	ZQ-28A7-□-P	ZQ-35A7-□-P
名称		排熱回収型氷蓄熱式ヒートポンプ冷暖房給湯機				
適用空調方式		セントラル蓄熱式空調				
運転モード	空冷モード	水冷却運転(冷房)				
		水加熱運動(暖房・給湯・給湯加温)				
		ブライン冷却運転(冷房・氷蓄熱)				
		ブライン加熱運転(暖房・温水蓄熱)				
	水冷モード	冷水却・水加熱(冷房+暖房・給湯・給湯加温)排熱回収同時運転				
		ブライン冷却・水加熱(氷蓄熱+暖房・給湯・給湯加温)排熱回収同時運転				
		水冷運転(空水冷切替機種の場合)				
能力	冷却能力 kW	17.3/18.8	34.5/37.7	51.9/56.5	69.1/75.4	86.4/94.2
	氷蓄熱能力 kW	13.4/14.2	26.7/28.3	40.0/42.4	53.4/56.5	66.8/70.7
	加熱能力 kW	19.7/21.2	39.3/42.4	58.8/63.6	78.5/84.8	98.2/105.9
	給湯能力 kW	17.3/18.8	34.5/37.7	51.9/56.5	69.1/75.4	86.4/94.2
電源		三相 200 V 50/60 Hz				
騒音値	dB(A)	49/51	51/53	53/55	55/57	57/59
キャビネット	高さ mm	1700				
	幅 mm	800	1600	2400	3200	4000
	奥行 mm	1800				
圧縮機		半密閉往復動式				
	定格出力 kW	5.5×1	5.5×2	5.5×3	5.5×4	5.5×5
送風機	モータ出力 kW	0.2×2	0.2×4	0.2×6	0.2×8	0.2×10
配管寸法	各水出口	32 A×2	40 A×2	50 A×2	65 A×2	65 A×2
	各水入口	32 A×2	40 A×2	50 A×2	65 A×2	65 A×2
冷媒		R 290(プロパン)				
冷媒純度		99%以上				
冷媒封入量	kg	5×1	5×2	5×3	5×4	5×5
防爆構造		希釈式内圧防爆構造				
警報装置		ガス漏洩警報装置				
法定冷凍能力	冷凍トン	2.19 / 2.63				
届出・許可		不要 (3冷凍トン未満は届出・許可不要)				
対応氷蓄熱槽寸法	m	2.0×2.5×1.5	2.0×2.0×2.0	2.0×2.0×3.0	2.5×3.0×2.0	2.5×3.5×2.0
氷放熱方式		外融式または内融式				

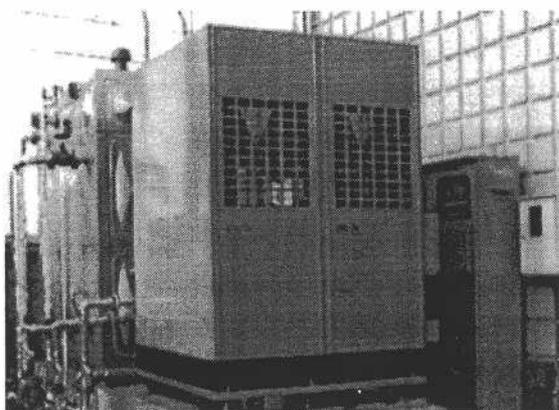


図1 プロパン冷媒氷蓄熱式ヒートポンプチラー (大洋液化ガス㈱工場)

間の追い掛け運転も行うことができるので、放熱運転と追い掛け運転を適切に配分することにより(同時も可能)、熱源機容量を小さくすることができる。当社

が納入している物件において、空調のみに使用する場合は一般的にこの方式を用いている。この方式を用いたプロパン冷媒氷蓄熱ヒートポンプチラーの納入事例としては、大洋液化ガス㈱工場がある。

図4は、ブライン回路と給湯の水回路の2回路をもつシステムである。空冷の氷蓄熱運転、暖房蓄熱運転、瞬間給湯運転、給湯加温運転に加えて、夏季には氷蓄熱運転と給湯運転を同時に行う高効率の排熱回収同時運転を行うこともできる。病院、老人ホーム、ゴルフ場、温水プールなどでは、空調負荷と給湯負荷の両方があるが、給湯負荷は空調負荷に比べて通常小さいので、実際には図3のシステムと図4のシステムを組み合わせることになるであろう。

2回路のシステムにおいて、冷却(氷蓄熱、冷房)

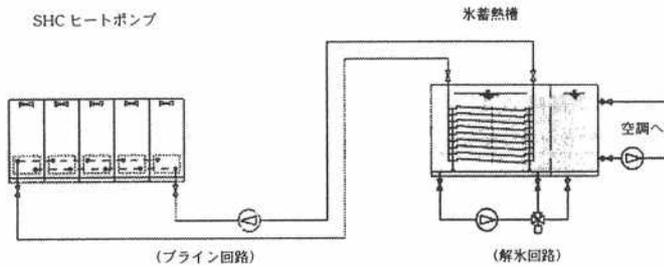


図2 冷暖房システム
(1回路型：ブライン回路のみ)

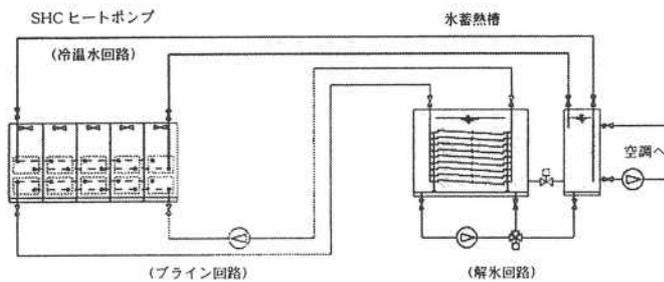


図3 冷暖房システム
(2回路型：ブライン回路+冷温水回路)

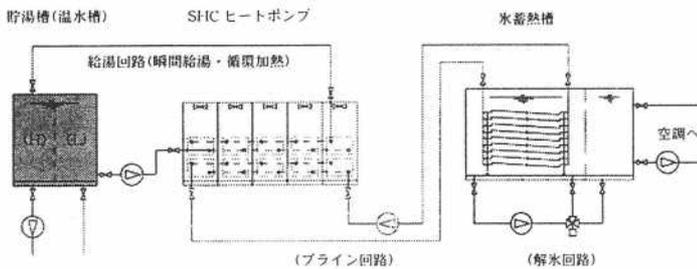


図4 冷暖房給湯システム
(2回路型：ブライン回路+給湯回路、排熱回収運転可能)

と加熱(暖房、給湯、給湯加温)の両方がある場合は、排熱回収が可能であり、主な組み合わせとしては、氷蓄熱・給湯(加温)、冷房・給湯(加温)、冷房・暖房(除湿をとともう空調)である。

4. 安全対策

ヒートポンプチラー内の冷媒回路は密閉回路であるので、プロパン冷媒が漏洩する可能性は小さいが、プロパンは強燃性であるので、万が一プロパン冷媒が漏洩した場合の対策が必要である。

本製品はヒートポンプチラーであるので、冷媒を直接負荷側へ搬送する直膨方式ではなく、一度ブラインや冷温水と熱交換したものを負荷側へ搬送する間接方式として用いる。そのため、部屋の空調機内の冷媒配管からプロパン冷媒が漏洩して室内に流入することは

ない。本製品は屋外設置を基本としているので、万が一冷媒が漏洩しても外気に放出されるので、爆発雰囲気形成することがない。

また、本製品では、冷媒系統を複数に分割して水やブライン配管を共通化することにより大容量に対応しているが、一冷媒回路中のプロパンの封入量は容量に対して一定となっており、安全性を高めている。

さらに、こうした対策の他に、図5に示されるような希釈式内圧防爆構造を考案し実用化した。

希釈式内圧防爆構造とは、ガスまたは蒸気の内部放出源のある容器において、内部に存在するおそれのあるガスまたは蒸気を希釈する目的で、その容器に保護ガスを連続して供給する方式の防爆構造である。

図5において、下部ドレンパンから流入した保護ガスである空気は、筐体内下部を通り、中央部ドレンパンの通風口を通り、左右に回り込んでから筐体内上部に到達し、筐体内上部の開口部からの外気とともに空気熱交換器に入り、防爆型ファン通って筐体の外へ排気される。

万が一プロパン冷媒が漏洩した場合、筐体内に設置されたガス漏洩感知機によってガスの漏洩を感知すると、圧縮機や弁の運転を停止するが、空気熱交換器用ファンは希釈用ファンも兼ね、ヒートポンプチラー運転中の場合ファンは運転を続け、ヒートポンプチラーが待機中の場合は運転を始め、プロパンの混じった空気は、ファンを通り外気へ排出される。ただし、ファンの電気部分は発火源になるおそれがあるので、ファ

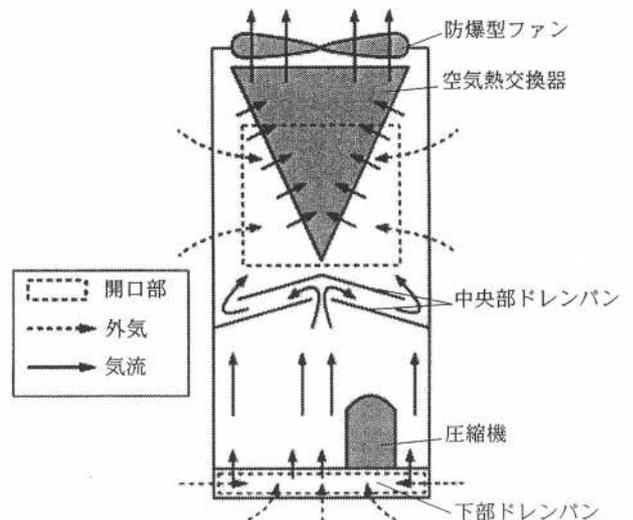


図5 希釈式内圧防爆構造

ンは防爆仕様のものを用いている。

また、最も危険が伴うと言われているメンテナンス時、特に下部筐体内の冷媒配管や制御機器などの調整、修理時において、空気熱交換器用ファンを運転することにより希釈式防爆状態で作業を行うことができ、安全を確保することができる。

空気熱交換器用ファンが稼働している間は、外気から供給される保護ガスである空気によって、筐体内部の空気が常時入れ替わることになり、万が一プロパン冷媒が漏れた場合でも、筐体内部の空気は爆発限界下限濃度未満まで希釈されることにより、防爆の状態となる。

このように、空気熱交換器用のファンを漏洩ガス希釈用のファンとしても兼用することにより、特別な外部送風装置を用いることなく防爆構造とすることができる。また、外部送風装置を別個に取り付けたシステムと比較しても、消費電力を小さく押さえることができる。

5. おわりに

環境意識が高まる中、フロン問題の決定的な解決策は未だ見出されていない。プロパン冷媒氷蓄熱ヒートポンプチラーは間接方式であるために直膨方式に対して搬送動力が大きくなってしまっているが、

セントラル方式のメリットである、アンロード運転をすることなく圧縮機効率を最大限利用できることや、熱回収運転が容易であることから、システムの構築方法によっては十分にメリットがあり、プロパン冷媒氷蓄熱ヒートポンプチラーは地球温暖化問題に対する有効な解決策のひとつと考えられる。

今後は、様々なニーズに対応できるように製品の大容量化・省スペース化・高効率化を図るとともに、安全性の一層の向上を図っていく。

Summary

A heat pump chiller using propane as refrigerant applicable to the ice storage system is introduced. CFCs and HCFCs used as refrigerant destroy the ozone layer, and CFCs, HCFCs and HFCs make the earth warm, but propane hardly do so.

The propane refrigerant has exceed thermodynamic performance as same as HCFCs and HFCs.

But, the problem of propane is flammable. To solve the problem, we have adopted continuous dilution with an air heat exchanger fan for common use, and devide the refrigerant system into safe suitable minimum units and connect the units for big capacity. Our propane chiller can have not only the ice storage function but also the efficient heat recovery function.