

60℃温水供給の実現により産業用途に適用可能な 空冷ヒートポンプチラーMSV

“Mitsubishi Smart Voxcel (MSV)” Heat Pump Module Chiller
Supplies 60℃ Hot Water for Industrial Use



岡田 拓也*¹
Takuya Okada

赤塚 啓*²
Kei Akatsuka

後藤 孝英*³
Takahide Goto

寺岡 正広*³
Masahiro Teraoka

斉藤 大二郎*⁴
Daijiro Saito

早坂 修一*⁵
Syuichi Hayasaka

工場の洗浄工程等で使用されているボイラーをヒートポンプへ置き換えるためには、加熱温度範囲をボイラー使用時と同等の 60℃まで拡大することと、年間を通じて加熱運転を可能とする必要があった。空冷ヒートポンプチラーMSV は直列に配置した2つの水熱交換器の能力比率を最適に制御することで従来機の最高使用設計圧力を変えことなく課題を克服した。実機検証では従来、ボイラーを使用していた洗浄工程に開発機 MSV を適用し、ボイラーからの置き換え用途として使用可能であることと、約 40%のエネルギー使用量低減効果を確認した。

1. はじめに

工場の製造工程では蒸気ボイラー熱源を使用するのが一般的である。使用温度帯は乾燥・焼付け用途の場合は 90℃前後も使われるが、部品の洗浄槽の加熱用途では 55℃～60℃の温水が多く使われ、年間を通じて温度を保つ必要がある。省エネを目的として、ボイラーからの置き換え需要はあるが、従来の空冷ヒートポンプチラーは加熱可能温度が 55℃までであること、また吸熱量が増え冷媒の圧力が上昇しやすい高外気温時は運転できないという課題があった。開発機“Mitsubishi Smart Voxcel: MSV(登録商標)”は、60℃までの加熱運転を可能とし、また、運転可能な外気温温度範囲を大幅に拡大することにより、空調用途だけでなく、工場用ボイラーからの置き換え需要にも対応することを狙い中部電力(株)と共同で開発した。

2. 技術課題

図1に開発機の外観を示す。また表1に仕様概要を示す。本機は一般的にモジュールチラーと呼ばれ、図1のユニットを1モジュールとして複数台連続設置して使用される。1台のコントローラで最大 16 台まで一括制御することができ、さらにその上位のコントローラによって更なる接続台数の拡張やターボ冷凍機との連動が可能である。

空冷ヒートポンプチラーは本来、空調用途を主目的としているため、工場でボイラーの代替として使用するためには従来機対比で下記2点の使用範囲の拡大が必要である。

- (1) 温水循環加熱温度を 55℃から 60℃に上げる
- (2) 使用外気温を“上限 21℃”から“上限 43℃”に拡大する

いずれも冷媒回路内の圧力が従来対比上昇し、通常の運転圧力と設計圧力の上限値(圧カスッチで保護)との差が少なくなるため、ヒートポンプを安定して運転させるには極力運転圧力を上昇させない制御が必要となる。本機では下記2点の運転制御による圧力上昇の抑制を図った。

*1 三菱重工サーマルシステムズ(株)空調機技術部 主席技師 技術士(機械部門)

*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 三菱重工サーマルシステムズ(株)製造部 主席技師

*5 三菱重工サーマルシステムズ(株)製造部

- (a) 加熱温度の上昇に対し、冷媒の高圧圧力を決定する凝縮器への冷媒流量の最適化制御
 - (b) 外気温度の上昇に対し、冷媒の低圧圧力を決定する蒸発器の送風機制御
- (b)に関しては従来からの送風機の風量制御の改善により解決した。本稿では(a)の技術課題の対応について記載する。



図1 開発機 MSV の外観

表1 開発機 MSV の仕様概要

形式			MSV1181P1	MSV1501P1	MSV1801P2	
電源			3相 200V 50/60Hz			
能力	冷却能力	kW	118	150	180	
	加熱能力	kW	118	150	180	
電気特性 (5°C差/7°C差) ^{注1}	始動電流	A	10	10	10	
	最大電流	A	157	198	228	
	消費電力	冷却	kW	34.8 / 34.7	46.4 / 45.7	62.1 / 60.8
		加熱	kW	33.3 / 32.3	45.5 / 44.0	56.3 / 55.4
COP (5°C差/7°C差) ^{注1}	冷却		3.39 / 3.40	3.23 / 3.28	2.90 / 2.96	
	加熱		3.54 / 3.65	3.30 / 3.41	3.20 / 3.25	
外形寸法		mm	2350(H)×1080(W)×3600(D)			
製品質量		kg	1348	1348	1408	
運転質量		kg	1381	1381	1443	
圧縮機			3D スクロール圧縮機			
		定格出力×台数	kW×台	8.75×4	11.7×4	15.5×4
送風装置		ファン				
		φ750 プロペラファン×4				
ポンプ	電動機定格出力	kW	1.5	1.5	2.2	
	形式	ラインポンプ				
	流量制御方式	インバータ				
冷媒		R410A				
冷媒封入量		kg	9.5×4	9.5×4	10.5×4	
水配管 (5°C差/7°C差)	冷温水入口/出口	65A フランジ接続				
	定格流量	m³/h	20.3 / 14.5	25.8 / 18.4	30.9 / 22.1	

本製品は JIS B 8613:1994 及び JRA4066:2014 に基づき製造している。

(注1) 能力及び電気特性は、下記条件時の値である。

「5°C差」冷却: 冷水入口 12°C / 冷水出口 7°C, 外気温度 35°C DB

加熱: 温水入口 40°C / 温水出口 45°C, 外気温度 7°C DB / 6°C WB, 定格電圧

「7°C差」冷却: 冷水入口 14°C / 冷水出口 7°C, 外気温度 35°C DB

加熱: 温水入口 38°C / 温水出口 45°C, 外気温度 7°C DB / 6°C WB, 定格電圧

3. 加熱温度と運転範囲拡大の対応

循環加熱温度(出口水温)を従来機の 55°Cから 60°Cへ5°C上げることによる圧力上昇は飽和温度換算で 0.4MPa に相当するが、単純に従来機の設計圧力 4.15MPa(加熱温度 55°C対応製品)を 4.55MPa に上げると圧縮機や機能品の基本構造を大きく変更する必要がある。そこで開発機では従来機の圧縮機や機能品の最高使用圧力値 4.3MPa を設計圧力の上限値とし、[図2](#)に示すように、高圧保護停止用の圧力スイッチの製造バラツキで決まる公差0.2MPaと、制御オーバーシュートを加味した制御余裕幅を従来機と同等の 0.2MPa を考慮し加熱温度 60°Cの運転時の高圧圧力を常時 3.9MPa 以下に制御することを目標に開発を行った。

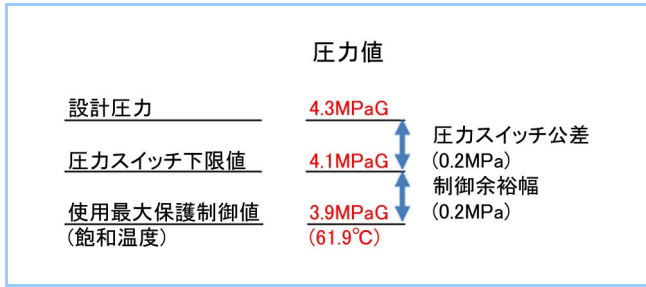


図2 60°C仕様の設計圧力と使用最大保護制御値

図3は従来機及び HLS(Heat Load Sharing) 制御適用の開発機の水熱交換器と冷媒配管・水配管の関係を示す。従来機では水熱交換器の能力負荷は(前流側 50%/後流側 50%)で制御しているが、従来機的能力負担分配では加熱温度 60°Cでの運転点の計算予測によれば、外気温度 21°C以上の範囲で後流側の高圧圧力 3.9MPa を超えてしまう。一方で前流側水熱交換器に接続された冷凍サイクルの高圧圧力は 3.9MPa に対して 0.17~0.22MPa の余裕があることも分かった。よって本課題の打ち手として、開発機では前流の水熱交換器の能力分担比率を増加、後流の能力分担比率を低下させることで高圧圧力を 3.9MPa 以内となるようにした。

加熱温度 60°C 運転中にすべての外気温度領域で常に能力分配をすると、能力比率が高い冷媒系統の循環量が増加し COP が低下してしまうため、HLS 制御では、外気温度が 21°C 以上条件においてのみ外気温度ごとに最適な運転状態となる能力比率を決定した。図4に HLS 制御適用前後で後流側高圧圧力の低減効果を示す。HLS 制御により後流側高圧圧力が 3.9MPa 以下となり目論み通り制御可能であることがわかる。

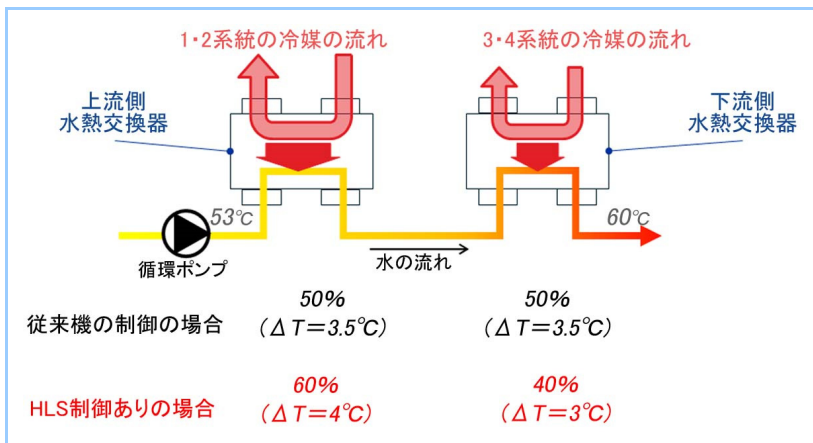


図3 水熱交換器と冷媒配管・水配管の関係

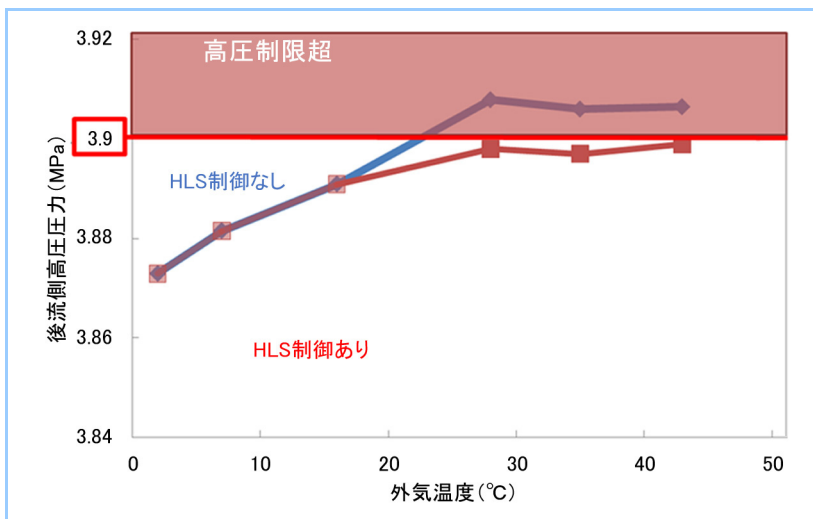


図4 HLS 制御適用前後の後流側高圧圧力の低減効果

4. 実機検証

三菱重工サーマルシステムズ(株)の枇杷島工場ではスクロールコンプレッサの製造を行っている。製造工程では部品の洗浄工程があり、従来は都市ガスを燃料とした蒸気ボイラーで洗浄液を加温し使用していた。

洗浄機として求められる要求事項は以下の通りである。

- (ア) 洗浄効果を高めるために洗浄液の温度は 55～60℃を保持すること。
- (イ) 洗浄作業開始前に加温し約1時間で洗浄液温度が目標に到達すること。
- (ウ) 昼休憩時間は省エネのために停止し、午後からの稼働は速やか(15 分以内)に目標温度に到達すること。

蒸気ボイラーの代替として開発機を工場内のホワイトルーム(洗浄度の高い恒温室)内に設置し、洗浄液を間接的に加温するために間接熱交換器も設置した。また、ホワイトルーム内に設置することで本機が吹き出す冷風を夏季条件ではファン出口にダクトを設けてホワイトルーム内の空調補助に利用し、冬季は冷風をホワイトルーム外に排気するように工夫した。図5に洗浄槽加温システム図を示す。

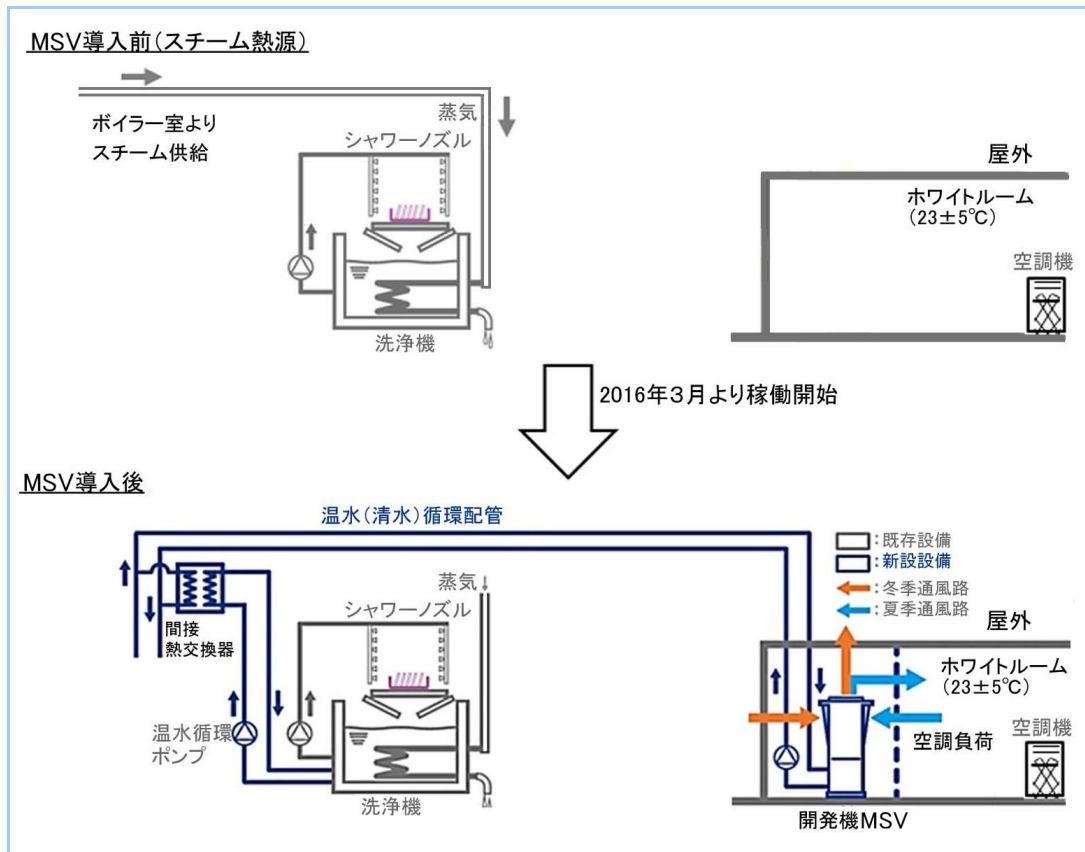


図5 開発機 MSV 導入前後の洗浄槽加温システム図

図6に 0:00～24:00 までの洗浄液の加温状態を示す。

始業前の午前7時に本機を運転開始すると午前8時からの生産開始時には洗浄液温度が 55℃以上を達していることがわかる。また、昼休憩時間の停止により洗浄液温度は低下するが、午後1時からの加温開始により約 15 分で洗浄液温度が 55℃以上となり、午後からの生産に支障がないことがわかる。以上により、スクロールコンプレッサの製造設備として使用可能であることを確認した。

冬季、夏季、中間期の使用電力量から年間電力量を積算すると蒸気ボイラー対比で約 45%のコスト低減となった。夏季の空調補助による空調機のランニングコストは約 15%低減し、洗浄機と空調機のトータルランニングコストは 40%低減することができた(図7)。

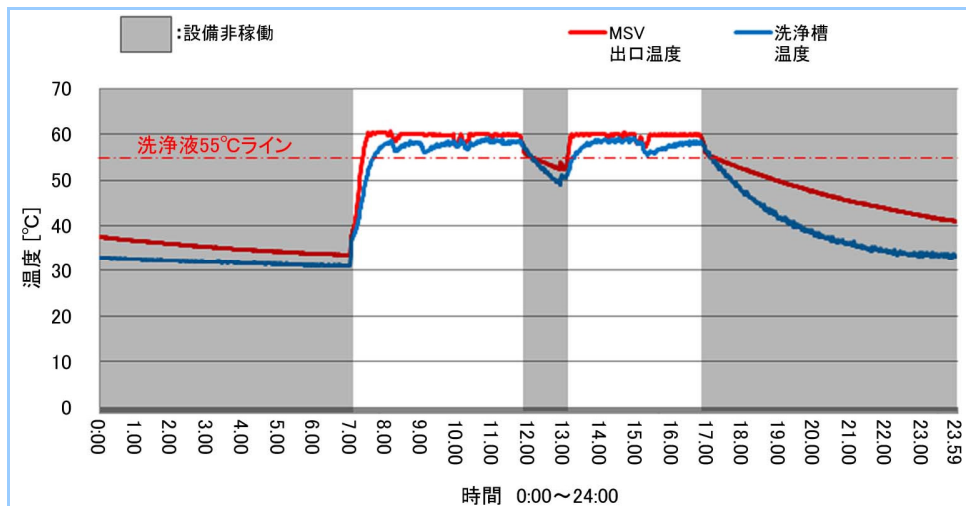


図6 洗浄液加温トレンド

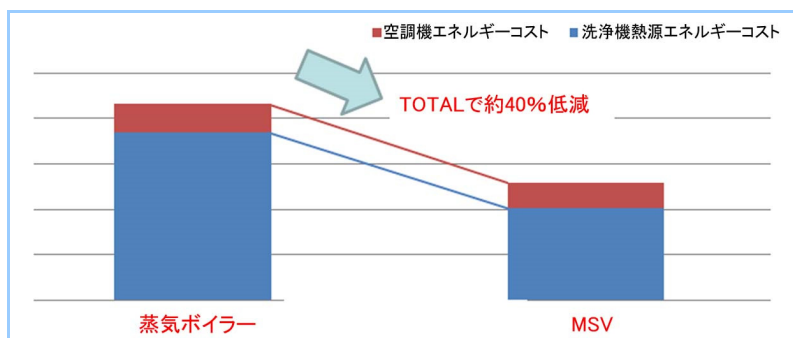


図7 洗浄機と空調機のトータルランニングコスト(1年間)

また本機は、外気温度 -25°C での加熱運転も可能であるため、北海道のハウス園芸の空調や培養液の温調用としても使用されており、最高温度 60°C の加熱運転が可能のため、ボイラーの代替として園芸施設側の機器を大幅に変更することなく導入されている(図8)。



図8 北海道ハウス園芸への適用事例
(外気温度 -20°C 以下の環境で運転)

5. まとめ

加熱温度 60°C 及び使用可能な外気温度の拡大により、開発機 MSV を産業用途ではボイラーからの置き換え用として使用できることを確認した。今後は、様々な産業用途へ適用可能となるようにシステム改良を進めるとともに、農業分野等にも適用を図ることにより、エネルギー使用量及び CO_2 排出量削減の面で、地球環境保全に貢献していく。