

●(一財)省エネルギーセンター最優秀賞●改修設備部門

## 熱回収型ターボヒートポンプを用いた 既設暖房設備の省エネ化

設備施工者：三菱重工冷熱(株)

設備所有者：トヨタ自動車北海道(株)

### 建物の概要

名称 トヨタ自動車北海道(株) 原動力棟 所在地 北海道苫小牧市字勇払145-1  
概要 建屋：地上 延床面積：2,000m<sup>2</sup> 構造：RC造 用途：工場(機械室)

### 1. 技術開発の目的と経過

目的：工場空調用ボイラの燃料使用量を削減する目的で、空気圧縮機の冷却水排熱を回収するシステムを新規に組み入れ、暖房熱源として利用することで、省エネルギー化とCO<sub>2</sub>排出量削減を目指した。なお、排熱を回収する機器として熱回収型ターボヒートポンプを採用した。

経過：2018年8月～(提案、設計等)：工場全体の省エネ・CO<sub>2</sub>削減の検討において、化石燃料を多く使用する燃焼式暖房熱源をターゲットとして抽出。暖房シーズンの熱需要量と排熱量を定量的に把握し、機器選定と動作回路の設計を行った。また、CO<sub>2</sub>削減効果など、想定されるメリットを試算した。  
2021年1月～(試運転、引渡し等)：1月末に試運転を実施し、2月初旬にお引き渡しを完了した。一方、省エネ効果を確認するための計測機器を設置し、既設中央監視設備による温度、流量、消費電力などの計測データと併せて運転状況の分析を行った。

### 2. 設備・システムの概要

#### 1) 既設設備の概要

- ・本工場は温水循環式中央熱源方式を採用している。熱供給棟から各工場に送水される温水は、暖房需要エリアに設置された空調機にて放熱し、放熱(冷却)後に熱供給棟へ返送される。
- ・熱供給棟では、蒸気熱交換器で約45℃の温水を発生させており、熱源としては①コージェネ排ガスボイラ、②重油ボイラ、③ガスボイラ(13A)の3種類で構成されている。
- ・このうち②と③で製造した蒸気は混合されているが、①で製造された蒸気は系統が独立しており、蒸気熱交換器も専用のものが設置されている(図1)。
- ・なお、今回導入する設備(以下、本設備)の熱源として利用する空気圧縮機からの冷却水排熱は、地下の二槽式冷却水槽を経由して屋上の冷却塔で大気中に放熱している(図1)。

#### 2) 改修設備の概要

- ・今回の改修では、図1に示す設備フロー図の破線部を増設した。
- ・熱回収型ターボヒートポンプ(以下、ヒーポンターボ)は、二槽式冷却水槽の高温側から冷却塔に送水される冷却水から熱を回収し、高効率で温熱を供給する。この温熱は、各工場の空調機から返送された温水の加熱に利用する。
- ・ヒーポンターボは、上記②と③による混合蒸気が供給される蒸気熱交換器より上流に設置されているた

め、常に蒸気熱交換器より優先して温熱を供給することになる（ベースロード）。このことにより、上記②と③から供給される蒸気使用量、延いては化石燃料の消費量を低減することが可能となる。

・但し、上記①から供給される排熱の利用は、ヒーポンターボよりも省エネ性が高く最優先とする必要があるため、①の専用蒸気熱交換器の温水系統上流には、ヒーポンターボで加熱された温水を接続しない構成としている。

・その他、より省エネ性を高める方策としていくつかの工夫を取り入れた。以下a)、b) に一例を示す。

a) ヒーポンターボは1日当たりの上限発停回数が設定されているため、中間期などの低負荷時に短時間で頻繁に発停すると、合計稼働時間が短いまま上限回数に達してしまう。すると、もし同日中に負荷が増大しても稼働できず、低稼働率により十分な省エネ性を発揮できない可能性がある。このことへの対策として、暖房負荷熱量の継続的な演算を行い、その熱量から上記①の発熱量を差し引き、残りの熱量がヒーポンターボの最低ロード率時の加熱能力よりも高い場合にのみヒーポンターボを稼働させる制御を取り入れており、ヒーポンターボの稼働率を高めている。

b) ヒーポンターボは、熱源側の温度が高いほど効率が高まる特性を持つため、熱源となる冷却水の温度を空気圧縮機の冷却に支障のない範囲でできるだけ高く保持するべく、冷却塔と冷却水ポンプの制御動作設定を変更した。

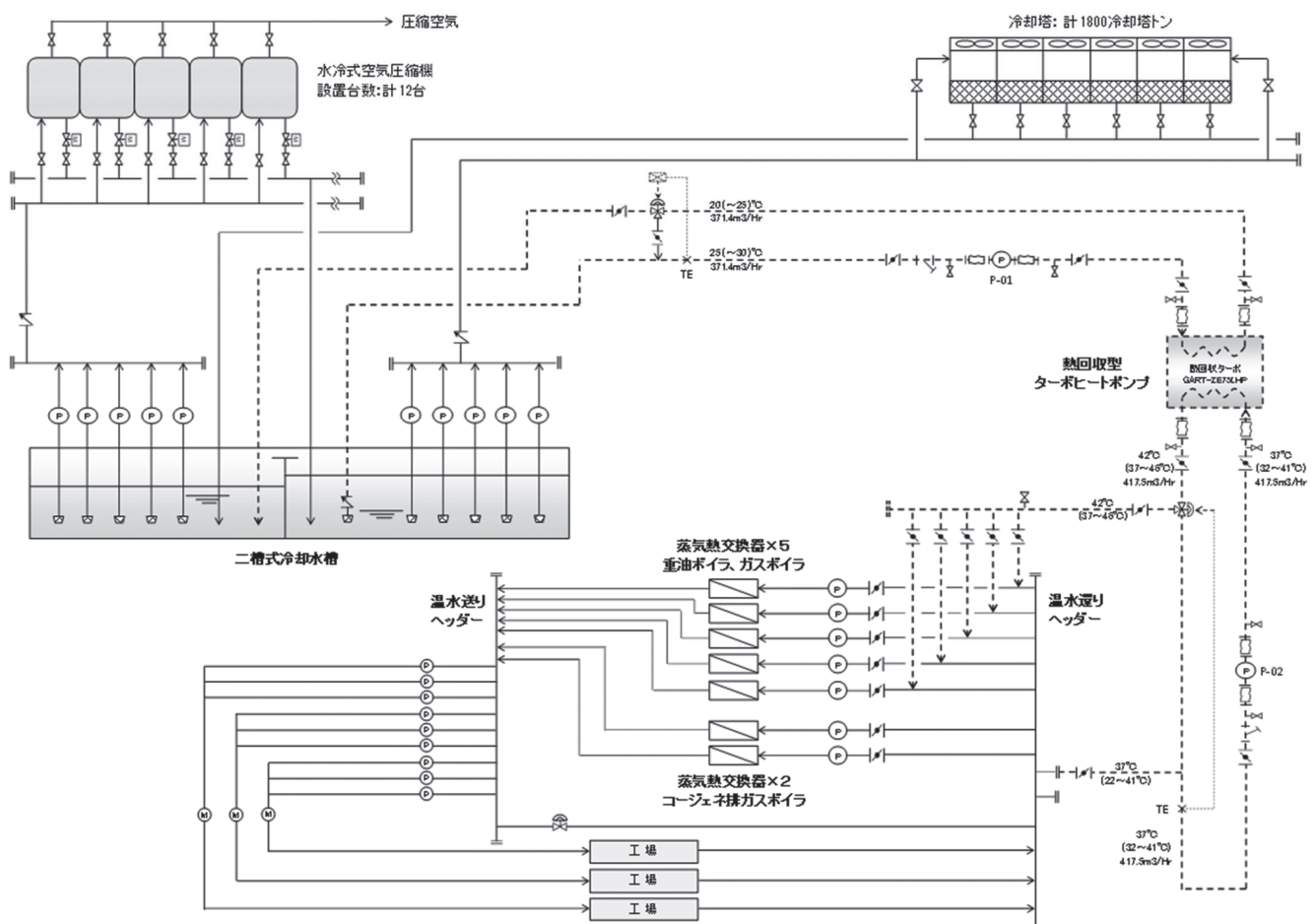


図1 設備フロー（破線記入箇所：今回増設部）

### 3. 着想

- ・当該工場は寒冷な立地条件にあり、暖房用ボイラの燃料消費量が非常に多いため、暖房用熱源機の効率改善によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果が大きく見込める点に着眼し、当該熱源機のヒートポンプ化を計画した。
- ・一方、ヒートポンプを設置する熱源棟には大型の水冷式空気圧縮機が計12台設置されており、年間を通して安定的に稼働していることから、排熱回収ヒートポンプの適用が最適と判断した。
- ・また、本工場の暖房用温水温度は45℃程度であり、空気圧縮機の冷却水排熱（30℃程度）と温度が近く、熱量規模も大きいことから、大型かつ低圧縮比での効率が高い三菱重工サーマルシステムズ製のヒーポンターボを採用する案で検討を進めた。その結果、過去の実データ（暖房負荷熱量、冷却水排熱量など）を基に試算したCO<sub>2</sub>削減効果も十分に見込めたことから、今回実施に至った。

### 4. 効果（省エネルギー）

#### 1) 省エネルギー効果（原油換算）およびCO<sub>2</sub>削減効果の試算

- ・ヒーポンターボの運転データ実測期間である2021年2月9日0:00から3月6日23:00（26日間）と同期間の過去データに基づき、下記方法によって省エネルギー効果（原油換算）とCO<sub>2</sub>削減効果を試算した。
- ・積算ヒーポンターボ加熱能力：1113.9MWh  
\*重油ボイラとガスボイラの燃料実績値より
- ・A重油削減量：90.8kL  
\*重油ボイラの燃料実績値より
- ・都市ガス削減量：39.9kNm<sup>3</sup>  
\*ガスボイラの燃料実績値より
- ・電力増加量：114.0MWh  
\*設備全体（ヒーポンターボ+ポンプ等付帯設備）  
ヒーポンターボ性能と過去の温水データを根拠としたシミュレーションにより試算

#### ◇省エネルギー効果（原油換算）の試算

- ・A重油削減量\_原油換算：91.7kL [=90.8kL×1.01kL/kL]
- ・都市ガス削減量\_原油換算：46.3kL [=39.9kNm<sup>3</sup>×1.16kL/kNm<sup>3</sup>]
- ・電力増加量：28.3kL [=114.0MWh×(0.257kL/MWh+0.239kL/MWh)÷2]  
\*ヒーポンターボ稼働時間割合は、昼夜で各50%と仮定
- ・省エネルギー効果\_原油換算：109.7kL [(91.7kL+46.3kL)-28.3kL]  
\*削減率79.5%

#### ◇CO<sub>2</sub>削減効果の試算

- ・A重油\_CO<sub>2</sub>排出削減量：243.9ton [90.8kL×2.68577kg-CO<sub>2</sub>/L]  
\*CO<sub>2</sub>排出係数は、当該事業所の指定値を採用
- ・都市ガス\_CO<sub>2</sub>排出削減量：83.3ton [39.9kNm<sup>3</sup>×2.08963kg-CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>]  
\*CO<sub>2</sub>排出係数は、当該事業所の指定値を採用
- ・電力\_CO<sub>2</sub>排出増加量：77.3ton [114.0MWh×0.6780kg-CO<sub>2</sub>/kWh]  
\*CO<sub>2</sub>排出係数は、当該事業所の指定値を採用
- ・CO<sub>2</sub>排出削減量：249.9ton [(243.9ton+83.3ton)-77.3ton]  
\*削減率76.4%

◇COPの試算

- ・平均ヒーポンターボCOP : 9.77 [1113.9MWh÷114.0MWh]
- ・\*システムCOP (H)

2) 省エネルギー効果（原油換算）およびCO<sub>2</sub>削減効果の実証結果

- ・表1、2および図2、3に、計画時における試算結果と実績の比較を示す。なお、省エネルギー性については、原油換算で定量化して削減量を求めた。

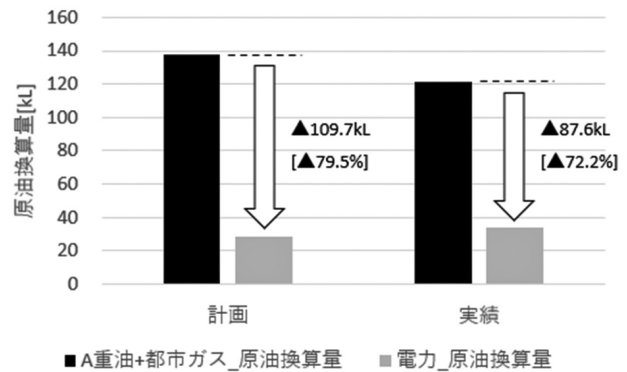
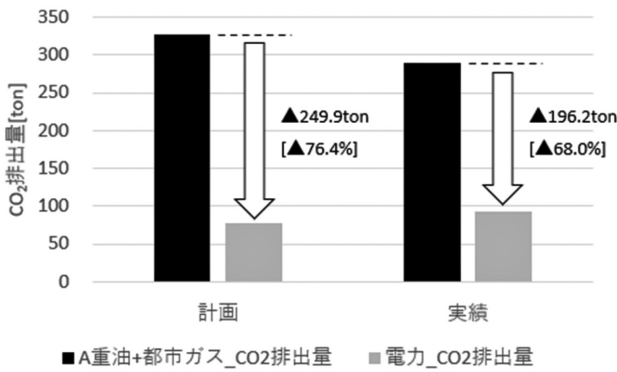
表1 ボイラ燃料削減量と電力増加量の計画に対する実績の比較

計 画							実 績							実績/計画			
ヒーポンターボ合計加熱量	A重油削減量	都市ガス削減量	A重油削減によるCO <sub>2</sub> 排出削減量	都市ガス削減によるCO <sub>2</sub> 排出削減量	電力増加によるCO <sub>2</sub> 排出増加量	ヒーポンターボ合計加熱量	A重油削減量	都市ガス削減量	A重油削減によるCO <sub>2</sub> 排出削減量	都市ガス削減によるCO <sub>2</sub> 排出削減量	電力増加によるCO <sub>2</sub> 排出増加量	ヒーポンターボ合計加熱量	A重油削減量	都市ガス削減量	電力増加量		
[MWh]	[kL]	[kNm <sup>3</sup> ]	[ton]	[ton]	[MWh]	[ton]	[kL]	[kNm <sup>3</sup> ]	[ton]	[ton]	[MWh]	[ton]	[kL]	[kNm <sup>3</sup> ]	[ton]		
1113.9	90.8	39.9	243.9	83.3	114.0	77.3	981.2	80.5	34.6	216.2	72.4	136.2	92.4	88.1	88.7	86.7	119.5

表2 省エネルギー・CO<sub>2</sub>削減効果の計画に対する実績の比較

計 画							実 績							実績/計画	
A重油削減量	都市ガス削減量	電力増加量	原油換算削減量	原油換算削減率	CO <sub>2</sub> 排出削減量	CO <sub>2</sub> 排出削減率	A重油削減量	都市ガス削減量	電力増加量	原油換算削減量	原油換算削減率	CO <sub>2</sub> 排出削減量	CO <sub>2</sub> 排出削減率	原油換算削減量	CO <sub>2</sub> 排出削減量
[kL]	[kL]	[kL]	[kL]	[%]	[ton]	[%]	[kL]	[kL]	[kL]	[kL]	[%]	[ton]	[%]	[%]	[%]
91.7	46.3	28.3	109.7	79.5	249.9	76.4	81.3	40.1	33.8	87.6	72.2	196.2	68.0	79.9	78.5

※電力消費量原油換算におけるヒーポンターボ稼働時間割合は、昼夜それぞれ50%と仮定。



- ・表1、2および図2、3より、本設備の導入によって26日間で約196tonのCO<sub>2</sub>排出量削減効果と、原油換算で約87kLの省エネルギー効果が得られることが確認できた。
- ・いずれにおいても実績が計画を下回った。この理由としては、ヒーポンターボ出口における熱源水温度の実績値が、計画値より平均で約3℃低かったことが挙げられる。このことによりヒーポンターボの低圧が下がり、消費電力が増加してCOPが低下したと考えられる。各システムCOPは、計画が9.77、実績ベースでは7.89 (▲19.2%) であった。
- ・しかしながら、計画に対する実績は最大でも22%以内に収まっており、当初期待した効果に概ね近いと言える結果が得られた。

## 5. 投資回収（省マネー）

- ・本設備は暖房用途のため、一年のうち冬期と一部の間中期のみ稼働となる。北海道という寒冷な立地により、10月から5月の8か月間は稼働するが、それでも年間稼働時間が限られる。
- ・また、前述のとおり2月9日から3月6日に渡る26日間のデータしかないため、ここで得られた省マネー結果を1シーズンの代表値として良いものか、推測の域を出ない。
- ・以上の前提条件を踏まえた上で、参考までに設置工事など状況に応じた要素を除いた場合におけるヒーポンターボ単体に対する投資回収年数を試算すると、実績ベースで約2.8年となった。

## 6. 他の建物への応用性

- ・今回採用したヒーポンターボはいくつかのラインアップがあり、最も小型の機種であれば40℃～50℃の温熱需要が約1500kW以上ある一方、水冷式機器の排熱を冷却塔で大気中に放熱している建物への適用検討が可能である。北海道に限らず、寒冷な地域における比較的大規模な事務所や工場への応用が考えられる。
- ・また、今回のように熱の需要と供給の場所が近いほど配管距離が短くなるため、導入時におけるインシヤルコスト低減、運用時におけるポンプ動力低減などが可能となり、より効果的に省エネルギー化とCO<sub>2</sub>排出量削減を狙うことができる。
- ・ヒーポンターボは負荷変動が小さいベースロード用として利用することで、より効率良く運転できる。また、既存設備や他のヒートポンプ機器などとの併用により、ピーク負荷への対応も可能となる。
- ・実際の導入検討においては、負荷変動やピーク負荷への対応など、現状把握をした上での周辺設備を含めた適正化が必要になる。

## 7. 仕様又は開発製品等

- ・表3にヒーポンターボの仕様書を示す。
- ・冷媒には、低GWP冷媒であるHFO-1234ze (E) を採用している。地球温暖化係数 (GWP) が1未満のためノンフロン扱いとなり、フロン排出抑制法の適用対象外となる。
- ・圧縮機や蒸発器などをHFO-1234ze (E) に適した形状に改良し、高性能化を実現した。
- ・HFO-1234ze (E) は従来冷媒のR-134aと比較して冷媒体積が約1.3倍大きいのが、構成機器の小型化や配置の見直しなどによりコンパクト設計としている。

## 8. 環境保全等

- ・「4. 効果（省エネルギー）」に記載のとおり、2月～3月の26日間で原油換算87kL程度の省エネルギー効果が得られたことから、暖房期間中では原油換算で600～700kL程度の省エネルギー効果が得られるものと推察される。

## 9. 工夫した点、発想した点等

- ・ヒーポンターボを需要加熱源のピークに合わせた能力で選定した場合、ボイラを用いた場合に比べ加熱能力当たりの単価が高額なため経済的負担が大きくなり、設備投資を行う上で障害となりやすい。

表3 ヒーポンターボ仕様書

### 1. 基本仕様

冷凍機形式	GART-ZE75LHP
適用法規	高圧ガス保安法、冷凍保安規則
暖房能力	2404kW
設置場所/雰囲気	屋内/非防爆
冷媒	HFO-1234ze(E)
法定冷凍能力	273.9 冷凍トン
容量制御範囲	100%～30%

### 2. 熱源水・温水仕様

熱源水	入口温度	25℃
	出口温度	20℃
	流量	371.4m <sup>3</sup> /h
温水	入口温度	37℃
	出口温度	42℃
	流量	417.5m <sup>3</sup> /h

### 3. 電気基本情報

主回路電源	3φ AC, 400V, 50Hz
制御回路	3φ AC, 200V, 50Hz
出力	221.6kW
インバータ入力	258.1kW

- ・そこで本計画では、既存のコージェネ排ガスボイラに続く第2のベースロードとしてヒーポンターボ（新規）をシステム内に組み入れ、コージェネ排ガスボイラとの高効率連携運転制御回路<sup>\*1)</sup>を新たに追加することで、高い稼働率が期待できる領域にて加熱能力を選定し、投資回収期間を短縮した。
- ・このように、省エネルギー設備では投資回収効果が重視される場合が多いため、本件に限らず産業用途でのヒートポンプの導入では可能な限り高稼働率での運用を目指す工夫が肝要と考える。
  - \* 1) 高効率連携運転制御：第2のベースロードとして省エネ性が高まる運用となるように、ヒーポンターボの発停タイミングや熱源水温度を適切に管理し、高稼働・高効率運転を行う制御方式。

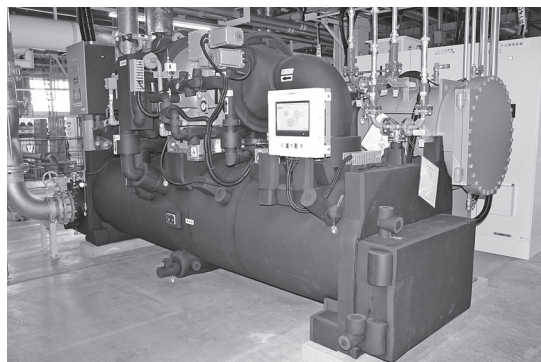
## 10. 市場性等

- ・暖房用熱源としてボイラや吸収式冷温水機などの燃焼式機器を備える一方、冷却塔によって排熱を大気中へ放熱している比較的大規模な事業所においては、本設備で採用したヒーポンターボの市場性が見込まれる。
- ・暖房用温水は45℃程度であり、一般的な機器の排熱（30℃程度）との温度差が小さいため、低圧縮比での効率が高いヒーポンターボを用いることで大きなメリットが期待できる。
- ・当社ではユーザー事情に合わせたフレキシブルな省エネシステムの企画・提案を行うため、今回採用したヒーポンターボに加え、排熱回収型ヒートポンプ「エコウォーム」、業務用エコキュート「Q-ton」、循環加温ヒートポンプ「Q-ton Circulation」、空冷ヒートポンプチラー「MSV, MSV2」、高効率ヒートポンプ式熱風発生装置「熱Pu-ton」など、複数のヒートポンプ製品を揃えている。各ユーザーの課題を把握した上で最適な機器を選定し、システム設計も含めた提案をすることにより、今後も省エネ化とCO<sub>2</sub>排出量削減に貢献していきたいと考えている。

## 11. 外観



外観



ターボ冷凍機

## 12. 講評

重油ボイラ、ガスボイラ、コージェネ排ガスボイラからなる工場空調用の熱源システムに対して、空気圧縮機の冷却水を利用した熱回収ヒートポンプを導入し、ベースロード負荷に効果的に対応することによって大きな省エネ、CO<sub>2</sub>削減効果をあげた。既存熱源システムの運用状況を的確に把握し、配管長をできるだけ短くするような考慮も含めた適切なシステムを構築して、投資回収効果という点でも優れた経済性を示した。

寒冷地の大規模事業所において、燃焼から排熱利用の電気式ヒートポンプへの移行事例として、同様の事例の普及や展開に寄与するものとして高く評価された。

●(一社)日本冷凍空調設備工業連合会 会長 優秀賞 ●改修設備部門

## 冷熱源システムにおけるカーボンゼロへの貢献

設備施工者：(株)ダイキンアプライドシステムズ

設備所有者：アサヒビール(株) 吹田工場

### 設備の概要

名称：アサヒビール(株)吹田工場

所在地：大阪府吹田市西の庄町1-45

概要：冷凍機設置建屋

建屋：地上4階建て

延床面積：7,533m<sup>2</sup>

構造：RC造 用途：工場



アサヒビール吹田工場外観

### 1. システム開発の目的と経過

2015年のパリ協定に始まり、2021年11月のCOP26で、世界の平均気温上昇を1.5℃に抑える目標に向かって世界が努力することが正式に合意された(グラスゴー気候合意)。このため、世界の温室効果ガス排出量を2030年には、2010年比で約45%削減、2050年には実質ゼロ(カーボンニュートラル)にすることが必要とされている。日本も温室効果ガスの排出量を2050年までに実質ゼロを目指すことが宣言された。こうした背景の中、各企業はグリーン電力購入、自工場への太陽光発電設備設置や能力増強を計画。燃料では、燃料電池、バイオマス燃料、水素燃料などへの転換に向けた技術革新、DX推進に向けたAI活用など、2030年、2050年を見据え動き出している。それら施策と並行し、省エネや熱回収などによるエネルギー削減対策は今後においても、日々計画、実施、データ確認、改善など続けていくことが重要である。

今回対象の工場において、電力消費量(コ・ジェネでの電力含む)の割合で、最も大きく占めているのは冷熱源設備である。およそ工場使用電力のうち、30~40%を冷凍機とその補機類(ポンプ、冷却塔)が占めている。このパートの電力削減は省エネルギー効果が大きく、冷熱源システムは時代ごとに、省エネ施策を積み重ねてきている。安全・安心、シンプルなシステムかつ、最小冷却熱源容量で最小原単位になる冷熱源システムの実現を目指し、

- ①負荷平準化
- ②更新設備電気量の縮減化
- ③安定運転を継続する冷凍機システム
- ④部品点数の削減
- ⑤既存設備の有効利用

以上5点を理想のシステム実現に向けたコンセプトとし、過去から提案を進めてきた。本稿では、更に取り組んだ③及び④について次項に開発経緯を記載する。

### (1) ターボ冷凍機の計画背景

国内においてはフロン排出抑制法に基づき、低GWP冷媒への転換としてターボ冷凍機は、2025年までに製造業者の出荷機のGWPを1年間の加重平均で100以下に抑える規制が発令されている。それと並行し、各メーカーはGWP100を大きく下回るHFO（ハイドロフルオロオレフィン）冷媒ターボを発売、インバータ（INV）によるターボプロアの回転数制御により部分負荷特性の優れた機械であるため、今後の置換えも見据え、まず1台納入となった。

ターボ冷凍機の一般的な特徴として約300トン以上の大容量の水冷式で、効率の優れている点が長所であるが、冷却水温度の変化、ブライン入口温度の変化に伴う追従性には容積式圧縮機と比較し、一般的に劣る。この点に対する対応については次項のシステム側で記載する。

### (2) ブライン出口温度変更について

当該の工場負荷として夏季の高負荷、冬季の低負荷の負荷率は、100%から15%まで変動する。よって既設冷熱源システムは、夏季は大温度差（約10℃→-3℃）冬季は小温度差（1℃→-3℃）になることで、冷凍機の直列運転システムを採用している。本機は基本が低温-3℃を取り出すことにしているが、ケースにより、中温0℃を取り出すことも可能としている。

### (3) 経過

2017年（設計・納入）

2018年1月（試運転・引渡し）

2018年1月～12月（データ活用による継続的なチューニング実施）

2019年～2021年（経年比較、微調整、メンテナンス時期把握）

## 2. 設備・システムの概要

### (1) 納入機器概要

#### 1) 新設

- ①HFO冷媒INVターボ冷凍機 呼称冷却能力340 USRt (1,195kW) × 1 台  
出口ブライン温度 -3℃時 340 USRt (1,195kW)  
出口ブライン温度 0℃時 375 USRt (1,318kW)
- ②ブライン循環ポンプ 流量360m<sup>3</sup>/h×1台 INVによる変流量対応
- ③冷却水ポンプ 流量307m<sup>3</sup>/h×1台 INVによる変流量対応
- ④冷凍機のブライン周辺制御 ブライン入口温度制御、及び出口温度制御機能付

#### 2) 既設流用

- ①冷却塔 ×1セット INVによるファン回転数制御
- ②密閉縦型ブラインタンク 150m<sup>3</sup>×20mH+150m<sup>3</sup>×20mH連結  
温度生成層形ブラインタンクの直列接続

## 3. 着想

既設の冷熱源システムは大温度差設計が確立できている。夏季は負荷が高く、負荷戻りは約10℃、冬季は低負荷となり、0～1℃程度になる。ターボ冷凍機は効率が高く、インバータにより部分負荷特性も優れていることからベース機として運転している。また、将来を見据えて、ブライン出口-3℃運転（低段運転）とブライン出口0℃運転（高段運転）の2通りの運転方式を構築。次の更新時に、新たなターボ機を導入して、高段運転1台、低段運転1台にすることで更なる省エネを図っている。以下に高温ブライン運転方式（図1）、低温ブライン運転方式（図2）の運転フローを示す。



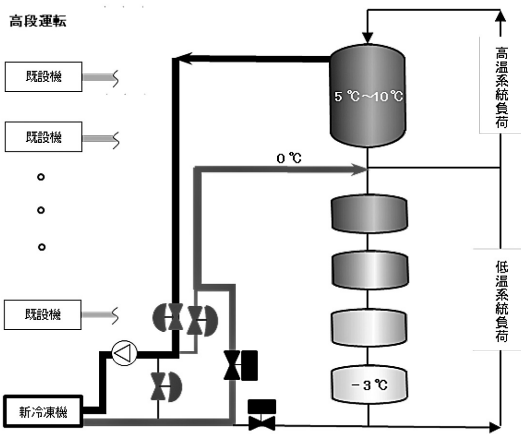


図1 高温ブライン運転方式

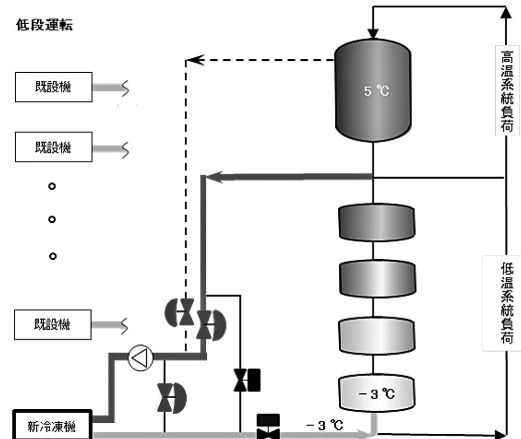


図2 低温ブライン運転方式

ターボ冷凍機の特徴としてサージング現象がある。ターボ冷凍機出口は-3℃ブラインとなるため、冷水運転(5~7℃)と比較し運転時の冷媒高低差圧が大きくなり、サージング領域に近づくことが想定される。対策として、冷却水入口温度、ブライン入口温度の振れ幅を極力小さく(±0.2℃)する制御を行っている。(制御方法は後述している。)

#### 4. 効果 (省エネルギー)

エネルギー効果を表1に示す。試算では、既設(従来)システムと比較して1年間の削減電力量は、▲889,000kWh【▲32%削減】となる。(既設はHCFC冷凍機を示す。)

表1 エネルギー効果試算

冷凍機出口温度 -3℃						電力単価	15	円/kWh	
各月	冷却水 温度【℃】	運転時間 【H】	負荷 【kW】	既設 システムCOP	新設 システムCOP	既設 消費電力【kW】	新設 消費電力【kW】	削減電力量 【kW】	削減金額 【千円】
1月	16	744	956	3.4	5.0	209,000	142,000	67,000	1,010
2月	14	672	956	3.6	5.2	178,000	124,000	54,000	810
3月	14	744	956	3.6	5.2	198,000	137,000	61,000	920
4月	17	720	956	3.3	4.9	209,000	140,000	69,000	1,040
5月	21	744	956	3.0	4.4	237,000	162,000	75,000	1,130
6月	22	720	956	2.9	4.3	237,000	160,000	77,000	1,160
7月	25	744	956	2.7	4.0	263,000	178,000	85,000	1,280
8月	30	744	956	2.4	3.5	296,000	203,000	93,000	1,400
9月	27	720	956	2.6	3.8	265,000	181,000	84,000	1,260
10月	24	744	956	2.8	4.1	254,000	173,000	81,000	1,220
11月	19	720	956	3.1	4.6	222,000	150,000	72,000	1,080
12月	17	744	956	3.3	4.9	216,000	145,000	71,000	1,070
<b>合計</b>		<b>8,760</b>				<b>2,784,000</b>	<b>1,895,000</b>	<b>889,000</b>	<b>13,380</b>
								<b>削減率</b>	<b>-32%</b>

#### 5. 投資回収 (省マネー)

A: 本設備の設計施工費 = 69,700千円

B: 年間削減エネルギー費用(計画) ≒ 13,380千円

したがって、投資回収年数(A/B)は5.2年となる

注記) 投資回収として扱う施工費として、既設冷凍機との比較により、施工費は機器、搬入据付、試運転費用とした。

## 6. 他の冷熱設備の応用性・便利性

HFOブラインターボを利用したシステムで必要温度が $-4^{\circ}\text{C}$ 程度から冷水域でかつ、ベース負荷が300USRt以上の設備において、ベース機として利用する場合や、負荷変動がほぼ無い場合の全数ターボ冷凍機など、飲料工場に限らず工場全分野に利用用途がある。

ただし、納入後に高効率を維持継続するためのサービスやチューニングが無ければ、冷凍機の特性を十分に活かすことができず、無駄が発生するため、納入後のアフターメンテナンスは必要となる。

## 7. 仕様又は開発製品・システム

過去から、冷熱源システムや排熱回収システムの特許を出願・権利化してきているが、本設備はカスケードシステム 特許第4929519号が該当する。

## 8. 環境保全、便利性等

電力削減量によるCO<sub>2</sub>排出量削減

$$= (\blacktriangle 889,000\text{kW}/\text{年}) \times (0.350\text{kg}-\text{CO}_2/\text{kWh})$$

$$= \blacktriangle 311\text{トン}-\text{CO}_2/\text{年}$$

※0.350kg-CO<sub>2</sub>/kWhは、関西電力2020年小売電力での値を採用

## 9. 工夫した点、発想した点、創作した点、新しい点等、設備の特徴

冷熱源システムとして、現状負荷に対して（ターボ）冷凍機の特性を最大限に活かす制御パラメータ等の調整により、高効率の維持継続は可能となる。その方法として、計画時の理論上の年間効率に対して納入後、見える化により検証していくことは当然であるが、ダイキンアプライドシステムズ社オリジナル解析ソフト（Z\_Viewer）を用いて、AI化を視野に、スピード化と解析作業の効率化に取り組んだ。

- ①大まかにデータを確認（期間比較）
- ②データ変化点の確認（開始点、終了点、収束点の確認）
- ③ポイントごとのリアルタイムデータ確認
- ④問題点の抽出、制御パラメータ変更
- ⑤変更後の確認

これを繰り返し実施。特に納入後の1年間は、毎月データを分析し、お客様と当社で共有し改善を協議して進めた期間である。その後は、半年ごとでデータ共有、更なるシステム効率アップのテーマ出しとそのチューニングを継続中である。

具体的な対応案事例を下記に示す。

### (1) 分析orチューニング事例 その1

冷却水送り温度制御

稼働初期の調整前後システムCOPを（図3）に、1年経過後のシステムCOPと冷却水温度の関係を（図4）に示している。設備稼働当初は冷却塔ファンの台数制御とファンインバータを組み合わせたシステムとしたが、冷却水温度の変化幅に伴い、ターボ冷凍機のインバータが制御状態からMAX.60Hzとなり、インレットベーンを絞るといった省エネに反する運転になることがあった。そこで冷却水入口温度の変動幅を抑えるために、冷却塔ファン合計4台を同期インバータ制御に変更し、ファンインバータ周波数の下

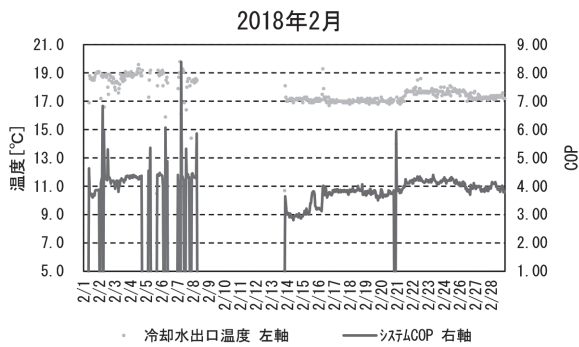


図3 稼働初期のシステムCOPと冷却水温トレンド

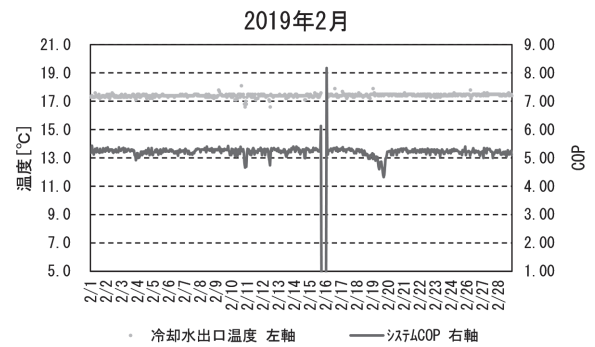


図4 1年経過後のシステムCOPと冷却水温トレンド

限值をデータより確認（下限20Hz）し決定。それを下回る場合はファン台数を変更。冷却水入口温度範囲は約±0.2°C程度に抑えることにより、結果システムCOPの安定化と、冷却塔ファンの電力削減も大きく寄与することになる。その後1年間外気温度変化に応じた微調整を実施、年間の安定運転を確立することができた。

### (2) 分析事例 その2

補機類の電力削減調整（冷却塔ファン編）

運転初期の冷却塔ファンと1年経過後の冷却塔ファンの消費電力を図5、6に示す。1年経過後において、消費電力は約20%削減の結果となった。

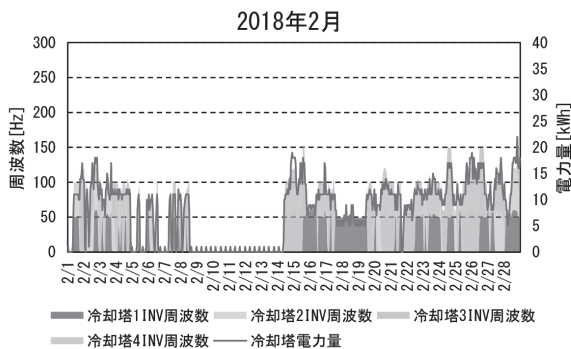


図5 稼働初期の冷却塔ファン消費電力

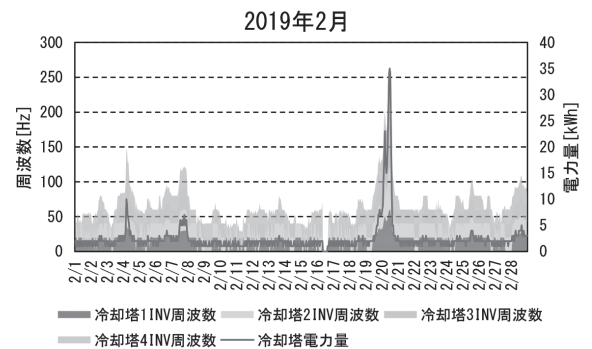


図6 1年経過後の冷却塔ファン消費電力

### (3) 分析事例 その3

ブライン出口温度を変化させた時の推移

ブライン温度を変化させた場合のシステムCOPのデータを図7に示す。様々なケースを検証しながら、最適ポイントを確認した事例の一つである。

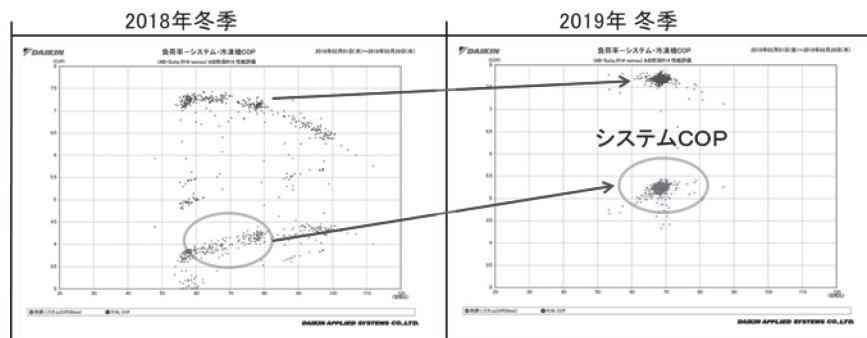


図7 システムCOPの確認

#### (4) 結果 その4

##### システムCOP

4年間のデータより、システムCOPが維持できていることが解る。

今後は得られたビッグデータを利用して、他工場設置の運転データとの比較、更なる効率維持に加え、故障予知、事前対応など蓄積したデータを活用することによりサービスメンテナンスに繋げていきたい。

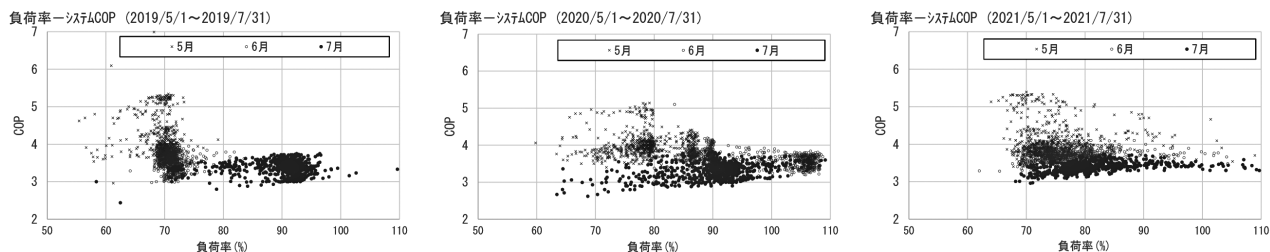


図8 システムCOPの推移 (5月～7月) 左から2年目、3年目、4年目

#### 10. 市場性、販売状況、適応市場の大きさ等

工場における冷熱熱源システム構築をするためには、負荷側（二次側）を理解した上で、冷凍機側（一次側）の構築をしていく必要があるが、その考え方として以下に記載する。

##### 1) 負荷側（二次側）

- ①個々の負荷側の特性のヒアリング、確認、必要に応じデータ計測
- ②温度差、流量の最適化
- ③季節ごとや、年間での負荷特性把握
- ④蓄熱による平準化の検討、タンクレス化の検討
- ⑤二次側システム検討

##### 2) 熱源側（一次側）

- ①得られた負荷側情報を解析し、エネルギーの有効利用を図りつくしたシステム構想の立案
- ②負荷特性に見合った最適な冷凍機のタイプの選定（スクロール、スクリュウ、ターボ、吸収式などタイプ別の特性を活かす）

##### 3) ケースごとのランニングコスト、イニシャルコスト、LCコストの試算

上記のように考えると、負荷の大小によるが、300USRt以上のベース負荷がある場合は、そのベース機としてHFOインバーターターボ冷凍機（-3℃～+10℃）を含めたシステムの市場性は十分にあると想定できる。また、納入後10～15年と使用するため、安全・安心を届けるサービスメンテナンス（故障予知、事前対応）が重要であることも付け加えておきたい。

## 11. 外観

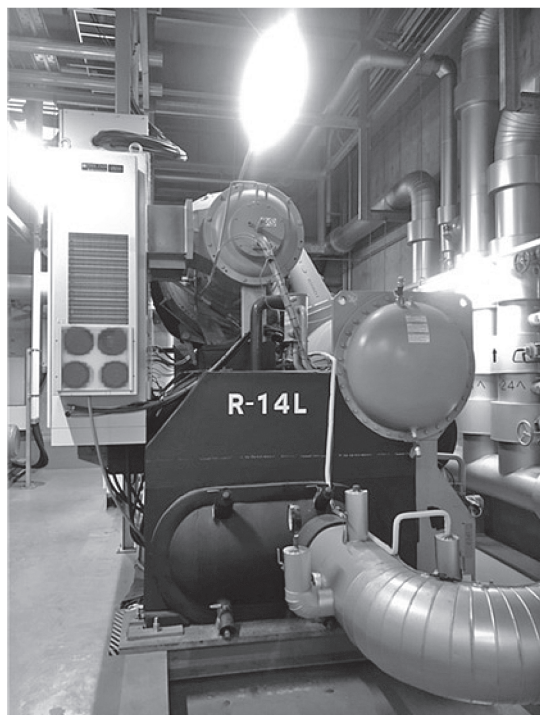


写真1 HFOインバータ ターボ冷凍機



写真2 既設ブラインタンク

## 12. 講評

工場用使用電力量の30～40%を占める冷熱源システムに対して、既存システムの運転状況をしっかり把握し、将来の更新も考慮してHFOインバータターボ冷凍機を導入し、高い省エネ効果とCO<sub>2</sub>削減効果をあげた。その運用にあたって、エネルギー消費データ採取・分析を行い、最適運用を心掛け、継続的な効率向上を目指している点、最新設備機器の採用、熱のカスケード利用、高効率設備システム構築、環境保全効果、などの点で高く評価された。今後、今回工事対象だけでなく全体システムの中での位置づけ検討、計算値と実績値の比較検討など、検討の深化を期待したい。

●(一社)日本冷凍空調設備工業連合会 会長 優秀賞 ●改修設備部門

# 新開発の排熱回収機能付きCO<sub>2</sub>冷凍機とCO<sub>2</sub>ブラインチラーによる冷凍冷蔵倉庫の省エネ化

設備施工者：日本熱源システム(株)

設備所有者：芳雄製氷冷蔵(株)

## 建物の概要

名称 芳雄製氷冷蔵(株)穂波第1センター 所在地 福岡県飯塚市平恒476-26

概要 建屋：地上1階 延床面積：7,900m<sup>2</sup>(対象部分 2,033m<sup>2</sup>) 構造：S造(鉄骨造) 用途：冷凍冷蔵倉庫

## 1. 技術開発の目的と経過

目的：冷凍冷蔵倉庫の冷凍機をR22冷凍機から自然冷媒のCO<sub>2</sub>冷凍機に置き換えることで以下の項目を実現する。新開発の排熱回収機能付きCO<sub>2</sub>冷凍機とCO<sub>2</sub>ブラインチラーを用いて、新技術の有効性を実証する。

- ①R22冷凍機をオゾン層破壊係数0、地球温暖化係数1のCO<sub>2</sub>冷凍機に置き換えることで、カーボンニュートラルの実現に向けた環境性の向上に寄与する。
- ②CO<sub>2</sub>冷凍機の高効率性を生かして年間を通じた省エネを実現する。
- ③新開発のCO<sub>2</sub>冷凍機の排熱回収機能を備えたCO<sub>2</sub>冷凍機を用いて倉庫内のクーラのデフロスト用のブラインを昇温させる熱源に使い、更なる省エネを実現する。
- ④果物を保管する正確な温度管理が必要な冷蔵倉庫に、新開発のCO<sub>2</sub>ブラインチラーを導入し、安定した温度制御と省エネ運転を実現する。

経過：2018年12月～2019年4月 熱負荷計算、冷凍機設計、施工設計

2019年6月～2019年1月 冷凍機製作、設置工事、配管工事

2019年2月～2020年3月 試運転、本格運転開始

2020年4月～2021年3月 運転データ測定

## 2. 設備・システムの概要

### 2-1 センター内の冷凍冷蔵倉庫の仕様

建物名称：芳雄製氷冷蔵株式会社 穂波第1センター

改修対象冷蔵庫合計容量：21,673m<sup>3</sup>

《立体倉庫、立体前室》

保管品：果汁、アイスクリーム、デザート

#### ・改修前の冷凍機仕様

R22冷凍機

- ・立体倉庫 庫内温度-25°C 54m×14.87m×17mH (13,650m<sup>3</sup>)

空冷式R22冷凍機AFS-50SSB(冷却能力46.5kW)×2台(R22冷媒充填量 合計260kg)

- ・立体前室 庫内温度+5°C～+15°C 15m×16.1m×6mH (1,449m<sup>3</sup>)

空冷式R22冷凍機 ERA-150B (冷却能力15kW) × 1台 (R22冷媒充填量 55kg)

• 改修後の冷凍機仕様

CO<sub>2</sub>冷凍機

• 立体倉庫・立体倉庫前室同時冷却 庫内温度-25°C 全室+5°C~+15°C

空冷式CO<sub>2</sub>冷凍機 SG-F2DH (排熱回収機能付き、冷凍・冷蔵同時仕様) × 1台 (冷却能力67.0kW)

空冷式CO<sub>2</sub>冷凍機 SG-F2D (冷凍・冷蔵同時仕様) × 1台 (冷却能力67.0kW)

クーラ 立体倉庫 50kW×2台、立体前室 15kW×2台

《7号冷凍庫、6、7号前室》

保管品：果汁、肉の加工品

• 改修前の冷凍機仕様

R22冷凍機

• 7号冷凍庫 庫内温度 -25°C 25.7m×16m×6.2mH (2,549m<sup>3</sup>)

空冷式R22冷凍機 MSA-300AS (冷却能力 50.9 kW) × 1台 (R22冷媒充填量 合計180kg)

• 6、7号前室 庫内温度+5°C 36.4m×10.5m×4.2mH (1,605m<sup>3</sup>)

空冷式R22冷凍機 ECA-1650B 1 -NSN (冷却能力 16.3kW) × 1台 (R22冷媒充填量 70kg)

• 改修後の冷凍機仕様

CO<sub>2</sub>冷凍機

• 7号冷凍庫、6、7号前室同時冷却

空冷式CO<sub>2</sub>冷凍機 SG-F 2 DH (排熱回収付き冷凍・冷蔵同時仕様) × 1台 (冷却能力67.0kW)

クーラ 7号冷凍庫 25kW×2台、6、7号前室 15kW×3台

《5号、6号冷蔵庫》

保管品：果物、柿の水温保存、野菜

• 改修前の冷凍機仕様

R22冷凍機

• 5、6号前室 庫内温度+5°C 12.2m×16.0m×6.2mH×2室 (合計2,420m<sup>3</sup>)

水冷式R22冷凍機ブラインチラー BCL-40D (冷却能力50.9kW) × 1台 (R22冷媒充填量 合計35kg)

• 改修後の冷凍機仕様

CO<sub>2</sub>冷凍機

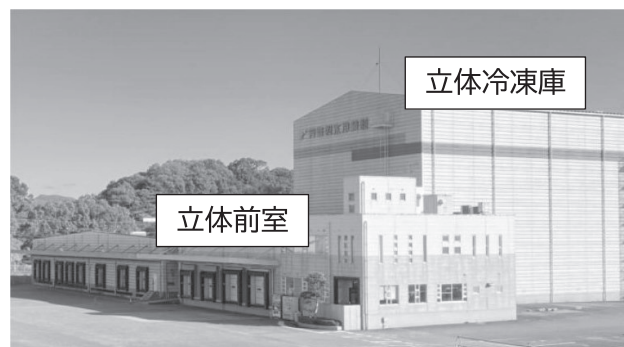
空冷式CO<sub>2</sub>ブラインチラー SG-C 2 B×1台 (冷却能力 87.4kW)

ブラインクーラは既存のものを流用

図1および図2に穂波第1センター全体の平面図と倉庫写真を示す。



図1 穂波第1センター 冷凍倉庫写真



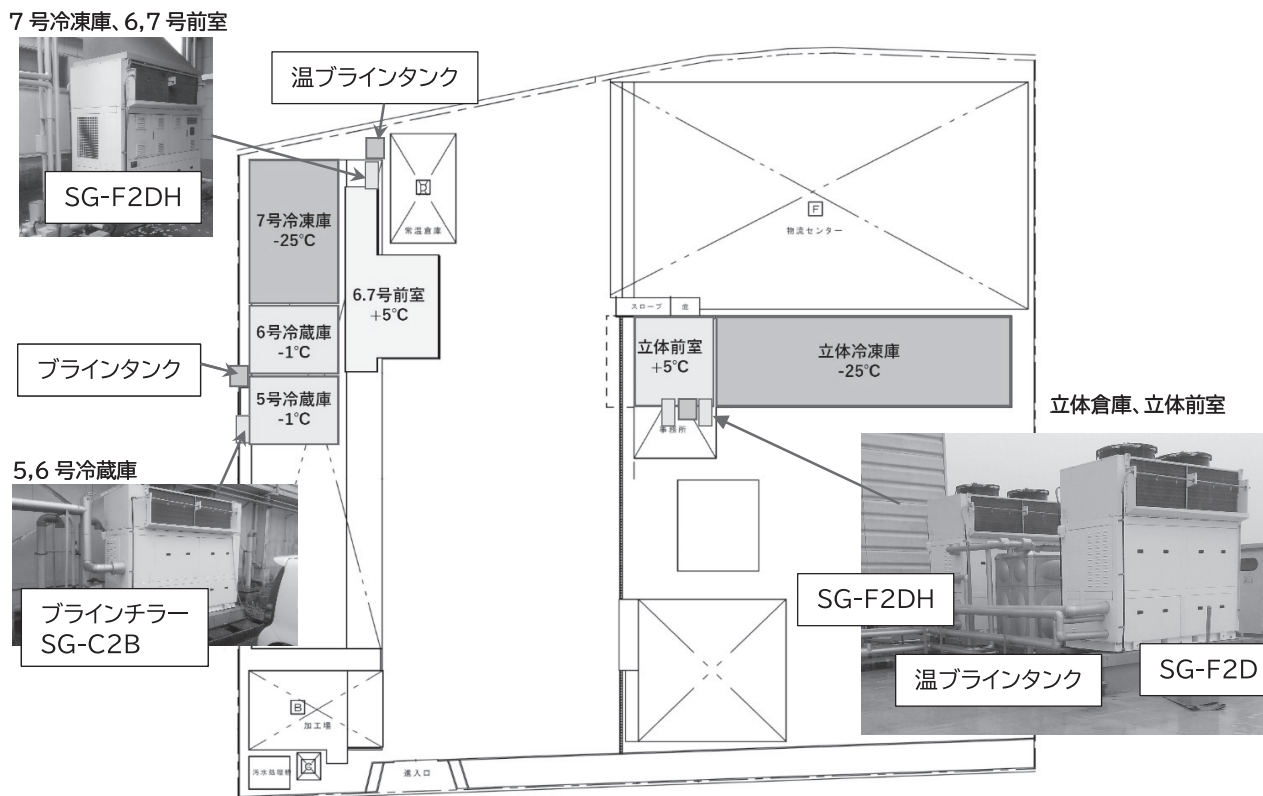


図2 穂波第1センター平面図と冷凍機設置位置

表1 冷蔵庫の規模、庫内温度と、改修前冷凍機と改修後のCO<sub>2</sub>冷凍機の概要

冷蔵庫	庫内容積	庫内温度	改修前 冷凍機	改修後 冷凍機
立体倉庫	13,650 m <sup>3</sup>	-25 °C	空冷式 R22 冷凍機 46.5kW × 2 台	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 空冷式 CO<sub>2</sub> 冷凍機 67.0kW SG-F2DH × 1 台 (排熱回収機能付き、冷凍・冷蔵同時)</li> </ul>
立体前室	1,449 m <sup>3</sup>	+5~+15 °C	空冷式 R22 冷凍機 15.0kW × 1 台	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 空冷式 CO<sub>2</sub> 冷凍機 67.0kW SG-F2D × 1 台 (冷凍・冷蔵同時)</li> </ul>
7号冷凍庫	2,549 m <sup>3</sup>	-25 °C	空冷式 R22 冷凍機 50.9kW × 1 台	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 空冷式 CO<sub>2</sub> 冷凍機 67.0kW SG-F2DH × 1 台 (排熱回収機能付き、冷凍・冷蔵同時)</li> </ul>
6,7号前室	1,605 m <sup>3</sup>	+5 °C	空冷式 R22 冷凍機 16.3kW × 1 台	
5,6号冷蔵庫	2,420 m <sup>3</sup>	-1~+5°C	水冷式 R22 ブラインチラー76.7kW × 1 台	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 空冷式 CO<sub>2</sub> ブラインチラー87.4kW SG-C2B × 1 台</li> </ul>
冷蔵庫合計	21,673 m <sup>3</sup>			

立体倉庫は、高さ17m、容積が13,650m<sup>3</sup>と天井が高い立体自動倉庫となっており、その前室には1,450m<sup>3</sup>の荷捌き室が併設されている。

表1に各冷凍・冷蔵庫の容積、庫内温度、改修前の冷凍機、改修後のCO<sub>2</sub>冷凍機の概要を示す。

## 2-2 CO<sub>2</sub>冷凍機の仕様

日本熱源システム社製のCO<sub>2</sub>冷凍機「スーパーグリーン」を採用

「スーパーグリーン」の特徴は以下の通り。

本案件で導入した機種は以下の3機種。いずれも新開発機種である。

- A：空冷式CO<sub>2</sub>冷凍機 SG-F2DH (排熱回収機能付き、冷凍・冷蔵同時仕様) × 2台 (冷却能力67.0kW × 2)
- B：空冷式CO<sub>2</sub>冷凍機 SG-F2D (冷凍・冷蔵同時仕様) × 1台 (冷却能力67.0kW)
- C：空冷式CO<sub>2</sub>ブライントタンク SG-C2B × 1台 (冷却能力87.4kW)





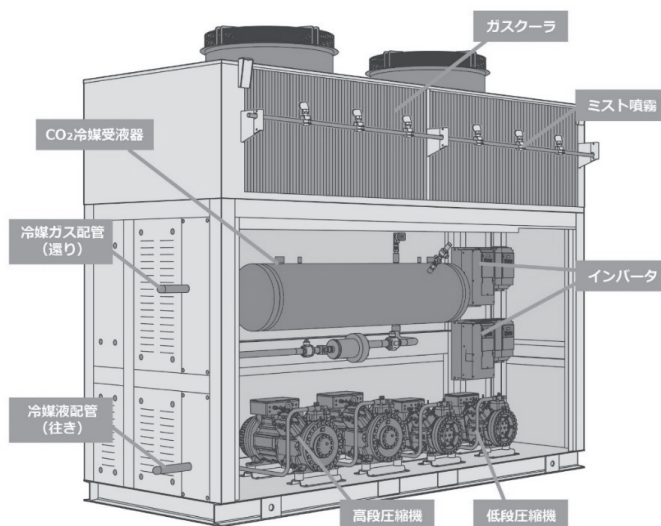
一般財団法人省エネルギーセンター主催  
「2019年度省エネ大賞」  
中小企業庁長官賞（製品・ビジネスモデル部門）受賞

日刊工業新聞社主催  
「第22回オゾン層保護・地球温暖化防止大賞」  
優秀賞受賞 受賞（2019年）  
「第24回オゾン層保護・地球温暖化防止大賞」  
経済産業大臣賞 受賞（2021年）

- オゾン層破壊係数 ODP=0
- 地球温暖化係数 GWP=1
- 年間省エネ率 20~40%を実現
- 無臭・無毒・不燃性で取り扱いが簡単
- 冷媒保有量が80kgと少量（F-2）

### 省エネ運転と安定運転を実現する様々な工夫

「スーパーグリーン」には省エネ運転と安定運転を実現するための様々な工夫を盛り込んでいます。



- **猛暑下でガスクーラにミストを噴霧**  
外気温度が35℃以上になった場合、ガスクーラにミストを噴霧。ガスクーラでの冷却を補助することによって、40℃を超える猛暑下でも安定した運転を実現
- **CO<sub>2</sub>冷媒受液器**  
冷却されたCO<sub>2</sub>冷媒液を常に十分な量保有することで、年間を通して安定した運転を実現
- **全圧縮機をインバータで制御**  
すべての圧縮機をインバータで回転数制御することで、細かな最適制御を実現。確実な省エネを実現
- **高段と低段の独立した圧縮機による二段圧縮**  
高段と低段にそれぞれレシプロ圧縮機を配置。運転条件に合わせて、高段圧縮機と低段圧縮機の容量制御を組み合わせることで、省エネにつながる最適運転を実現

## 3. 着想

### 3-1 《自然冷媒転換による環境性と省エネ性の獲得》

フロン冷媒はオゾン層破壊と地球温暖化への悪影響の観点から、モントリオール議定書によって規制の対象となり、オゾン層を破壊するR22冷媒の全廃が急務となっている。2020年に全廃となったものの、まだ半数近い冷凍冷蔵倉庫で使用されているのが実情である。

代替フロン冷凍機への入れ替えも選択肢ではあるが、2036年までに85%の削減がモントリオール議定書で義務付けられている中、自然冷媒冷凍機への転換は大きな時代の流れとなりつつある。

本案件では、自然冷媒の中でもアンモニアと違って、無毒で安全なCO<sub>2</sub>冷媒冷凍機への転換を選択した。オゾン層破壊係数0、地球温暖化係数1の環境性を達成するのはもちろん、CO<sub>2</sub>の優れた熱伝達特性や体積あたりの運ぶ熱量が高い点を生かして、省エネを図ることを目指す。

具体的には、日本熱源システム製の空冷式CO<sub>2</sub>冷凍機の中でも、新開発の排熱回収機能付き冷凍・冷蔵同時冷却冷凍機と、同じく新開発の空冷式CO<sub>2</sub>ブラインチラーという国内初の新機種を導入して、高い省エネ率の達成を目指す。

### 3-2 《立体倉庫+立体前室》

改修前は立体倉庫を空冷式R22冷凍機46.5kW×2台、立体前室は空冷式R22冷凍機15.0kW×1台の合計3台で冷却していた。

省エネ化を図るため、冷凍と冷蔵を同時に冷やせる新開発の空冷式CO<sub>2</sub>冷凍機を導入した(図3：冷凍・冷蔵同時運転の概要図)。また冷凍機の台数は改修前の3台から2台に減らすこととした。1台当たりの冷却能力は67.0kWで、1台で立体倉庫(冷凍)と立体前室(冷蔵)のすべての負荷が賄えるようにした。猛暑下や冷やし込み段階で2台運転することも可能であるが、通常は日替わりで冷凍機を交互運転するようにした。

SG-F2D型とSG-F2DH型のCO<sub>2</sub>冷凍機に搭載されている4台の圧縮機はすべてインバータ制御され、回転数制御を行うことで、春、秋の中間期、及び冬期に高効率の運転を実現し、年間を通して高い省エネ率を実現することとした。

2台のうちの1台には、排熱回収機能付きとして、倉庫内のクーラのデフロストに使うブラインを昇温するのにCO<sub>2</sub>冷凍機の排熱を用いることで、従来はブラインの昇温に使っていたヒータ分の電気代を削減し、更なる省エネを図ることとした(図4：排熱回収機能付きシステムの概要図)。

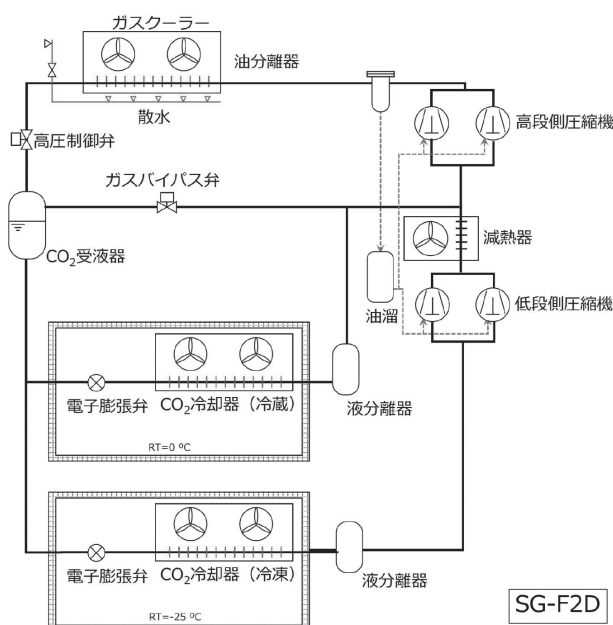


図3 冷凍・冷蔵同時運転の概要図

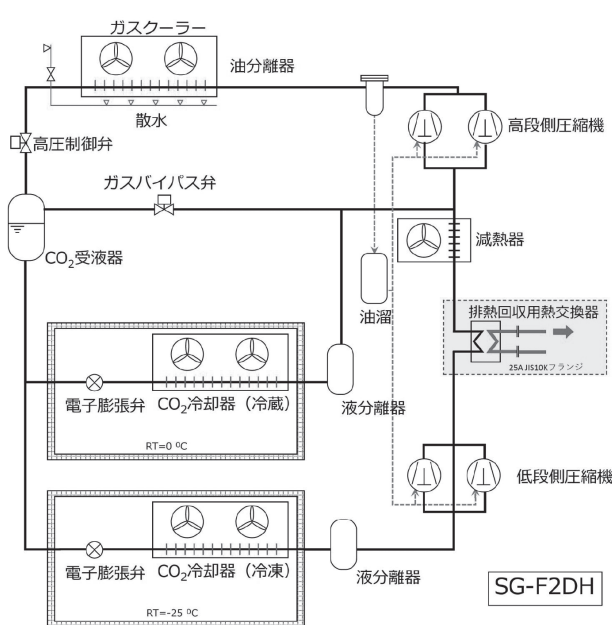


図4 排熱回収機能付きSG-F2DH型

### 3-3 《7号冷凍庫と6、7号前室》

図2の平面図に示すように、7号冷凍庫の前には、6、7号前室がある。

改修前には、7号冷凍庫を空冷式R22冷凍機50.9kW×1台、6、7号前室は空冷式R22冷凍機16.3kW×1台の合計2台で冷却していた。

このため、立体倉庫+立体前室と同様に、排熱回収機能付き冷凍・冷蔵同時冷却の空冷式CO<sub>2</sub>冷凍機SG-F2DH(冷却能力67.0kW)×1台に入れ替えた。

省エネ効果の狙い及びクーラのデフロスト用のブラインの昇温にCO<sub>2</sub>冷凍機の排熱を用いる点は立体倉庫+立体前室と同様である。

### 3-4 《5号、6号冷蔵庫》

5号、6号冷蔵庫は芳雄製水冷蔵株式会社の中でも特別な冷蔵庫で、果物の保管を行う倉庫である。

柿を保管することが多いが、柿は特に厳格な温度管理が求められる。-2℃では凍結してしまい商品としてダメになってしまう一方、温度が高いと熟成が進んでしまい、長期の保管が出来なくなる。それゆえ、-1℃での庫内温度の保持が重要である。

改修前には、水冷式R22ブラインチラー76.7kW×1台で冷却をしていた。

改修では、ブラインチラーをそのまま生かして使うこととし、国内初となる新開発の空冷式CO<sub>2</sub>ブラインチラーSG-C2B×1台（冷却能力87.4kW）に入れ替えることとした。

水冷式では冬期でも水温は一定の温度に保たれるため外気温度低下のメリットの享受が小さいが、空冷式CO<sub>2</sub>ブラインチラーに入れ替えることで、春、秋の中間期、及び冬期に外気温度の下落のメリットを享受でき、高効率の運転を図ることとした。

また水冷式を廃止することで、冷却塔が不要になるとともに、上下水道使用料もゼロにカットすることが出来るなど、災害時でも水の復旧を待たずに、電気の復旧のみで運転を再開できるため、BCP・事業継続性を高めることも視野に入れた。

#### 4. 効果（省エネルギー）

##### 4-1 穂波第1センター全体の年間消費電力量比較

穂波第1センター全体における、改修前のR22冷凍機における消費電力量（濃い色の棒グラフ：2018年4月～2019年3月）と、改修後のCO<sub>2</sub>冷凍機の消費電力量（薄い色の棒グラフ：2020年4月～2021年3月）を各月毎に比較したグラフを図5に示す。

棒グラフの上には、CO<sub>2</sub>冷凍機の消費電力量をR22冷凍機の消費電力量に比した削減率を%で記した。

図中の折れ線グラフは2020年4月～2021年3月までの各月ごとの最高気温の平均値である。

《結果》

年間を通して改修後のCO<sub>2</sub>冷凍機の消費電力量が改修前に比べて削減されているのが分かる。

傾向としては、夏は削減率が比較的小さく、冬は削減率が大きい。

削減率が最も小さいのは8月で11.6%、削減率が最も大きいのは2月で43.0%となっていて、春と秋は22.3%～40.5%の間に分布する結果となった。外気温度が低くなると削減率が大きくなる傾向は一貫していた。

その結果、年間を通しての削減率は**27.8%**となり、省エネ効果を発揮することが出来た。

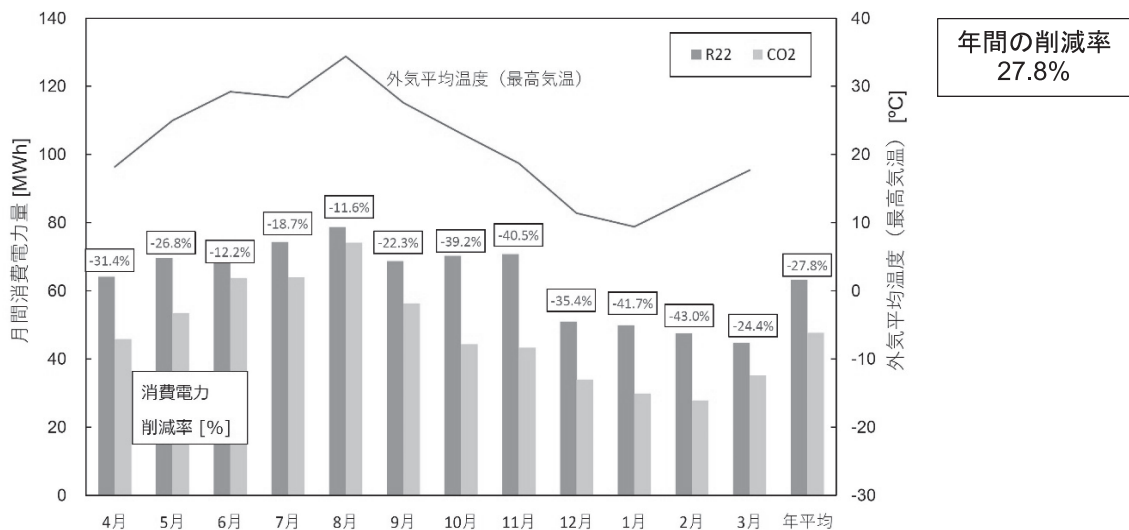


図5 R22冷凍機とCO<sub>2</sub>冷媒冷凍機の各月の消費電力量の比較

なお、各倉庫の比較も試みたが、改修前のデータが穂波第1センター全体のみしか存在せず、比較を断念した。

#### 4-2 各倉庫の消費電力量

一般社団法人・日本冷蔵倉庫協会が公表している全国の冷蔵倉庫の設備トンあたりの年間消費電力量の平均値は、152.8kW/設備トン（2016年）であり、今後削減が進むと見られる中、2030年の目標値を143.6kW/設備トンとしている。この数値を基準に穂波第1センターの各倉庫の設備トンあたりのデータを比較・評価したい。

※設備トン＝倉庫容積 [m<sup>3</sup>]×0.4

##### 4-2-1 《穂波第1センター全体》

穂波第1センター全体のCO<sub>2</sub>冷凍機設備全体の年間消費電力量575.2 MWhと全体の容積（21,673m<sup>3</sup>、8,669設備トン）から求めた値は66.4kWh/設備トンとなった。

##### 4-2-2 《立体倉庫+立体前室》

立体倉庫および前室（倉庫容積合計15,099m<sup>3</sup>、6,040設備トン）における冷凍機設備の年間消費電力（冷凍機、蒸発器含む）は322.1MWhであり、設備トンあたりで求めると53.3kWh/設備トンと低い数値となった。

##### 4-2-3 《7号冷凍庫と6、7号前室》

7号冷凍庫および6、7号前室（倉庫容積合計4,154m<sup>3</sup>、1,662設備トン）での冷凍機設備の年間消費電力は166.2MWhであり、設備トンあたりで求めると100kWh/設備トンとなった。

6、7号前室は後付け設置で床防熱がないため、他の前室よりも侵入する熱が多いこと、また隣接する常温倉庫の荷捌きも行うため、常温の荷物の受け入れやフォークリフトの出入りも多いなど冷却負荷が大きい。そのため100kWh/設備トンとなったが、冷蔵倉庫協会の目標値を十分に下回る結果が得られた。

##### 4-2-4 《5号、6号冷蔵庫》

5号、6号冷蔵庫（2,420m<sup>3</sup>、968設備トン）はチルドルームとして使用しており、冬から春頃までは-1℃にて柿の氷温保存、それ以外の季節は野菜の保存冷蔵庫として利用している。CO<sub>2</sub>ブラインチラーの年間消費電力は85.7MWhであり、設備トンあたりの消費電力は88.5kWh/設備トンと、チラー方式でも高い省エネ性が確認できた。

なお5号、6号冷蔵庫については省エネの達成に加えて、厳格な温度管理が重要な課題であった。庫内の温度の推移について、下記グラフにあるように、冷凍庫内に設置されているブラインクーラに-5.2℃の一定温度でブラインを送液することで、庫内温度は-1℃±0.1℃と高精度で温度が保持されていることが分かる。

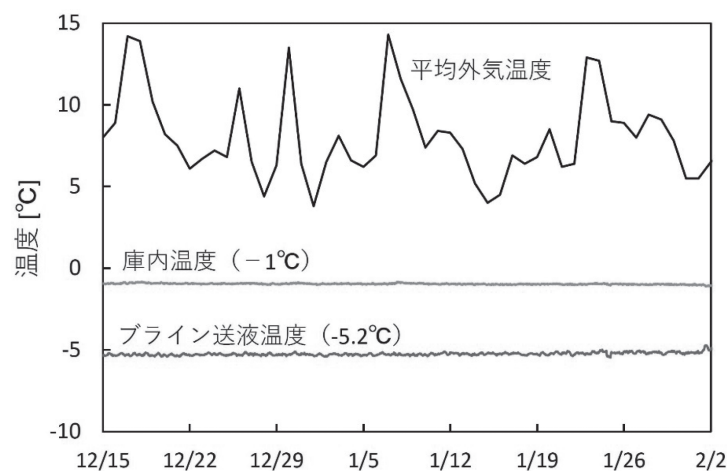


図6 CO<sub>2</sub>ブラインチラーのブライン送液温度と庫内温度  
※2010年12月15日～2021年2月2日までのデータ

### 4-3 排熱回収機能による省エネ効果

本プロジェクトでは2台のCO<sub>2</sub>冷凍機に排熱回収機能を備えて、倉庫内のクーラのデフロストに用いるブラインの昇温を行っている。これによって、本来電気ヒータでブラインを昇温させる消費電力量がゼロにカットできることになる。その効果を検証した。

改修前は立体倉庫+立体前室については、クーラのデフロストは電気ヒータで行っていた。5号、6号冷蔵庫については、温ブラインによるデフロストを行っており、温ブラインのタンクを電気ヒータで昇温していた。芳雄製氷冷蔵株式会社では、改修前の電気ヒータにかかっていた電気料金は年間およそ80万円近くと推定しているが、改修後はCO<sub>2</sub>冷凍機の排熱回収で温ブラインタンクの昇温は賄われており、電気代は発生していない。よって、排熱回収機能によって、**年間約80万円**の電気料金削減がされたと考えられる。

## 5. 投資回収（省マネー）

本案件は環境省の補助金「脱フロン・低炭素社会の早期実現のための省エネ型自然冷媒機器導入加速化事業」を受け、機器と工事費の1/3の補助を受けている。それゆえ、代替フロン機に更新した場合の価格差は補助金によって埋め合わせされており、投資回収という計算はそぐわないと考える。

改修前の設備に比べて、年間28.7%削減された消費電力量をコストに換算すると以下の計算となる。

年間消費電力量の削減  $223.8\text{MWh} = \text{約}425\text{万円}$ （※電気料金19円/kWh）

## 6. 他の建物への応用性・便利性

### 6-1 《排熱回収機能付きCO<sub>2</sub>冷凍機の需要拡大》

本案件の排熱回収機能付きCO<sub>2</sub>冷凍機の初号機を納入したのが、2020年3月だが、本案件で順調に稼働していることを受けて、2020年以降、他の案件での導入が飛躍的に拡大している。

冷凍冷蔵倉庫の経営者の皆様に話を伺うと、倉庫内のデフロストにかかる電気ヒータやブラインの昇温に大きな電気代がかかっていることが悩みの種となっていることが分かった。冷凍機の省エネのみならず、クーラのデフロストも含めたトータルな省エネ提案が求められていることが分かり、2021年の受注では30%の案件が排熱回収機能付きで出荷されていて、今後もその割合は増えていくと見られる。

### 6-2 《CO<sub>2</sub>ブラインチラーによる用途拡大》

本案件で新開発したCO<sub>2</sub>ブラインチラーだが、使いやすさから需要が拡大している。主な用途としては、製氷工場や食品工場で、厳格な温度管理が求められる案件での採用が広がっている。

## 7. 仕様又は開発製品、システム、部品等の仕様

（別紙）CO<sub>2</sub>冷凍機カタログを別紙添付

## 8. 環境保全、便利性等

### 《CO<sub>2</sub>排出量の削減》

図7に穂波第1センターにおけるR22冷凍機からCO<sub>2</sub>冷凍機への更新によって削減されたCO<sub>2</sub>排出量を示す。

消費電力による間接影響分は年間消費電力量とCO<sub>2</sub>排出係数0.445kg-CO<sub>2</sub>/kWhから求めた。

冷媒漏洩による直接影響分は、回収工事前に使用していたR22冷凍機全体の冷媒充填量600kg、またGWP1810より、年間漏洩率を17%として計算した。

年間のCO<sub>2</sub>排出量の削減効果は、283.1トン-CO<sub>2</sub>/年、削減率は52.5%となった。

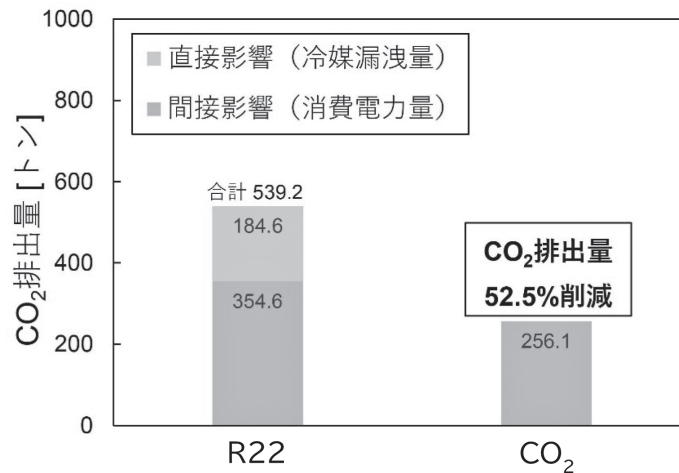


図7 CO<sub>2</sub>排出削減量

※間接影響 CO<sub>2</sub>排出係数 0.445kg-CO<sub>2</sub>/kWhで計算

※直接影響 R22冷凍機冷媒量 600kg、漏洩率17%、R22 GWP値1810で計算

## 9. 工夫した点、発想した点、創作した点、新しい点等、設備の特徴

### 《下吹きクーラの採用》

倉庫内のクーラについて、下吹きダクト付きをギュントナー社と開発し（図8）導入した。下吹きクーラは冷気を上部から下部にゆっくり落とすことによって、倉庫内に自然対流を起こさせ冷気を循環させる。冷気は床面で跳ね返らないように、ゆっくり壁面に沿って吐き出され、その後床面を這うように流れる。クーラのファンはインバータ制御で低速回転できるECファンが用いており、回転数を絞ることでクーラ側でも省エネを実現できた。



図8 下吹きダクト付き蒸発器

## 10. 市場性、販売状況、適応市場の大きさ、競合品又はシステムとの比較、販売実績（国内、外）等

### 《市場性と販売状況》

日本熱源システムでは、2016年からCO<sub>2</sub>冷凍機の製造を開始し、これまでに南は鹿児島県から北は北海道まで100案件以上、合計で350台超を納入してきた。

案件によって幅はあるものの、省エネ率は従前のフロン機に比べて20-40%の範囲を達成していて、それが評判となり普及が拡大する状況になっている。

またCO<sub>2</sub>は万が一漏洩してもアンモニアのような毒性は無く安全なこと、フロンガス規制法の処罰対象にならないことも、採用しやすさにつながっていると見られる。

2020年から2021年にかけて日本政府が2050年までのカーボンニュートラルの実現や、2030年までの温室効果ガス46%削減を宣言したのに呼応して、市場の自然冷媒冷凍機への関心は益々高まっていて、日本熱源システムにおける2022年以降のCO<sub>2</sub>冷凍機の引き合いは、大幅な増加傾向にある。

用途も冷凍冷蔵倉庫や物流センターだけでなく、冷凍食品の凍結製造ラインや、マーガリンやアイスクリームの製造ライン、ビール工場の冷却ライン、製菓工場、化学工場にも広がってきている。

製品ラインナップも、冷凍冷蔵倉庫用のタイプF、タイプCを基本に、冷凍食品の凍結ライン用のタイプFF、ブラインチラーと広げていて、それに付属する排熱回収機能や、冷凍・冷蔵同時冷却など派生シリーズの充実も図り、顧客ニーズに対応していく。

製品の1台あたりの冷却能力も数年前まで標準機のF-2機が67.0kWだったが、その後F-3機102.0kW、F-4機160.0kWを新発売した。大型案件が増える中、冷凍機の台数を減らすメリットが生まれることから、現在ではF-3、F-4の大型機が販売の半分以上を占めるようになっている。今後は250.0kWクラスのF-5機の開発に着手している。

#### 《適応市場の大きさ》

産業用冷凍機の国内市場は、年間で数千台以上の市場規模があると推定されるが、アンモニアやCO<sub>2</sub>などの自然冷媒冷凍機の販売台数は年間400-500台程度（小型機を除く）と見られる。日本熱源システムの年間の出荷台数は100-120台なので、シェアとしては20-30%ではないかと推測している。日本熱源システムは、中型クラスのCO<sub>2</sub>冷凍機としては、最も納入実績が多いと見られる。

今後カーボンニュートラルの実現や温室効果ガス削減の流れは加速するとみられ、産業用の低温分野ではフロン機から自然冷媒冷凍機への転換も加速すると予測される。

#### 《競合品との比較》

自然冷媒冷凍機をめぐっては各社開発にしのぎを削っていて、新製品も発表されている。主なものは次の通り。性能面での比較は他社データが分からないのでここでは行わない。各社の新製品発売によって自然冷媒冷凍機の市場は今後更に拡大していくとみられる。

会社名	製品名	冷媒	冷却能力	特徴
前川製作所	ニュートン	アンモニア/CO <sub>2</sub>		トップシェア
前川製作所	コベル	CO <sub>2</sub>		
パナソニック	コンデンシングユニット	CO <sub>2</sub>	10、20、80馬力	80馬力を2020年発売
三菱重工冷熱	CLTS	アンモニア/CO <sub>2</sub>		
三菱重工冷熱	C-puzzle	CO <sub>2</sub>	10、20、40、80馬力	80馬力を2021年発売
長谷川鉄工	NiCRES	アンモニア/CO <sub>2</sub>		

#### 《海外展開》

2020年にマレーシアに初号機を納入し、順調に稼働している。東南アジア各国の冷凍設備会社からの問い合わせも増えており、複数のプロジェクトが進行中である。

#### 《受賞》

2019年日刊工業新聞主催「オゾン層保護・地球温暖化防止大賞・優秀賞」

2019年省エネルギーセンター主催「省エネ大賞・中小企業庁長官賞」

2021年日刊工業新聞主催「オゾン層保護・地球温暖化防止大賞・経済産業大臣賞」

## 11. 外観



穂波第1センター外観



排熱回収機能付きCO<sub>2</sub>冷凍機とブライントーク

## 12. 講評

冷凍倉庫（ $-25^{\circ}\text{C}$ ）、前室、冷蔵庫など合計容積 $21,672\text{m}^3$ の冷凍設備を、R22空冷冷凍機とR22ブライントーク冷凍機によるシステムからCO<sub>2</sub>空冷冷凍機とCO<sub>2</sub>ブライントーク冷凍機へ更新した事例である。冷媒の地球温暖化係数の低減が急がれている状況において、自然冷媒冷凍機の導入により省エネ効果をあげた点が高く評価された。冷凍機に熱回収機能を付加して低温倉庫のデフロストに利用したこと、下吹きクーラによる自然対流循環の工夫なども興味深い。従来の代替フロン冷媒の転換対応として、自然冷媒としてはアンモニア冷媒も有力であるといわれているが、アンモニア冷媒との比較検討もあると良いとの意見もあった。