

●(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CO₂冷凍機とCO₂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：7,900m²(対象部分 2,033m²) 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CO₂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CO₂冷凍機とCO₂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CO₂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。
- ②CO₂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CO₂冷凍機の排熱回収機能を備えたCO₂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CO₂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：21,673m³

《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 (13,650m³)

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 (1,449m³)

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

CO₂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CO₂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CO₂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 (2,549m³)

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 (1,605m³)

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

CO₂冷凍機

• 7号冷凍庫、6、7号前室同時冷却

空冷式CO₂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2,420m³)

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

CO₂冷凍機

空冷式CO₂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。

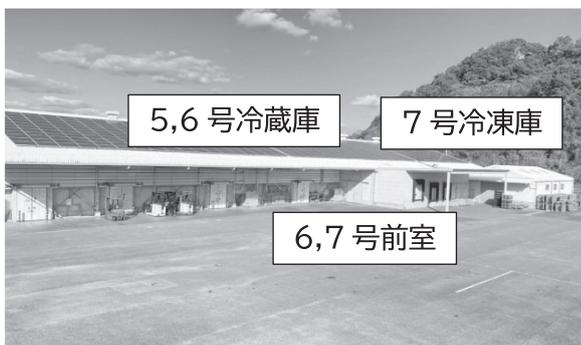
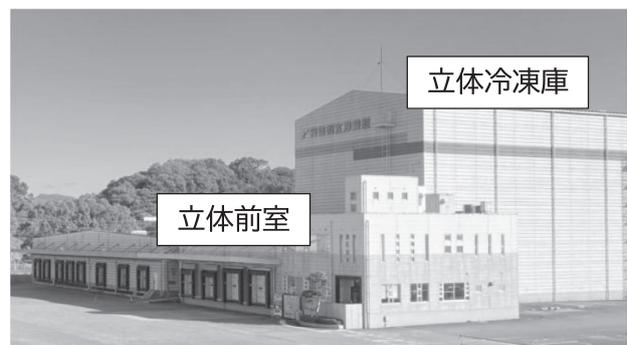


図1 穂波第1センター 冷凍倉庫写真



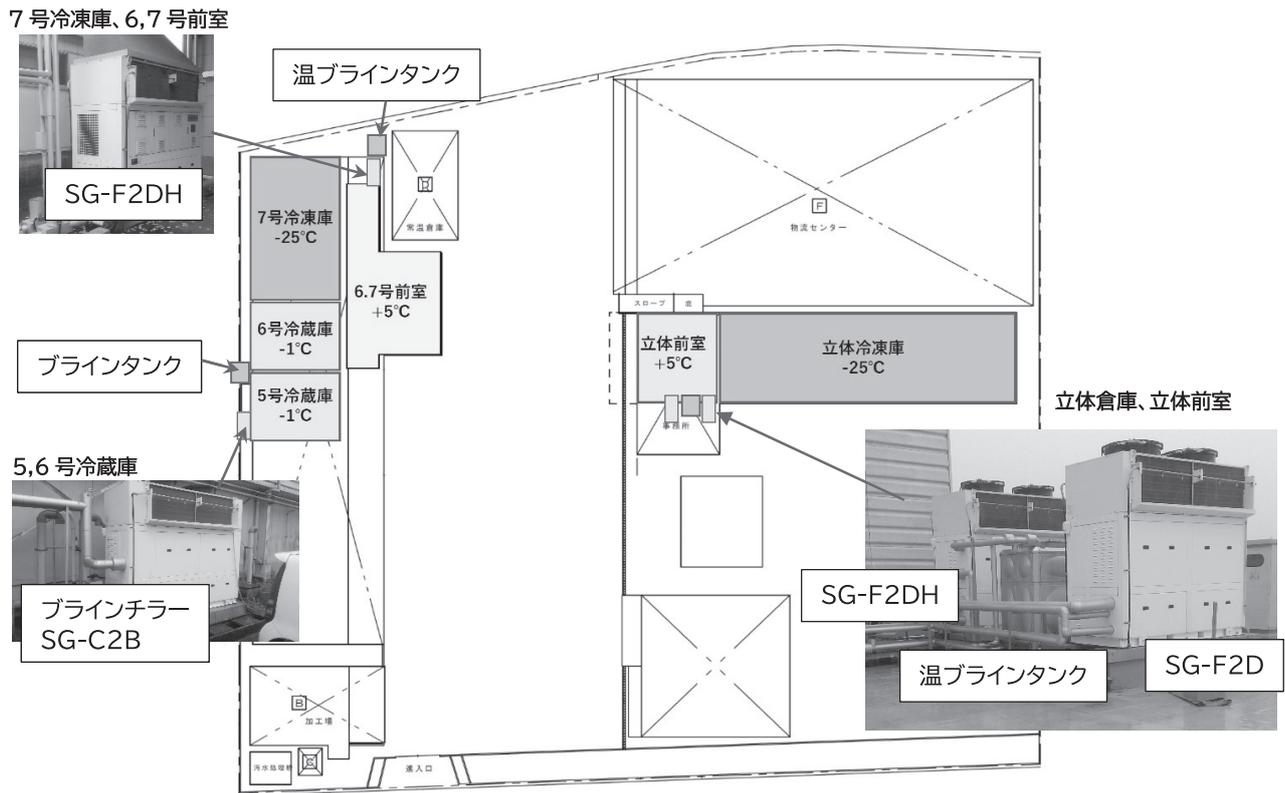


図2 穂波第1センター平面図と冷凍機設置位置

表1 冷蔵庫の規模、庫内温度と、改修前冷凍機と改修後のCO₂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 ³	-25 °C	空冷式 R22 冷凍機 46.5kW × 2 台	<ul style="list-style-type: none"> ■ 空冷式 CO₂ 冷凍機 67.0kW SG-F2DH × 1 台 (排熱回収機能付き、冷凍・冷蔵同時)
立体前室	1,449 m ³	+5~+15 °C	空冷式 R22 冷凍機 15.0kW × 1 台	<ul style="list-style-type: none"> ■ 空冷式 CO₂ 冷凍機 67.0kW SG-F2D × 1 台 (冷凍・冷蔵同時)
7号冷凍庫	2,549 m ³	-25 °C	空冷式 R22 冷凍機 50.9kW × 1 台	<ul style="list-style-type: none"> ■ 空冷式 CO₂ 冷凍機 67.0kW SG-F2DH × 1 台 (排熱回収機能付き、冷凍・冷蔵同時)
6,7号前室	1,605 m ³	+5 °C	空冷式 R22 冷凍機 16.3kW × 1 台	
5,6号冷蔵庫	2,420 m ³	-1~+5°C	水冷式 R22 ブラインチラー76.7kW × 1 台	<ul style="list-style-type: none"> ■ 空冷式 CO₂ ブラインチラー87.4kW SG-C2B × 1 台
冷蔵庫合計	21,673 m ³			

立体倉庫は、高さ17m、容積が13,650m³と天井が高い立体自動倉庫となっており、その前室には1,450m³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CO₂冷凍機の概要を示す。

2-2 CO₂冷凍機の仕様

日本熱源システム社製のCO₂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CO₂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CO₂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CO₂ブライントank SG-C2B × 1台 (冷却能力87.4kW)



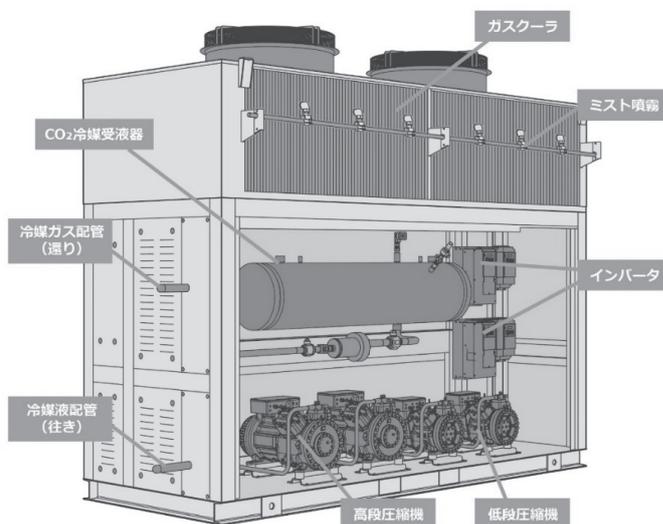
一般財団法人省エネルギーセンター主催
「2019年度省エネ大賞」
中小企業庁長官賞（製品・ビジネスモデル部門）受賞

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

■ **CO₂冷媒受液器**
冷却されたCO₂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CO₂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、CO₂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CO₂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CO₂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。

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CO₂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CO₂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CO₂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、CO₂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CO₂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。

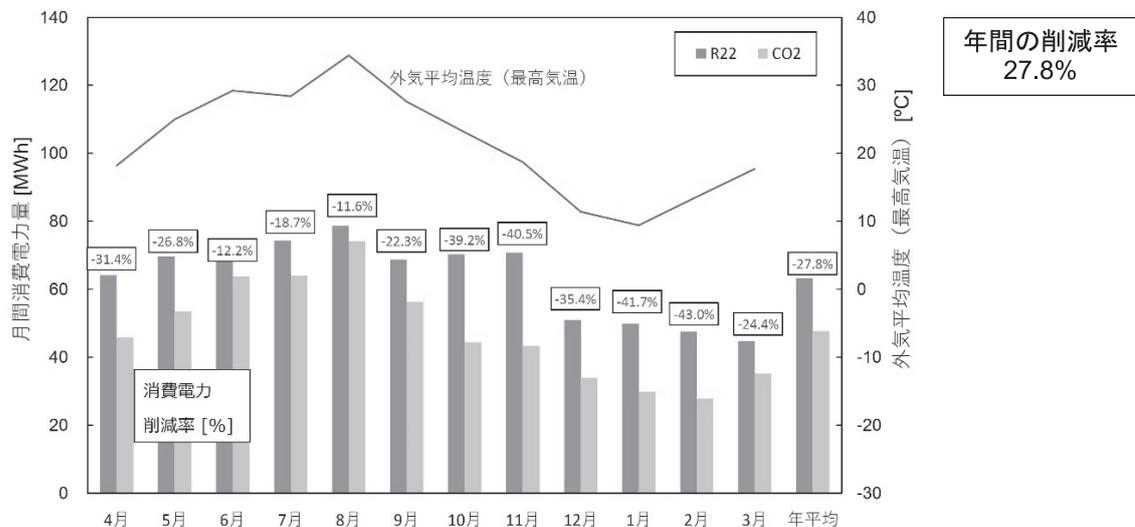


図5 R22冷凍機とCO₂冷媒冷凍機の各月の消費電力量の比較

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 [m³]×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CO₂冷凍機設備全体の年間消費電力量575.2 MWhと全体の容積（21,673m³、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15,099m³、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4,154m³、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（2,420m³、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。CO₂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。

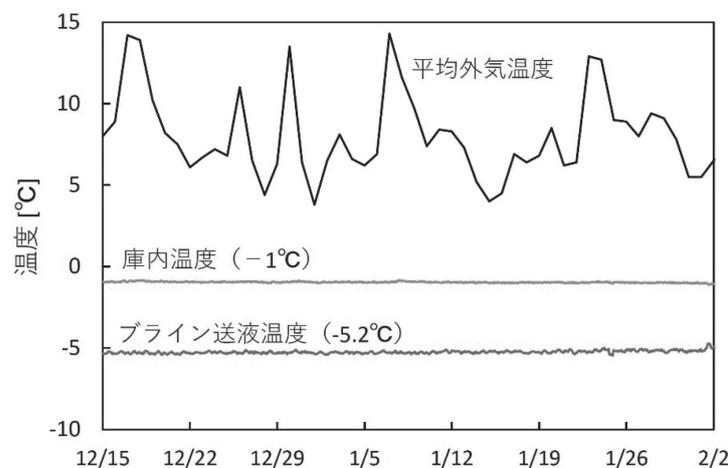


図6 CO₂ブラインチラーのブライン送液温度と庫内温度
※2010年12月15日～2021年2月2日までのデータ

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CO₂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CO₂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CO₂冷凍機の需要拡大》

本案件の排熱回収機能付きCO₂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 《CO₂ブラインチラーによる用途拡大》

本案件で新開発したCO₂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）CO₂冷凍機カタログを別紙添付

8. 環境保全、便利性等

《CO₂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CO₂冷凍機への更新によって削減されたCO₂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CO₂排出係数0.445kg-CO₂/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CO₂排出量の削減効果は、283.1トン-CO₂/年、削減率は52.5%となった。

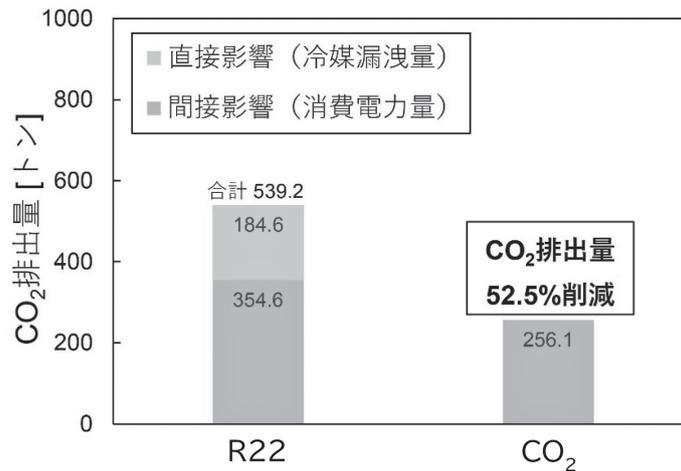


図7 CO₂排出削減量

※間接影響 CO₂排出係数 0.445kg-CO₂/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CO₂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CO₂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CO₂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、製薬工場、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CO₂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CO₂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 ₂		トップシェア
前川製作所	コベル	CO ₂		
パナソニック	コンデンシングユニット	CO ₂	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 ₂		
三菱重工冷熱	C-puzzle	CO ₂	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 ₂		

《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CO₂冷凍機とブライントank

12. 講評

冷凍倉庫（-25℃）、前室、冷蔵庫など合計容積21,672m³の冷凍設備を、R22空冷冷凍機とR22ブライントank冷凍機によるシステムからCO₂空冷冷凍機とCO₂ブライントank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。