

●(一社)日本冷凍空調設備工業連合会優秀賞●改修設備部門

ブライントーボ冷凍機を用いた 既設DBS冷却設備の省エネ化

設備施工者：三菱重工冷熱株式会社

設備所有者：神奈川柑橘果工株式会社

建物の概要

名称 神奈川柑橘果工株式会社 本社工場（第2工場）

所在地 神奈川県足柄上郡山北町岸716番地

概要 建家：地上2階 延床面積：2,527m² 構造：鉄骨造 用途：炭酸飲料生産

1. 技術開発の目的と経過

目的：老朽化設備の更新と消費電力削減を目的として、既設水冷式ブラインチラーをブライントーボ冷凍機に更新することで、省エネルギー化とCO₂排出量削減を目指した。

経過：平成27年（提案、設計等）：既設DBS設備の熱源機更新の検討において、単純な能力合わせの更新ではなく、省エネ性に優れたブライントーボ冷凍機「ETI-ZE25」への更新を提案した。また、同機は環境負荷が極めて低いHFO-1234ze(E)を採用しており、冷媒の将来性においてもメリットが大きい。最適運用とするために既設設備の運転パターンや冷却負荷熱量を把握し、システム設計を行った。また、既設熱源機との消費電力比較を行い、想定される省エネ性を試算した。

令和3年1月（試運転、引渡し等）：1月中旬に試運転を実施し、同月下旬に引渡しを完了した。その後、計測された消費電力データを用いて運転状況の分析を行い、省エネ効果を検証した。

2. 設備・システムの概要

1) 既設設備の概要

- ・本社工場内第2工場において炭酸飲料の生産に用いられているDBSユニットの冷却用熱源機として、1990年にスクリー式ブラインチラーが納入された（冷却能力534kW（CT：40℃、CSST：-7℃）、使用冷媒R22）。なお、DBSユニットとは処理水の脱気（Deaerator）、シロップとの定比率混合（Blender）、炭酸ガス圧入（Saturator）を1つのユニットで可能とする装置である。
- ・本工場では大手飲料メーカーなどのブランドオーナーから委託された多品種・多容器の飲料を生産しているため、負荷条件は生産品目によって異なるが、一例を挙げると初期温度30℃の製品を4℃まで冷却し、処理量は15,000Lit/Hr（500ml缶×30,000本/Hr）程度となる。

2) 改修設備の概要

- ・今回の改修では、図1に示すDBSユニット以外のすべてを更新した。冷却水配管とブライン配管は一部既設流用とした。
- ・二槽式ブライントークの高温側にある+1.5℃のブラインは、ブライン循環ポンプ（P2）によってブライントーボ冷凍機（以下、ブライントーボ）へ供給され、-1.5℃に冷却された後、タンクの低温側へ還る。この-1.5℃のブラインは、ブライン送りポンプ（P3）の吸い込み側で+1.5℃のブラインと混合され、-1

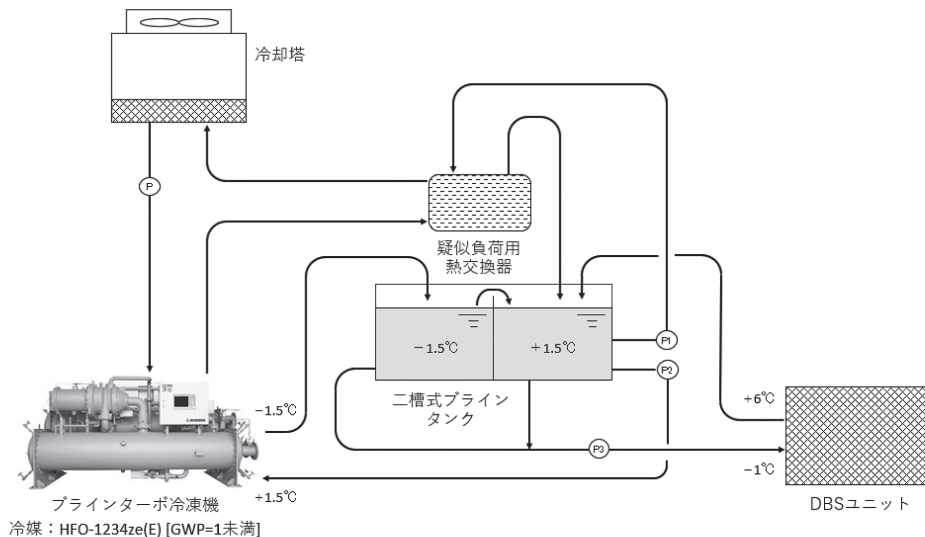


図1 設備フロー概要

℃でDBSユニットへ送られる。このブラインはDBSユニットで+6℃に昇温し、タンクの高温側へ戻る。

- ・ブライン送りポンプ (P3) の流量に対し、ブラインターボ用ブライン循環ポンプ (P2) の流量を約1.5倍とすることで、二槽式ブラインタンク内で低温側から高温側へオーバーフローさせる設計とした。
- ・生產品目の切り替え時は超低負荷状態となるが、都度冷凍機を停止すると立ち上がり時間に時間を要し生産効率が落ちる。このことへの対策としてブラインターボに超低負荷オプションを付加した他、さらなる低ロード条件を考慮して疑似負荷用熱交換器を用いた冷却水からの熱回収システムを導入した（詳細は第9章に後述）。

3. 着想

- ・要求された冷凍能力とブライン送り温度が、三菱重工サーマルシステムズ製ブラインターボ冷凍機「ETI-ZE25」の仕様に合致した。計画段階では汎用スクルー式ブラインチラー案も比較検討したが、イニシャルコストは抑えられるものの、機器台数が2台になること、ならびに運転効率において不利であった。さらには使用冷媒のGWPにも優位性が認められず、見送りとなった。一方、同ブラインターボは省エネ性と冷媒の将来性の両面においてメリットが期待できるため、検討を進めた。
- ・各能力表に基づき試算した結果、ブラインターボの採用によって省エネルギー効果とCO₂排出量削減効果が見込まれた。これに加え、低GWP冷媒であるHFO-1234ze (E) がもたらす環境面への配慮が顧客ニーズを汲み取る結果となり、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CO₂削減効果の試算（計画）

- ・既設ブラインチラーとブラインターボについて、1ヶ月あたり176時間（8時間/日×22日）、年間2,112時間稼働するものとして、下記方法によって省エネルギー効果とCO₂削減効果を試算した。なお、各消費電力には補機類（ポンプ、冷却塔）も含む。
- ・改修設備は熱回収システムの導入によって既設設備よりポンプ台数が増え、消費電力は増加傾向にあるが、ブラインターボ本体の省エネ性が高いことから、全体での消費電力は約20%の減少が予想された。
- ・既設ブラインチラー消費電力 : 381.7MWh/年
- ・ブラインターボ消費電力 : 298.4MWh/年

◇省エネルギー効果（原油換算）の試算

- ・既設ブラインチラー : 94.7kL [=381.7MWh×(0.257kL/MWh+0.239kL/MWh)÷2]
- ・ブラインターボ : 74.0kL [=298.4MWh×(0.257kL/MWh+0.239kL/MWh)÷2]
※各稼働時間割合は、昼夜で各50%と仮定
- ・省エネルギー効果_原油換算 : 20.7kL [=94.7kL-74.0kL]
※削減率21.9%

◇CO₂削減効果の試算

- ・既設ブラインチラー : 168.3ton [=381.7MWh×0.441kg-CO₂/kWh]
- ・ブラインターボ : 131.6ton [=298.4MWh×0.441kg-CO₂/kWh]
※CO₂排出係数は、東京電力エナジーパートナー(株)による2020年度の値を使用
- ・CO₂排出削減量 : 36.7ton [=168.3ton-131.6ton]
※削減率21.8%

2) 省エネルギー効果（原油換算）およびCO₂削減効果の実証結果

- ・表1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。実績は、改修前の既設ブラインチラーが2020年1月～同年12月、改修後のブラインターボが2021年6月～2022年5月の実測値に基づく。なお、稼働時間がそれぞれ3,617時間、4,813時間と異なるため、改修後のブラインターボは稼働時間を3,617時間としたときの消費電力を比例計算で求めて使用した（計画の稼働時間は前述のとおり2,112時間）。
- ・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。なお、計画での試算と同じく、各消費電力には補機類（ポンプ、冷却塔）も含む。

表1 省エネルギー・CO₂削減効果の計画と実績の比較

計 画							
既設チラー 消費電力	ブラインターボ 消費電力	電力削減量 原油換算	原油換算 削減率	既設チラー CO ₂ 排出量	ブラインターボ CO ₂ 排出量	CO ₂ 排出 削減量	CO ₂ 排出 削減率
[MWh]	[MWh]	[kL]	[%]	[ton]	[ton]	[ton]	[%]
381.7	298.4	20.7	21.9	168.3	131.6	36.7	21.8

実 績							
既設チラー 消費電力	ブラインターボ 消費電力	電力削減量 原油換算	原油換算 削減率	既設チラー CO ₂ 排出量	ブラインターボ CO ₂ 排出量	CO ₂ 排出 削減量	CO ₂ 排出 削減率
[MWh]	[MWh]	[kL]	[%]	[ton]	[ton]	[ton]	[%]
508.1	331.7	43.8	34.7	229.7	149.9	79.8	34.7

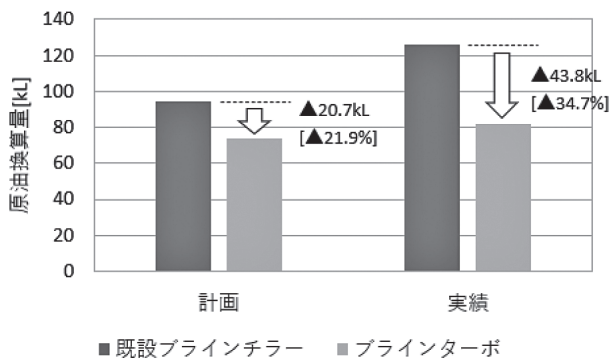


図2 省エネルギー効果実績

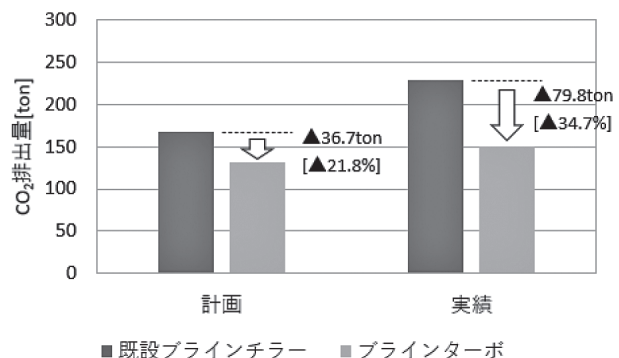


図3 CO₂削減効果実績

- ・改修前と改修後の生産品目を比較すると、改修後の方が冷却負荷の大きい製品が多かった。しかし、それにも関わらずブライントーボへの更新によって年間で約43.8kL（原油換算）の省エネルギー効果と、約79.8tonのCO₂排出削減効果が得られたことが確認できた。
- ・計画と実績の比較は稼働時間が異なるため削減率の比較のみとなるが、省エネルギー効果とCO₂削減効果のいずれにおいても実績が計画より約13ポイント大きい結果となった。
- ・実績において省エネに寄与したと考えられる要素としては、各ブライン温度が計画値より高い設定で運用されたことが挙げられる。特に、ブライントーボのブライン出口温度設定が計画の-1.5℃より高く、2021年11月～2022年3月では-1.3℃～+1.4℃、2022年4月～2022年6月では-0.2℃～+1.3℃であったことから、消費電力が計画値より低下したと推察される。
- ・各ポンプをインバータ制御としたことも省エネに寄与したと考えられる。ブライントーボの補機類消費電力は、計画では定格値に基づき53kWhとしたが、実績では平均37kWh（▲30.2%）となった。
- ・以上のとおり、ブライントーボ本体の高い省エネ性と、補機類を含めた熱源システムの最適な制御方式の構築によって、期待した効果を上回る結果が得られた。

5. 費用対効果

- ・今回得られた改修前後における運用データに基づく試算では、ブライントーボの採用によって実績ベースで年間約530万円の電気代削減が見込まれる結果となった。

6. 他の建物への応用性

- ・DBSユニットを用いて炭酸飲料を生産している比較的大規模な事業所においては、今回採用したブライントーボ（ETI-ZE25）を用いた熱源システムの応用が期待できる。
- ・ETI-ZE25は最も小型の機種であり、同シリーズの大型機を用いれば1,000kW以上の冷却負荷にも対応できる。
- ・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十分な現状把握を行い、周辺設備を含めたシステム全体の適正化が肝要となる。

7. 仕様

- ・表2にブライントーボの仕様をまとめる。
- ・本機は低GWP冷媒のHFO-1234ze(E)を採用しており、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に比べて冷媒体積が約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ってコンパクト化されている。

表2 ブライントーボ仕様

1. 基本仕様

冷凍機形式	ETI-ZE25
適用法規	高圧ガス保安法、冷凍保安規則
冷凍能力	520kW
設置場所/雰囲気	屋内/非防爆
冷媒	HFO-1234ze(E)
法定冷凍能力	96 冷凍トン

2. ブライン・冷却水仕様

ブ ラ イ ン	入口温度	1.5℃
	出口温度	-1.5℃
	流量	153.5m ³ /h
冷 却 水	入口温度	30℃
	出口温度	35℃
	流量	107.9m ³ /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	115.1kW
インバータ入力	127.5kW

- ・ 一体搬入により指定設備となり、第2種製造者（届出設備）とすることができる。また、運転に関する有資格者が不要となる。
- ・ ブラインターボは遠心式圧縮機を採用しており、容積式圧縮機に比べて高圧を下げた低圧縮比での運転が可能となる。したがって、冬期は冷却水温度を外気温にしたがい成り行きで下げると高いCOPで運転できるという特徴がある（仕様下限値12℃）。

8. 環境保全

- ・ 「4. 効果（省エネルギー）」に記載のとおり、1年間で原油換算43.8kLの省エネルギー効果が得られた。

9. 工夫した点、発想した点、設備の特徴等

- ・ 改修設備では疑似負荷用熱交換器を用いた冷却水からの熱回収システムを導入し（図1）、超低負荷時への対応、ブラインターボ発停回数制限回避、高効率システムの構築を狙った。以下に順を追って特徴を記す。

1) 超低負荷対応

- ・ 製品切り替え時などで生じる超低負荷時において、冷却水から熱回収してブラインターボに疑似負荷を与えることにより、都度ブラインターボを停止する必要がなくなる。このことにより、次の生産開始までにかかる立ち上がり時間を大幅に短縮でき、生産効率の向上が実現できる。

2) 発停回数制限の回避

- ・ ブラインターボを含むターボ冷凍機は、圧縮機の特性上1日あたりの発停回数が制限されており、発停過多は故障や機器寿命低下の原因となる。上記の「超低負荷対応」で述べたとおり、疑似負荷用熱交換器の導入によって発停回数を減らすことができるため、機械保護の観点でも有効となる。

3) 高効率システムの構築

- ・ ブラインターボを効率よく運転するためには負荷の安定化が肝要であり、1つの要因としてブライン温度の変動（負荷変動）を小さくすることが重要となる。ブライン温度の急激な変化は、液圧縮やサージングなど不安定な冷凍機制御に繋がる（冷却水側も同様であるが、単位時間当たりの変動が大きいブライン温度に焦点を絞る）。
- ・ 対策として、既設備での運用状況を入念に調査し、温度バッファとしての役割を十分に果たせる容積のブラインタンクを選定した。ところが、設置スペースが限られており当該タンクを小さくせざるを得なかったため、疑似負荷用熱交換器によってタンク容積の不足分を補い、急激な温度変動の抑制を目指した。具体的には、ポンプインバータと流量調整弁によって熱交換流量をPID制御する設計とした。

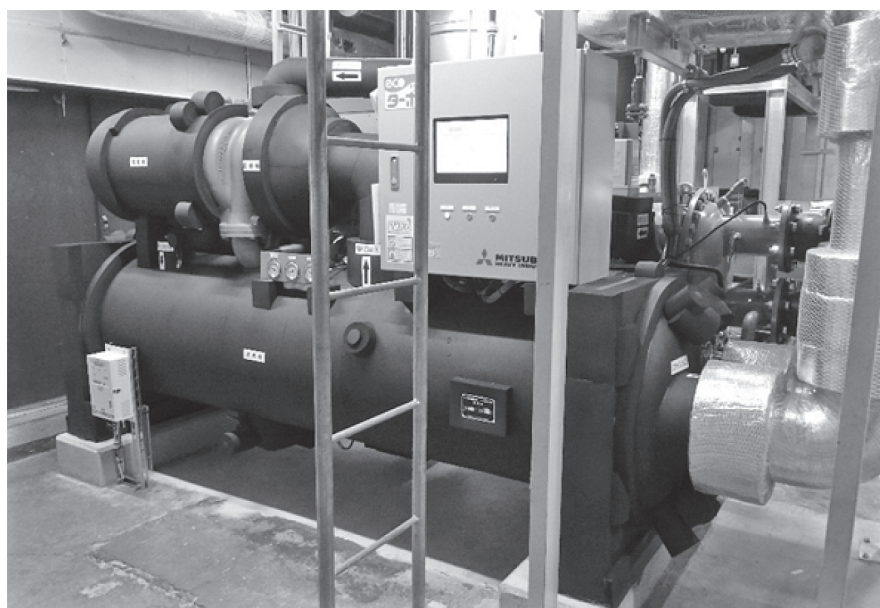
10. 市場性等

- ・ ブライン温度-1℃程度の場合では、汎用スクルー式ブラインチラーだけでなくブラインターボでも対応可能であり、効率ではブラインターボに優位性がある。省エネルギー効果とCO₂排出削減効果は昨今の社会的課題であり、両面において市場性が高いと考える。
- ・ また、低GWP冷媒の採用は、今回の設備所有者のような環境保全に積極的に取り組む企業の理念に沿ったものであり、今後ニーズの増加が見込まれる。

11. 外観



設備外観



ブライントーボ冷凍機外観

12. 講評

老朽化設備の更新という一見単純な改修工事において、ブライントークを用いるなどの低負荷対応、運転条件に適切に対応できる制御システムを導入して省エネ、CO₂排出量削減効果を挙げた。冷媒としてGWP1以下のHFO冷媒を採用したことも地球温暖化ガス排出量削減強化の動きの中で、低温冷却用設備の改修や更新工事の参考になる事例であると評価された。

低負荷対応は省エネ化の有力な手法であるが、特に改修工事において、既存施設の運用やニーズを検討することによって大きな省エネ化への道筋が見える場合が多い。適切な低負荷対策を検討・導入することの重要性を示した好事例と考えられる。