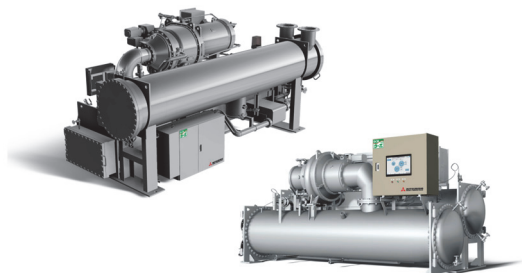


低 GWP 冷媒採用の超低負荷対応インバーターボ冷凍機を用いた食品用プロセス冷却の最適化

Optimization of Foods Process Cooling System Using Optimal Controlled Variable Speed Centrifugal Chiller Applied Low Global Warming Potential Refrigerant



山添 耕平*1
Kohei Yamazoe

坂井 正頌*2
Masanobu Sakai

谷 智*3
Satoru Tani

飛田 善徳*3
Yoshinori Hida

地球温暖化防止を背景とした冷媒規制動向やフロン排出抑制法の施行を受けて低 GWP 冷媒（ノンフロン）冷凍機のニーズが高まっている。一方、冷凍機の使用用途先の一つである食品工場プロセス冷却設備では、短時間で急激に負荷が変動するバッチ運転により冷凍機が負荷に追従できない、発停過多となる問題が生じることがあった。そこで三菱重工サーマルシステムズ(株)（以下、当社）では超低負荷対応インバーターボ冷凍機を採用した温度差利用2段冷却システム、排熱回収（温水供給）システム等の導入により、負荷変動時でも安定的な連続運転を可能にする高効率システムの納入を推進している。

1. はじめに

従来から食品工場プロセス冷却設備では、負荷に追従できず出口冷水温度が不安定になり、冷凍機が起動・停止を繰り返す発停過多を発生することが問題であった。そのため、ラインごとに異なる運転状態を分析し、納入先の運転状況に応じた最適なプラントシステムを提案している。製造プロセスで生じる大温度差を利用した2段冷却システムや冷凍機排熱を回収し温水利用をすることで従来の製造プロセスで使用する蒸気使用量を削減した熱回収システム、冷却塔フリークーリング（FC:Free Cooling）の導入により高効率な運転を実現、ランニングコストの削減にも尽力している。

本報では、2工場の導入システムの概要及び今後の展望について述べる。

2. 共通事項

適用事例①②に共通する特長を挙げる。

(1) 省エネルギー

製造準備段階～製造運転中～終業運転を冷水・ブライン温度/流量の安定供給で、製品品質の安定に寄与する。熱源機及び関連する付帯機器（ポンプ、冷却塔など）の連携制御を行い、オペレーションを容易化する。

(2) 省人化

運転の立上から運転中、終業運転までの一連で運転データ、予防保全データ、各種報告データ等々を IoT システムに自動転送可能な機能で、省人化を図る。ターボ冷凍機は、すべてフロン排出抑制法の非対象としてメンテナンスの負担を軽減する。

(3) 省コスト

運用状況に応じた独自のプラントシステムによりイニシャルコスト及びランニングコストの削減

*1 三菱重工サーマルシステムズ(株) 大型冷凍機技術部

*2 三菱重工サーマルシステムズ(株) 営業部

*3 三菱重工サーマルシステムズ(株) 大型冷凍機技術部 主席技師

を実現する。

(4) 環境性

ターボ冷凍機は、すべて温暖化係数 $GWP=1$ 以下の新冷媒とし地球環境負荷を抑えるとともに、工場全体の電気・ガス使用量削減により CO_2 排出量を低減する。

(5) 安全性

冷凍機の冷媒は不燃性または微燃性、かつ、低毒性のものを使用する。設備機器類は屋外設置として、工場内騒音の懸念を排除する。

(6) 省スペース

要望された小設置面積の中で、メンテナンススペースを維持しつつ省スペース化を実現する。

3. 適用事例①

3.1 背景

工場の完全ノンフロン化を掲げる等、環境保全に対するコミットメントの高いお客様に対しては、オゾン層破壊係数0、地球温暖化係数(GWP)1のノンフロン冷媒 R-1233zd(E)を採用した低GWPインバータターボ冷凍機 ETI-Z を提案した。

3.2 課題

冷水還り温度は送水先の設備によって異なり、あるラインでは $10^{\circ}C$ で還るが別のラインでは $50^{\circ}C$ 以上で還るといった幅があり、生産スケジュールによって稼働ラインが異なるため、負荷変動が大きい。また、最大高負荷運転時において設備を選定すると、冷凍機熱源容量と設備全体のサイズが大きくなり、配置と効率的な運用が難しいという問題点があった。その課題解決のため、冷却塔フリークーリングを導入し冷凍機にかかる熱負荷を低減、負荷の安定化を図った。

3.3 プラントシステム概要

食品プロセス冷却システムの省コスト・安定運転を効果的に達成するためには、プロセスの特性を把握し熱の授受を安定的、効率的に行う必要がある。これを達成するためにターボ冷凍機の特徴を把握し、安定的に冷水を製造するシステムを構築した。本項ではそれら主要技術を紹介する。

(1) 冷却塔フリークーリング(FC)

上記課題の改善のため、お客様設備の生産系統及び生産タイムスケジュールから、還り冷水の系統を2つに分け、高温還り水は熱交換器を介し、冷却水と熱交換して冷却する高効率冷却システム(冷却塔フリークーリング)を導入。冷凍機にかかる負荷の平準化と熱源容量の削減に成功した。

(2) 冷凍機入口冷水バイパス制御(特許第 5412073 号)

冷凍機入口温度を冷凍機定格温度以下に制御し、冷水出口温度を安定に制御する。

(3) 冷水変流量制御

冷水流量を変更し、冷凍機入口温度が高くなった際も冷凍機出口温度を維持する運転を行う。

(4) 冷水供給ポンプ(二次側送水ポンプ)吐出圧一定制御

二次側の運転状況に関わらず二次側への冷水吐出圧を一定にするインバータ制御を採用。バイパス回路を設け、二次側運転状況に追従する。

(1)~(4)を反映したシステムフローイメージを図1に示す。上記の制御により、二次側の負荷変動に追従し、安定運転を行うことによりお客様の安定した製造・生産を維持している。またシステム COP を向上させ、省エネルギー化によるランニングコストの削減及び機器のサイズダウンによりお客様の設備導入イニシャルコストを削減することに成功した。設備管理面でも冷水温度、流量を測定の上、熱量を瞬時に計算・記録し、エネルギーの見える化を行うことでランニングコスト管理、メンテナンス計画に役立っている。

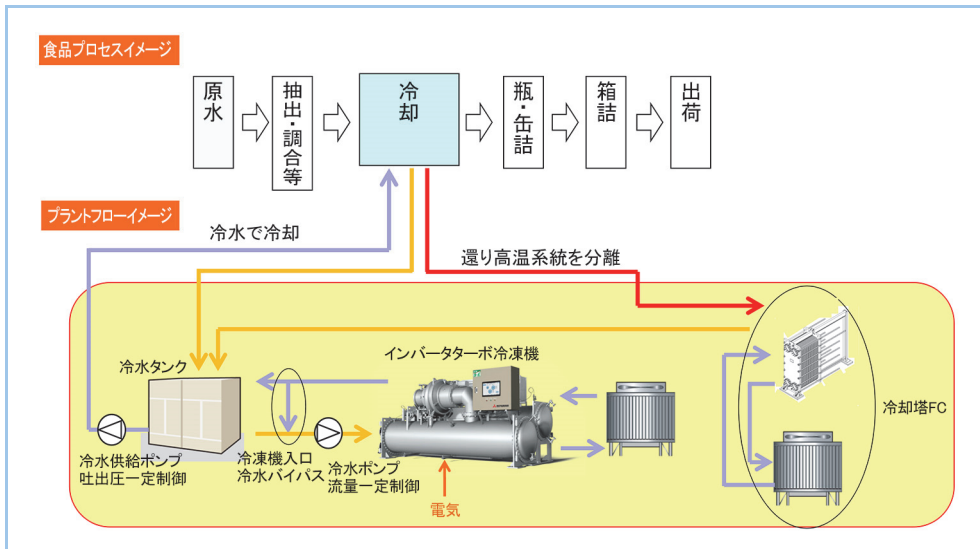


図1 プラントフローイメージ

3.4 検討結果

FC 導入メリットの試算を行った。冷却塔 FC を導入しない場合、最大負荷容量が約 326USRt に対し、導入した場合は最大約 221USRt となり、シミュレーション上約 32%の冷凍機熱源容量低減を実現した。消費電力量に関しても、24 時間 365 日稼働として試算すると冷却塔 FC を導入しない場合、約 900MWh に対し、導入した場合約 541MWh となり、約 40%の削減を実現した。月別の消費電力量の試算を図2に示す。

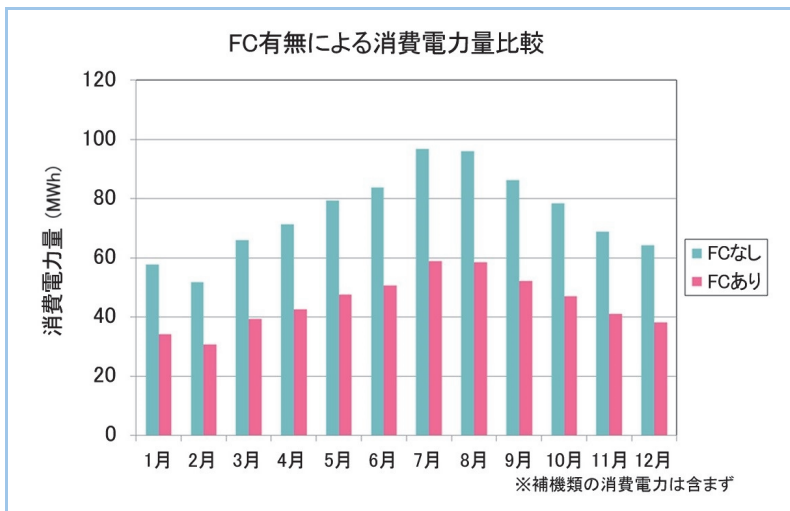


図2 FC 有無による消費電力量比較

3.5 まとめ

冷却塔 FC により約 40%のランニングコストの削減に成功した。二次側生産設備の実負荷が5分間で約5倍になる負荷変動が生じたが、上記のシステムにより冷凍機にかかる負荷が低減・平準化され、冷凍機が負荷追従できることが確認できた。

お客さまが要求される冷水温度での供給ができ、安定した生産に寄与している。

4. 適用事例②

4.1 背景

環境負荷低減のため、ノンフロン冷媒 R-1233zd(E)採用冷凍機 ETI-Z 及び R-1234ze(E)採用冷凍機 GART-ZE を納入した。

4.2 課題

旧式ラインのユーティリティ用ブライン冷凍機の更新、新設ラインのユーティリティ用冷水冷凍

機の新設という課題があり、必要となるユーティリティ温度はラインごとに異なっており、更に冷却ユーザが工場内各所に点在しているという問題点があった。その課題解決のため、複数ライン用の冷凍機を温度帯ごとに分けて統合し1か所で管理し、各所ユーザに供給する集中熱源システムを導入した。

4.3 プラントシステム概要

食品プロセス冷却システムの省コストを効果的に達成するためには、プロセスの特性を把握し熱の授受を安定的、効率的に行う必要がある。これを達成するためにターボ冷凍機の特性を把握し、安定的に冷水、ブライン及び温水を製造するシステムを構築した。本項ではそれら主要技術を紹介する。

(1) 冷凍機排熱回収による温水製造及びウォーマーガス消費量削減(排熱回収)

適用検討した食品プロセスは一連のプロセスにおいて上流の製品冷却工程の下流に製品加熱工程があり、冷却と加熱の負荷が同時に発生するという特徴がある。この特性を生かして、上流の冷却工程のために製造した冷凍機の排熱(通常冷却塔を介して大気に放熱する)を回収し、温水タンクに蓄熱し下流の加熱工程で利用することで、蒸気使用量の低減ならびに蒸気製造に伴うCO₂排出量削減を実現した。(図3 ア)

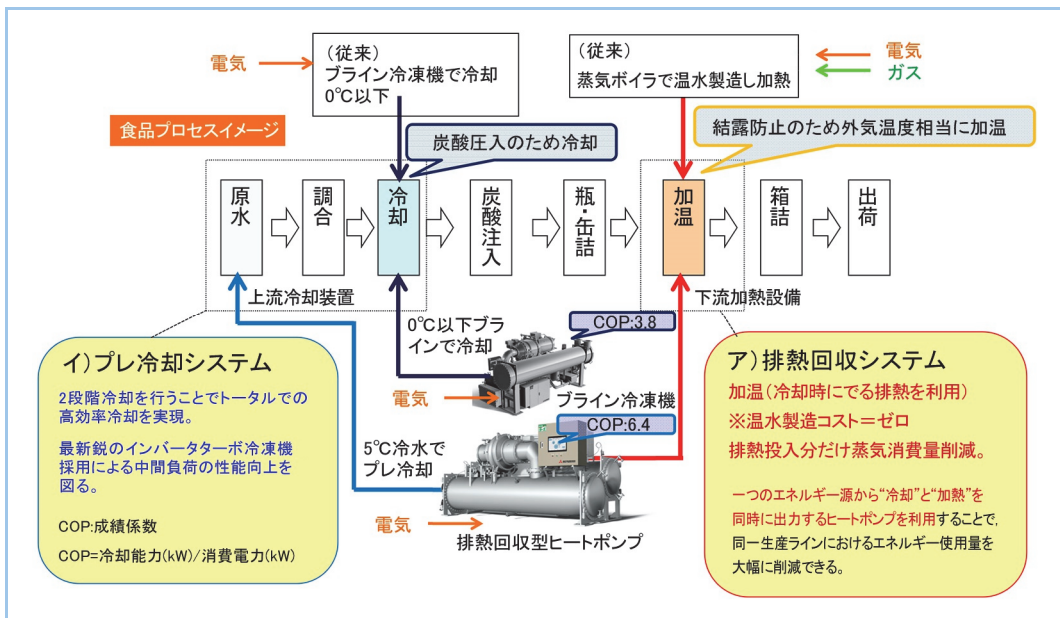


図3 ア)排熱回収システム, イ)プレ冷却システムイメージ

(2) プロセス側の高効率冷却技術(プレ冷却システム)

(1)に示した上流の冷却工程では、製品を0°C近くまで安定的に冷却する必要があり、0°C以下のブラインを用いて冷却を行っていた。冷凍機の性能は冷却側と排熱側の温度差が小さいほど効率が良い。この特性を生かして製品の冷却を①5°Cレベルは冷水によるプレ冷却、②0°C以下レベルはブラインによる温度補償の2系統に分けることでシステム効率の向上を狙った(図3 イ)。

(3) 高効率冷水製造技術(インバーターボ冷凍機2段冷却システム)

(2)に示した5°C冷水の製造は、冷却側と排熱側の温度差が小さいほど効率が良いという冷凍機の性能特性を生かして、プロセス戻り水に対して冷水出口温度 11.5°C, 5°Cの2段で冷却することで効率向上を狙っている。製造品種変更にとまなう低負荷運転を想定し、冷凍機はすべてインバータ駆動とし低負荷運転時の効率向上を図った(図4, 図5)。

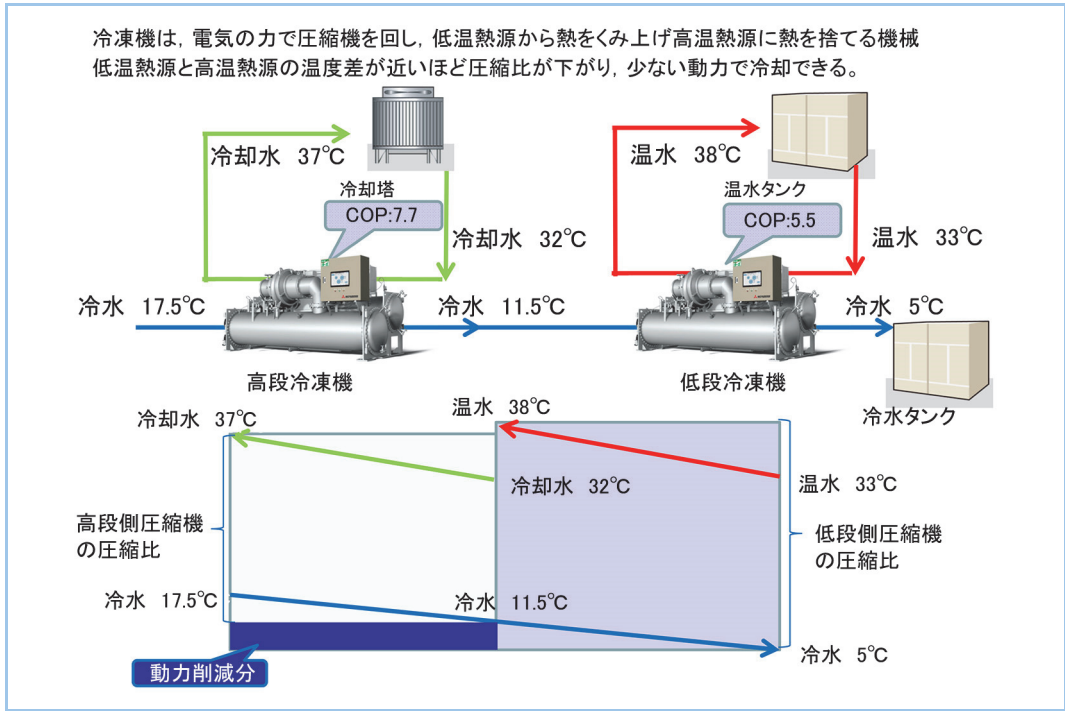


図4 2段冷却イメージ

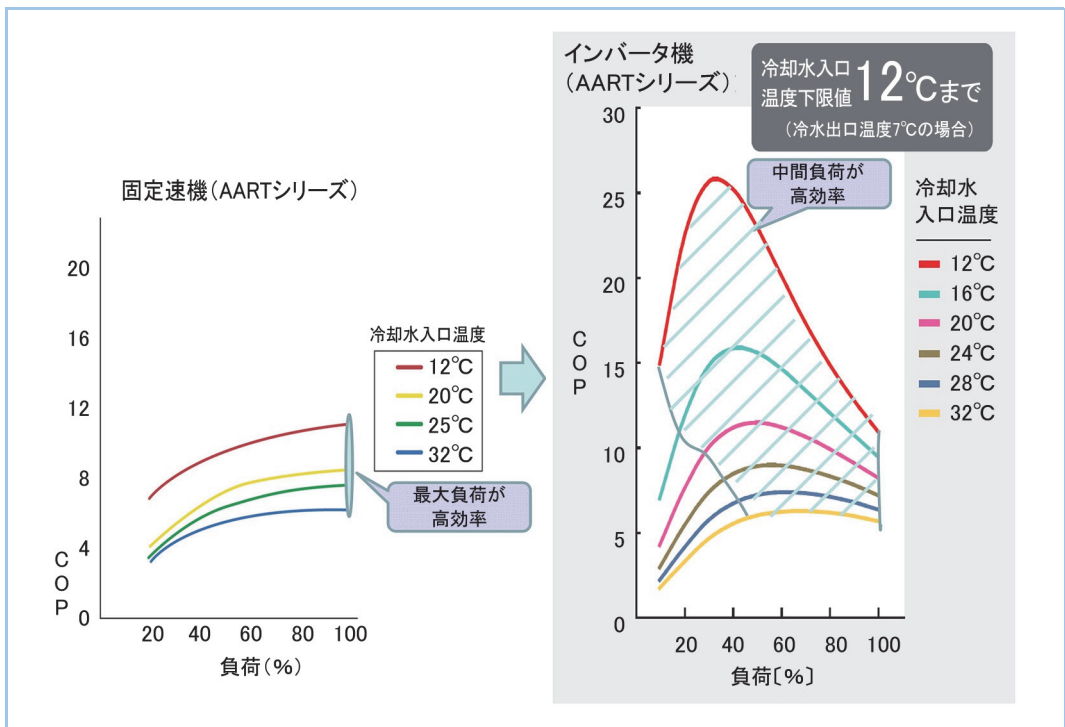


図5 インバータターボ冷凍機の性能特性イメージ

(4) 冷水とブラインの安定製造技術(超低負荷対応ターボ冷凍機+タンクシステム)

短時間で急激に負荷が変動するバッチ運転による、ターボ冷凍機の発停過多を防止するために、超低負荷対応ターボ冷凍機とタンクシステムを適用することで低負荷時も停止せず安定した運転を可能とした。また、5°C、11.5°C冷水系ターボ冷凍機は複数台設置し、高効率運用とリスク分散を同時に成立させている。

4.4 検討結果

上記の特徴を持つ集中熱源システムによる導入メリットを算出した。本システムは、旧ラインの冷凍機を更新せず、新ライン用に最新冷凍機を増設した場合と比べ、シミュレーション上約 43%の消費電力量削減を実現した。消費電力量の試算を図6に示す。

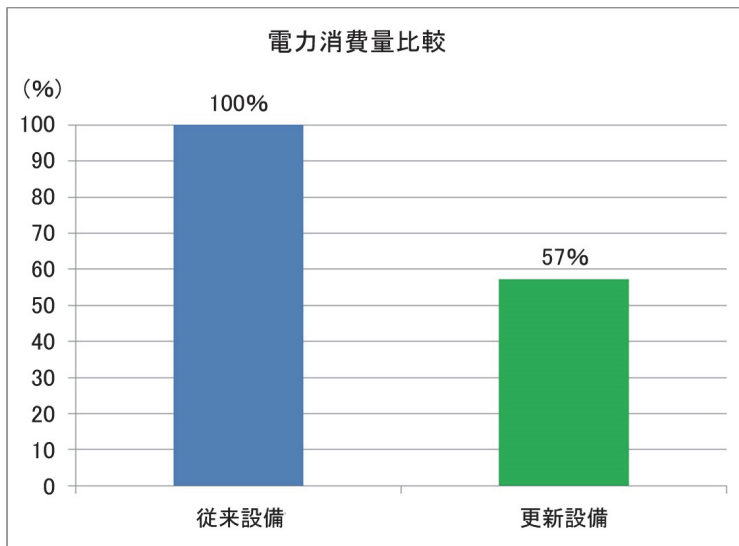


図6 新旧システムの消費電力量比較

4.5 まとめ

旧設備の更新と新設備の増設という課題を抱えた工場のユーティリティ設備に対して、ブライン、冷水、温水を複数ラインに製造供給する集中熱源システムを導入した。本システムは、従来対比約43%の消費電力低減を実現した。

5. まとめ

当社は環境保全に貢献すべく低GWP冷媒採用のインバータターボ冷凍機を開発しており、温度帯や熱源容量に応じて2機種をシリーズ化している。本報では、低GWP冷媒を採用した2機種を納入した2工場の納入事例について紹介したが、他工場でも低GWP冷媒の冷凍機にシフトしており、今後も需要のある本シリーズの冷凍機を納入していく所存である。また、工場ごと、ラインごとに運転状態や設備設置状況が異なるため、最適化するには一品一葉のエンジニアリングが必要となる。今後もお客さまと議論を重ね、さまざまな負荷パターンを想定し、各生産設備に応じた最適なプラントシステムの提案をすることに尽力していく。