

● (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

## ヒートポンプを利用した洗浄用温水供給設備

設備施工者：三菱重工冷熱(株)  
設備所有者：(株)ニチレイフーズ

### 建物の概要

名称 (株)ニチレイフーズ船橋工場 所在地 千葉県船橋市日の出2-19-1

概要 建家：地上3階 延床面積：13,852.53m<sup>2</sup> 構造：RC造S造 用途：工場（食品製造）

### 1. 技術開発の目的と経過

目的：洗浄用温水製造熱源を従来のLPG焼き温水ボイラから、高効率な空気熱源ヒートポンプに置き換えることにより、省エネルギーとCO<sub>2</sub>排出量の削減を達成する。

経過：2018年2月～（設計、検討等）：生産工程全体の省エネ・CO<sub>2</sub>削減を検討する中で、洗浄用温水をターゲットの一つとして抽出。洗浄水の使用量と経時的パターンを定量的に把握し、機器容量の選定と動作回路の検討を行った。また、CO<sub>2</sub>削減効果等、想定メリットについての試算を実施した。

2019年5月～（試運転、引渡し等）：5月初旬に試運転を実施しお引渡しを完了した。

一方、省エネ効果を確認するための計測設備（温度、流量、消費電力）を設置し、計測データの分析と必要に応じた制御設定値の見直しを実施。2020年11月現在、ほぼ当初予定通りのCO<sub>2</sub>削減効果が確認された。

### 2. 設備・システムの概要

#### 1) 既設設備の概要

- ・現状では、LPG焼き温水ボイラー（以下「温水ボイラー」）が、洗浄用温水タンク（有効容積20m<sup>3</sup>、以下「温水タンク」）に対して並列に設置されており、タンク内部の水温を検知するサーモスイッチによって42℃前後の温度に保持されている。
  - ・洗浄用温水タンクには給水制御用のレベルスイッチが設置されており、低水位になると温水タンクに直接接続されている給水配管から「最大使用流量を上回る大流量」で給水され、満水近くになると停止となる二位置式制御で水位管理されている。
- また、最大使用水量は平均使用水量の約7倍程度で、「週2回×4Hr/回」程度の頻度で発生する。

#### 2) 改修設備の概要

- ・本設備改修では、図1に示す点線部分を増設した。
- ・空気熱源ヒートポンプ（以下「ヒートポンプ」）は温水ボイラと同様に、温水タンクに対して並列に接続している。
- ・ヒートポンプと温水タンクの接続は、温水ボイラの温水循環配管から分岐して接続することにより、タンク改造等の工事費用を節減している。

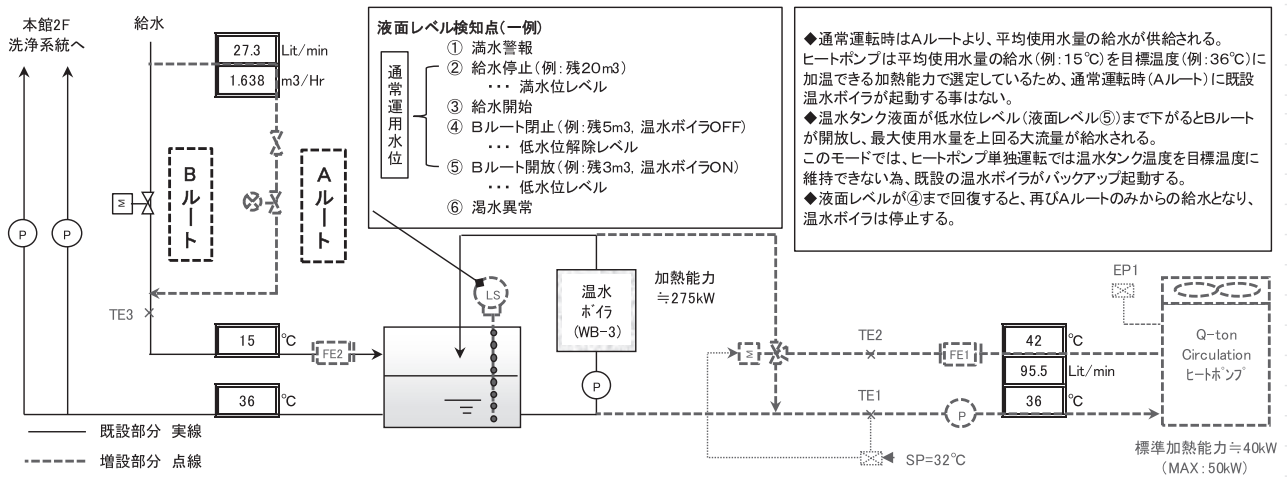


図1 改修設備\_概略系統図

- ・ 温水ボイラの起動温度はヒートポンプの同設定値より低い値に設定し、ヒートポンプが優先的に先行起動するよう順位付けをしている。これにより効率の高いヒートポンプがベースロードとしての役割を果たし、省エネ性の向上が図られる (図2)。
- ・ ヒートポンプの加熱能力は、経済的な観点に加えてバックアップとして温水ボイラも併用で残すことから、平均使用水量に合わせた選定とした。
- ・ 従来の給水システムは前出の通り、「最大使用流量を上回る大流量」 or 「停止」の二位置式制御となっている。
- ・ 給水システムをこのままにしてヒートポンプを導入した場合、給水時にはヒートポンプが加熱能力不足となり、温水タンク内の温度が低下して温水ボイラが起動するが、その後、満水となって給水が停止しても、温水タンク内がボイラ停止温度に達するまでのほとんどの熱容量を、より加熱能力が大きい (ヒートポンプの約6倍) 温水ボイラで加熱することになる。
- ・ また、温水ボイラ停止後から、温水タンク内温度が目標に達するまでの僅かな温度差のみ、ヒートポンプが単独で加熱するが、ヒートポンプ停止 (目標温度到達) 以降、温水タンク内の温度は自然放熱のみでほぼ保持されるため、再び低水位となって給水が開始されるまで、ヒートポンプが再起動することなく、全運用期間に渡ってヒートポンプの稼働率が非常に低い運用となってしまふ (図3)。
- ・ そこで本改修では、給水システムを以下の通りに変更することにより、高効率なヒートポンプの稼働率 (負担割合) を拡大し、省エネ性の向上を図っている。

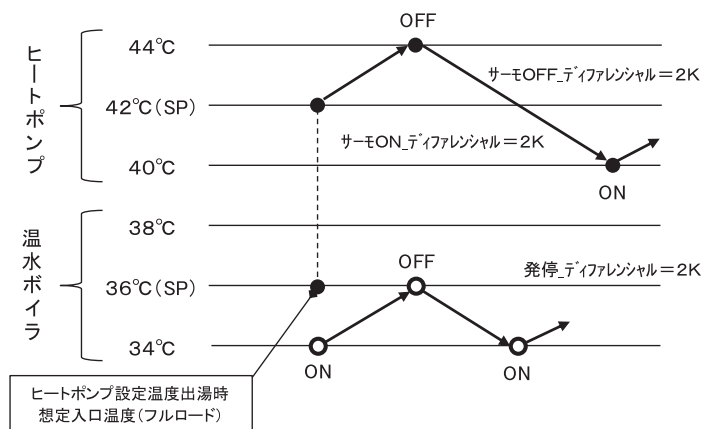


図2 温水ボイラとヒートポンプの動作温度

### 3) 給水システムの改修

- ・ 従来の給水配管 (Bルート) をバイパスする (Aルート) の給水配管を増設する (図1)。
- ・ Bルートからは従来通り「最大使用流量を上回る大流量」が給水されるが、Aルートからは平均使用

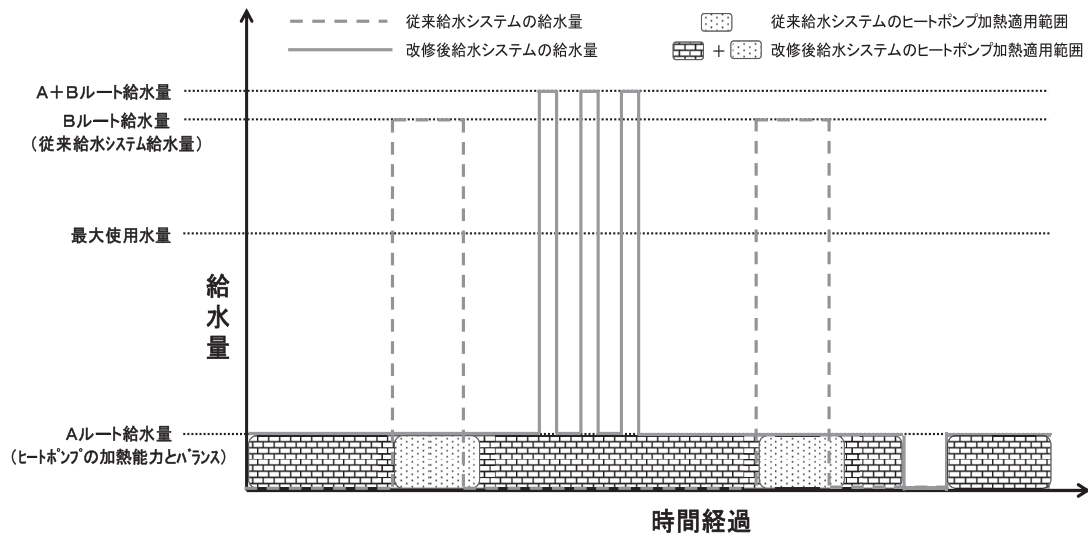


図3 給水システム改修前後のヒートポンプ加熱適用範囲

水量程度の給水が供給されるよう、流量調整弁の開度を設定しておく。

- ・温水タンクの水位が通常運用水位（低位水位からの回復中を除き図1の②～⑤の間の水位）にある時はAルートからの給水を継続する。  
前出の通りヒートポンプは、平均使用水量の給水（例：15℃）を目標温度（例：36℃）に加熱できる加熱能力で選定しているため、Aルート給水時に温水ボイラが起動する事はないが、ヒートポンプはほぼ連続して稼働し続けられる。
- ・使用水量がAルート給水量より大きくなると温水タンクの水位は下がるが、低水位レベル（図1の⑤の水位）まで低下するとBルートが開放し、「最大使用水量を上回る大流量」が給水されるため、水位は確実に回復する。
- ・Bルートから給水されると、ヒートポンプ単独運転では温水タンク温度を目標温度に維持できないため、既設の温水ボイラがバックアップとして起動する。
- ・温水タンクの水位が低水位解除レベル（図1の④の水位）まで回復すると、再びAルートのみからの給水となり、温水タンク温度の回復に伴って温水ボイラは停止する。
- ・この給水システムへの改修によって、使用水量が少なく満水位レベル（図1の②以上の水位）に達しない限り、ヒートポンプは稼働し続けられるため、従来の給水システムでの導入に比べて稼働率は飛躍的に向上する（図3）。

### 3. 着想

- ・当該工場では、セントラル熱源機として複数の貫流ボイラがボイラ室に設置されているが、分散して存在する小容量の蒸気混合栓を除けば、殆どの熱需要は蒸気を直接利用する生産工程であり、ヒートポンプの導入は当初難しいと考えられた。
- ・しかし、セントラルからローカルに目を向けると、温水ボイラ単独で処理している洗浄用の温水需要が見つかり、またヒートポンプで特に高い効率が狙える比較的低温の温水需要であったことから、CO<sub>2</sub>削減効果の試算値も大きく、今回のヒートポンプ導入に至った。
- ・洗浄用の温水は、人が火傷しない程度の低温（40℃前後）に設定されている場合が多く、ヒートポンプ導入のターゲットとして非常に適性が高い温熱需要と言える。

#### 4. 効果（省エネルギー）

##### 1) ヒートポンプ稼働率と省エネルギー・CO<sub>2</sub>削減効果の試算

i) ヒートポンプ年間平均稼働率 : 61.8% (停止とアンロードによる加熱能力低下を除外した運転比率)

###### ● 計算方法

- ・ ヒートポンプ加熱能力 (定格) : 40kW
  - ・ 年間フルロード加熱能力 : 350.4MWh/年 (=40kW×8760Hr/年)
  - ・ 年間積算ヒートポンプ加熱能力 : 216.5MWh/年  
\*過去の給水データとヒートポンプ性能を根拠にしたシミュレーションにより試算
  - ・ ヒートポンプ年間平均稼働率 : 61.8% (=216.5MWh/年÷350.4MWh/年)
  - ・ フルロード換算\_年間稼働時間 : 5413Hr/年 (=8760Hr/年×61.8%)
- ii) 省エネルギー効果 (原油換算削減量) : 12.8kLit/年 (削減率=46.5%)
- iii) CO<sub>2</sub>削減効果 : 38.7ton/年 (削減率=61.4%)

###### ● 計算方法

- ・ 年間LPG削減量 : 21.0ton/年 (=216.5MWh/年÷46.4MJ/kg÷0.8)  
\*ボイラ効率=80% (仮定)  
\*LPG低位発熱量=46.4MJ/kg
- ・ 年間電力増加量 : 59.1MWh/年 (ヒートポンプ設備)  
\*過去の給水データとヒートポンプ性能を根拠にしたシミュレーションにより試算
- ・ 年間LPG削減量\_原油換算 : 27.5kLit/年 (=21.0ton/年×1.31kLit/ton)
- ・ 年間電力増加量\_原油換算 : 14.7kLit/年 (= (9.97GJ/MWh+9.28GJ/MWh) × 0.5 × 59.1MWh/年 × 0.0258kLit/GJ)  
\*ヒートポンプの稼働時間割合は、昼間と夜間でそれぞれ50%と仮定
- ・ 年間省エネルギー効果\_原油換算 : 12.8kLit/年 (=27.5kLit/年-14.7kLit/年)
- ・ 年間LPG\_CO<sub>2</sub>排出削減量 : 63.0ton/年 (=21.0ton/年×2.999kgCO<sub>2</sub>/kg)  
\*LPG\_CO<sub>2</sub>排出係数は、当該事業所の指定値を採用
- ・ 年間電力\_CO<sub>2</sub>排出増加量 : 24.3ton/年 (=59.1MWh/年×0.412kgCO<sub>2</sub>/kWh)  
\*電力\_CO<sub>2</sub>排出係数は、当該事業所の指定値を採用
- ・ 年間CO<sub>2</sub>排出削減量 : 38.7ton/年 (=63.0ton/年-24.3ton/年)
- ・ 年間平均ヒートポンプCOP : 3.66 (=216.5MWh/年÷59.1MWh/年)  
\*システムCOP (H)

##### 2) 省エネルギー・CO<sub>2</sub>削減効果の実証結果

- ・ 本設備は2019年5月にお引渡しを完了しているが、その後現在 (2020年11月時点) に至るまで継続して運転データの分析を行っており、運用環境に合わせた最適化を求めて適宜の調整を図っている。
  - ・ 現時点で最終調整を行った2020年6月以降の実績から、データ欠損のない7・9月をピックアップし、省エネルギー・CO<sub>2</sub>削減効果について整理した (表1、2)。
- 尚、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 (LPG) 削減量と電力増加量の「実績/計画」比較データ

2020年 [月]	計画						実績						実績/計画			
	合計 熱需要量 [MWh]	ヒートポンプ 合計 加熱量 [MWh]	LPG 削減量 [kg]	LPG削減 による CO2排出 削減量 [kg]	電力 増加量 [kWh]	電力増加 による CO2排出 増加量 [kg]	合計 熱需要量 [MWh]	ヒートポンプ 合計 加熱量 [MWh]	LPG 削減量 [kg]	LPG削減 による CO2排出 削減量 [kg]	電力 増加量 [kWh]	電力増加 による CO2排出 増加量 [kg]	合計 熱需要量 [%]	ヒートポンプ 合計 加熱量 [%]	LPG 削減量 [%]	電力 増加量 [%]
7月	21.7	18.4	1785	5354	4451	1834	50.7	23.7	2301	6901	6213	2560	233.8	128.9	128.9	139.6
9月	21.0	17.8	1728	5181	4307	1774	33.4	17.9	1741	5221	5008	2063	159.1	100.6	100.8	116.3

表2 省エネルギー・CO<sub>2</sub>削減効果の「実績/計画」比較データ

2020年 [月]	ヒートポンプによる省エネルギー・CO <sub>2</sub> 削減効果_計画						ヒートポンプによる省エネルギー・CO <sub>2</sub> 削減効果_実績						実績/計画	
	LPG 削減量 原油換算 [Lit]	電力 増加量 原油換算 [Lit]	原油換算 削減量 [Lit]	原油換算 削減率 [%]	CO <sub>2</sub> 排出 削減量 [kg]	CO <sub>2</sub> 排出 削減率 [%]	LPG 削減量 原油換算 [Lit]	電力 増加量 原油換算 [Lit]	原油換算 削減量 [Lit]	原油換算 削減率 [%]	CO <sub>2</sub> 排出 削減量 [kg]	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 [%]
7月	2340	1105	<b>1235</b>	52.8	<b>3520</b>	65.7	3016	1543	<b>1473</b>	48.8	<b>4341</b>	62.9	<b>119.3</b>	<b>123.3</b>
9月	2264	1070	<b>1195</b>	52.8	<b>3407</b>	65.8	2282	1244	<b>1038</b>	45.5	<b>3158</b>	60.5	<b>86.9</b>	<b>92.7</b>

・電力消費量原油換算におけるヒートポンプ稼働時間割合は、昼間と夜間それぞれ50%と仮定。

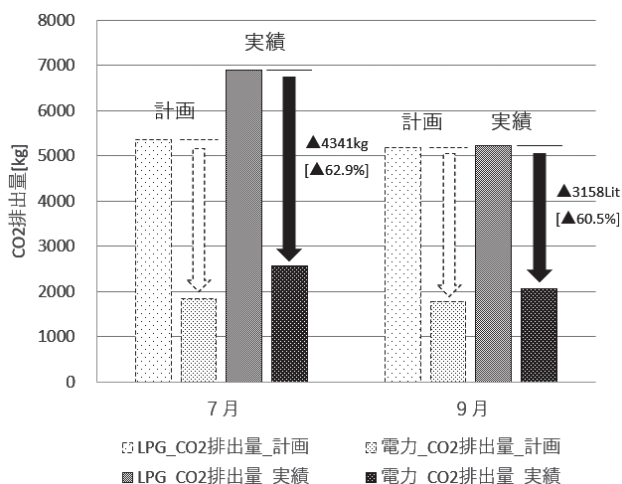


図4 省エネルギー効果実績 (7月)

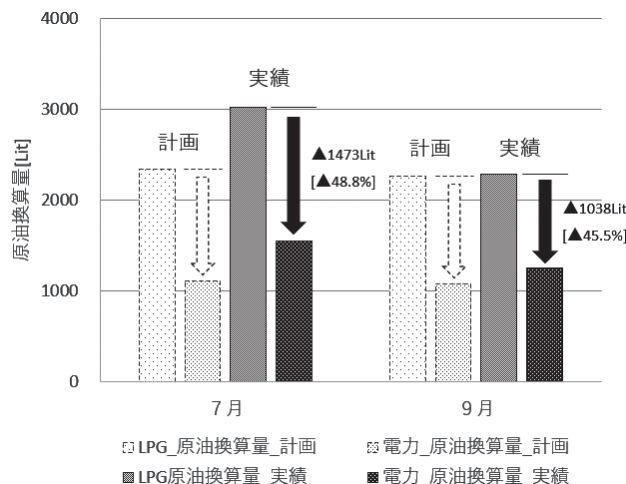


図5 CO<sub>2</sub>削減効果実績 (7月)

- ・結果として本設備改修により、原油換算で1000~1500Lit/月程度の省エネルギー効果と、3200~4500kg/月程度のCO<sub>2</sub>排出削減効果が得られることが確認できた (表2、図4、5)。
- ・省エネルギー性 (原油換算削減量)、CO<sub>2</sub>排出削減量の何れも、計画に対する実績比は±20%以内程度に収まっており、結果的に期待された効果に近似した実績が得られた。
- ・しかし、データを詳細に分析すると、計画と実績の差が比較的大きな要因がいくつかあり、プラス面とマイナス面が相殺しあって、結果的に計画に近い実績となっていることが判った。
- ・実績が大きくなる具体的な要因としては、「熱需要量の拡大 (特に給水量) によるヒートポンプ稼働率の上昇」があり、一方、実績が小さくなる要因としては「温水循環ポンプ動力が想定よりも大きい」点や、「ヒートポンプの製造温水温度設定変更 (39℃⇒42℃) に伴うCOPの低下」が挙げられる。

- ・また、表1の「合計熱需要量」と「ヒートポンプ合計加熱能力」を見ると、前者は計画に対する実績比が150～200%以上になっているのに対して、後者は100～130%程度と増加割合が小さいことが判る。
- ・これはヒートポンプを含めた今回の改修設備の能力を上回って、熱需要量が想定外に増加したことを示しており、将来的に、温水タンクやヒートポンプの容量アップ等、ヒートポンプシステムの能力増強を図ることにより、省エネルギー・CO<sub>2</sub>削減効果の更なる拡大を狙う余地があると言える。

## 5. 投資回収（省マネー）

- ・本設備改修は主としてCO<sub>2</sub>削減を目的としており、ヒートポンプの省エネ性を検証する小規模実証設備としての役割も担っていた。
- ・そのため、出力40kW程度の小さな設備規模に対して、結果検証に必要な温度、流量、電力などの計測器やデータ記録設備を付帯させており、設備費用は本来の設備規模に応じた費用よりも大幅に割高となった背景がある。
- ・参考までに、設置工事や計測設備などケースバイケースの要素を除いた場合における、ヒートポンプ機器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3.5年程度との結果となった。

## 6. 他の建物への応用性

- ・今回採用した空気熱源ヒートポンプは、建物の用途、形態に関わらず、40～75℃の温熱需要があれば適用についての検討は可能であり、空気熱源式なので空気が滞留しない設置スペースと電源さえあればほとんど場所を選ばずに設置可能である。  
操作も付属の液晶タッチリモコンで容易に行え、応用機能としてスケジュール設定機能や複数台の一括操作機能も備えている。
- ・また、循環加温ヒートポンプとしては比較的高温の75℃出湯が可能であり、本申請の事例のように食品工場に限らず、機械部品工場や温浴施設、染色工場など、多くの適用先が想定される。
- ・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、給水システムの見直しなど、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

### 1) 本改修設備におけるヒートポンプの計画運転条件と性能

#### 運転条件

- ・製造温水温度（設定値）：42℃
- ・サーモON温度：40℃（ディファレンシャル＝2 K）
- ・サーモOFF温度：44℃（ディファレンシャル＝2 K）
- ・給水温度（フルロード時）：32～36℃ … 三方弁バイパスコントロール

#### フルロード定格性能概算値（外気温度＝16℃\_中間期）

- ・加熱能力：40kW
- ・温水循環量：95.5Lit/min
- ・消費電力：11.3kW

## 2) 空気熱源循環加温ヒートポンプ (Q-ton\_Circulation) 装置仕様

型式		熱源機 EQA401	
電源	—	三相 200V 50/60Hz	
定格加熱能力※1	kW	40.0 (最大50)	
エネルギー消費効率※1		3.3	
設定温度範囲	℃	出口温度制御時：40~75 (1℃刻み) 入口温度制御時：40~70 (1℃刻み)	
使用温度範囲	温水出口温度	℃	40~75
	入口温度	℃	30~70
	外気温度	℃	-20~43
最大電流 [ 始動電流 ]	A	77 [ 5 ]	
外形寸法	mm	2,048 × 1,350 × 720	
製品質量 (運転質量)	kg	400 (405)	
冷媒種類 (封入量)	—	R454C (10.8kg)	
温水管仕様	入口配管/出口配管		Rc 1 1/2 (40A SUS) / Rc 1 1/2 (40A SUS)
	耐水圧	MPa	1.0
	定格流量	m <sup>3</sup> /h	6.88
	水圧損失	kPa	27
	流量範囲	m <sup>3</sup> /h	1.72~9.00
最小保有水量	L	363 (機内水量 5Lを含む)	

※1 外気温度25℃DB/21℃WB, 温水入口温度60℃, 出口温度65℃における値です。

## 8. 環境保全等

- ・「4. 効果 (省エネルギー)」に記載の通り、夏期に月間で原油換算 1~1.5kLit程度の省エネルギー効果が得られたことから、冬期におけるヒートポンプの効率低下を考慮しても、年間では原油換算 10~15kLit程度の省エネルギー効果が得られるものと推定している。

## 9. 工夫した点、発想した点等

- ・ヒートポンプはボイラに比べて加熱能力当たりの単価が高額なため、需要熱量のピークに合わせた能力のヒートポンプを選定すると経済的な負担が大きくなり、設備投資を行う上での障害となりやすい。
- ・本計画では、既設の温水ボイラと温水タンクをピーク負荷時のバックアップとして活用することにより、新規導入のヒートポンプはベースロードとして高い稼働率が期待できる加熱能力にて選定し、かつ実際にベースロードとして稼働するよう、給水システムの改修による (「2. 設備・システムの概要」参照) 加熱負荷の平準化を行った。
- ・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目指す工夫が肝要と考える。

## 10. 市場性等

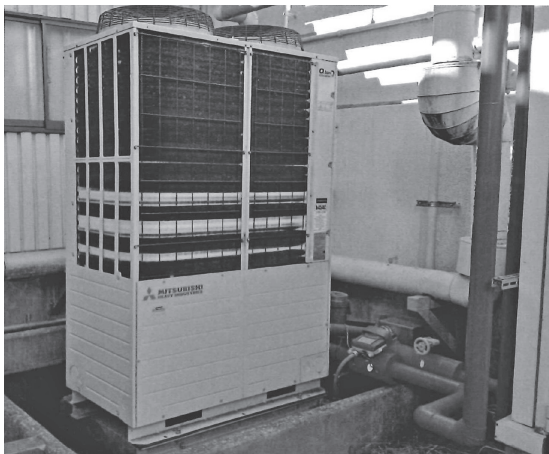
- ・洗浄用温水タンクは当社で提案を行っている殆どの食品工場 (冷凍食品、惣菜、飲料、醤油、製麺) で設置されており、現状では蒸気で間接加熱されている場合が多い。
- ・洗浄用として使う40℃レベルの温熱需要は、省エネ性の面でヒートポンプの優位性が特に高まる温度域であり、投資回収効果の観点からも普及を進めやすい温熱需要と言える。
- ・当社では、ユーザーの実情に合わせたフレキシブルな省エネシステムの企画・提案を行うため、本件で採用した循環加温ヒートポンプ (Q-ton\_Circulation) に加えて、業務用エコキュート (Q-ton)、空

冷ヒートポンプチラー（MSV2）、排熱回収ヒートポンプ（エコウォーム）他、特徴の異なるヒートポンプを複数ラインナップしており、これらの組み合わせによりヒートポンプの適用範囲の拡大を進めている。

## 11. 外観・構造図



建物玄関



空気熱源ヒートポンプ (Q-ton\_Circulation)



洗浄用温水タンク

## 12. 講評

生産工程の中の熱の利用形態を調査して、化石燃料熱源を空冷ヒートポンプに置き換えられる箇所を探し出し、既存熱源も利用する形で省エネ化、省CO<sub>2</sub>化を行い大きな効果をあげた。具体的には洗浄用温水製造熱源として使用されていたLPG焚温水ボイラに空気熱源ヒートポンプを追加して、空気熱源ヒートポンプをベース運転、既存熱源はピーク時利用する運転方式に置き換えた。基本的考え方はオーソドックスなものであるが、設備システムを十分に研究して、改修箇所をできるだけ少なくして効果をあげた点に大きな価値がある。現場に合わせていろいろ工夫をすることで、より高い省エネ効果を得られることを示した点が高く評価された。