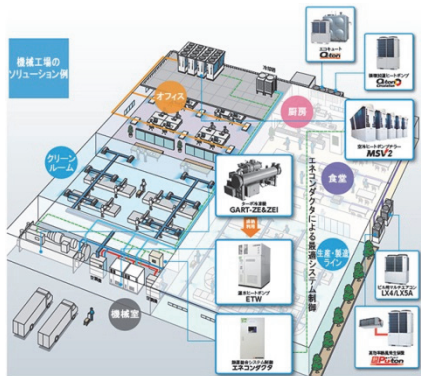


ボイラからの置換えによる CO₂ 排出量削減とランニングコスト低減の両立を目的としたヒートポンプ技術の取組み

Heat Pump Technology to Reduce CO₂ Emissions and Running Costs by Replacing Boilers



水野 尚夫*¹
Hisao Mizuno

嶋村 健吾*²
Kengo Shimamura

秋田 和郎*³
Kazuo Akita

岡田 有二*⁴
Yuji Okada

三菱重工グループでは、事業を通じてカーボンニュートラル達成に貢献することを最優先事項として取り組んでいる。これを達成するため、化石燃料の燃焼で得ていた熱源を電化ヒートポンプへシフトすることは有効な打ち手の一つである。三菱重工グループでは、このヒートポンプ技術を用いて、ランニングコストも低減したヒートポンプ商品を市場展開し、幅広いお客様に使用していただき、社会全体で CO₂ 排出量削減を図っている。引き続き、これら技術開発を通じてカーボンニュートラルの達成に貢献していく。

1. はじめに

三菱重工グループは、2040年 Net Zero を目指し、事業を通じたカーボンニュートラルの達成を主要経営課題として宣言している。その打ち手の一つは、積極的なヒートポンプの適用範囲拡大であり、従来の直接燃焼による CO₂ 排出量を削減するだけでなく、電化を進めることで再生可能エネルギーの積極的な活用を図ることである。産業用途で用いられるボイラ等の熱源は化石燃料の燃焼がほとんどであり、この市場でヒートポンプを普及させるためには、熱源から利用側までを包含した経済性や利便性の向上が有効な打ち手となる。本報ではボイラ熱源の置換えとして、様々なアプリケーションへ適用している三菱重工グループの取組み例を通してヒートポンプ技術を紹介する。

2. ボイラからヒートポンプへの移行

現在、産業用途で使用されている高温熱源の多くはボイラによって賄われており、その総熱需要は2020年でおおよそ13000TWhと推定している。図1に総熱需要の温度帯別の割合を示す。実際の需要温度は、200℃以下で全体の48%を占めており、特に100℃以下は全体の1/3を占めている。この100℃以下の利用温度帯でのCO₂排出量は、ボイラのシステム効率を80%、ガス燃焼を200g/kWhと想定した場合で、おおよそ1メガトンCO₂に相当する。

ヒートポンプは熱源側から利用側へ汲み上げる温度差が小さいほど、成績係数COP (Coefficient of performance)が大きくなり、効率的な熱輸送が可能になる特徴を有する。このため、三菱重工グループでは、主流である需要温度200℃以下のうち、特に100℃以下を中心とした温度帯でヒートポンプ技術を応用した製品を展開しており、ボイラからの置換えを後押しすることで、原油換算でのエネルギー削減、CO₂排出量削減に貢献している。この100℃以下の温度帯

*1 三菱重工サーマルシステムズ株式会社 マーケティング室 グループ長

*2 三菱重工工業株式会社 成長推進室事業開発部 主幹部員 *3 三菱重工工業株式会社 成長推進室事業開発部 グループ長

*4 三菱重工サーマルシステムズ株式会社 空調機技術部 グループ長

ですべての熱源をボイラからヒートポンプに置換え、その動力をすべて再生可能エネルギーで賄ったと仮定すれば、産業用途で使用される熱源機器の使用時 CO₂ 排出量のおよそ1/3を削減することが可能である。

図2に三菱重工グループが市場投入しているヒートポンプのラインアップの能力と温度帯を示す。次章ではこれら各温度帯で取り組んでいるヒートポンプ技術の内、施工設計、設置が容易な空気熱源を用いた4つの事例を紹介する。

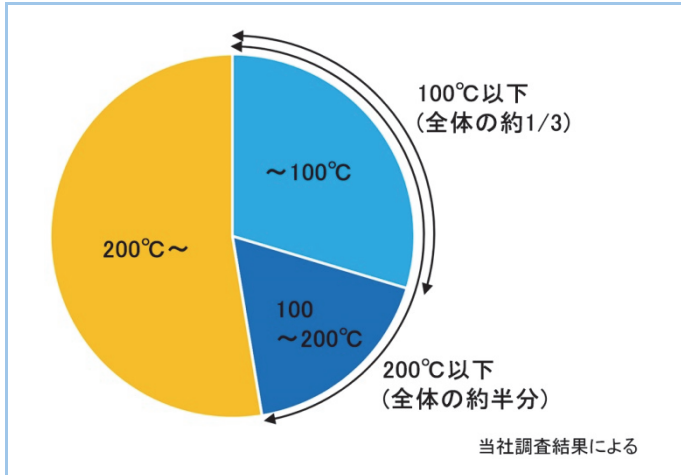


図1 全世界総需要熱量(13000TWh)の温度別内訳

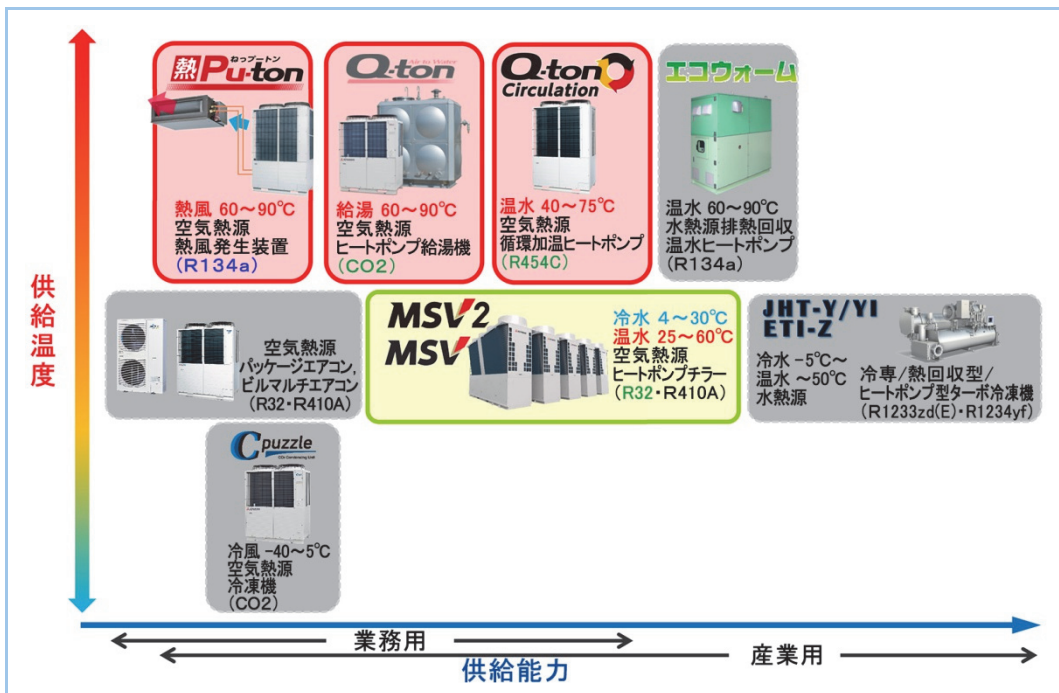


図2 ヒートポンプのラインアップ

3. 各温度帯製品の取組み技術

3.1 熱風発生装置“熱 Pu-ton”⁽¹⁾

(1) 製品技術概要

本製品は、空気熱源から 90°Cの熱風を発生させるヒートポンプであり、乾燥装置の熱源をボイラや電気ヒータから置き換えることを目的に開発した。一般的なヒートポンプでは、高温の熱風または温水を得る場合、熱源機側と熱風発生装置の温度差を小さくするため、熱源を工場の排温水から熱回収するシステムが必要となる。この場合、排温水を循環させる水配管が必要となり、システムが複雑化しコスト面や設置スペースの確保が困難になるとの課題があった。そ

ここで本製品は一般のエアコンと同様に、大気から熱を取り込む熱源機(室外機相当)と、熱風を直接生成できる熱風発生装置(室内機相当)の2つの機器構成としたことにより、熱風を利用する工場の工程近くに熱風発生装置を設置することを可能にした。排温水配管が不要となったことから、工場の設備能力増強のための追加設置が容易になり、ヒートポンプシステムをより産業分野へ浸透させることを可能にしている。更に二段圧縮サイクルによる高効率なシステムを採用することで、空気を熱源としながらも 90℃の熱風吹き出しを可能にしている。

(2) CO₂排出量削減効果

ドライラミネータの熱風供給装置へ適用したケースでは、従来蒸気コイルを用いて 70～80℃の熱風を発生させていた加熱機の代替えとして本製品を導入した。図3に導入した熱風発生装置のシステム図を示す。既存の蒸気コイルの上流に新設ダクトを設け、熱風発生装置を設置し、吸気予熱として 70～80℃の温風を供給する構造とした。ヒートポンプの熱源機がデフロスト運転で出力が低下した際にも、既設ダクトでバイパスし蒸気コイルにより加熱することで、ドライラミネータへの供給温度を一定に保つようになっている。また、ヒートポンプ故障時にも同様に既設ダクトを使用して送風通路を確保し、ドライラミネータの継続稼働を可能としている。

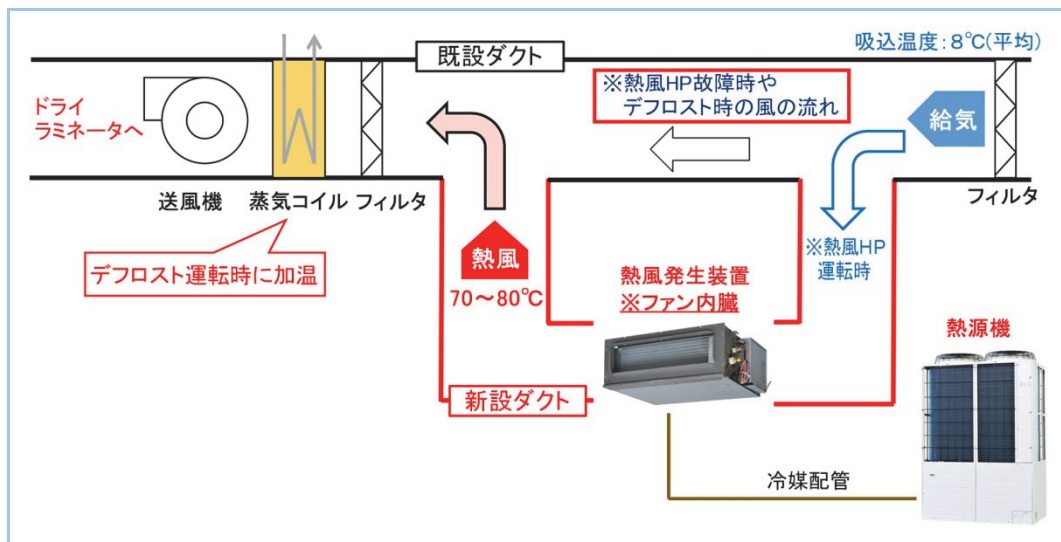


図3 ドライラミネータの熱風供給装置

本システムの導入効果試算例を図4に試算条件を表1に示す。表1では、エネルギー単価、CO₂排出量に加えて、本システムで使用した電力を一次エネルギーへ換算する値を示している。11月下旬から12月下旬までの約1か月間の実証試験にて、エネルギー使用量、CO₂排出量、ランニングコストいずれも従来の蒸気ヒータ対比約5割の削減効果を得ることが出来た。これは、ボイラの場合は利用端近くに設置されていないため、配管の熱ロスなどを含めると効率0.6程度に悪化するのに対し、本システムではヒートポンプによる効率化に加えて、利用端近くに配置したことも良い結果をもたらす要因となっている。今回の実証試験では、冬季に環境負荷軽減と高い経済効果を両立することが出来たため、年間での効果は更に期待できるものと推定している。

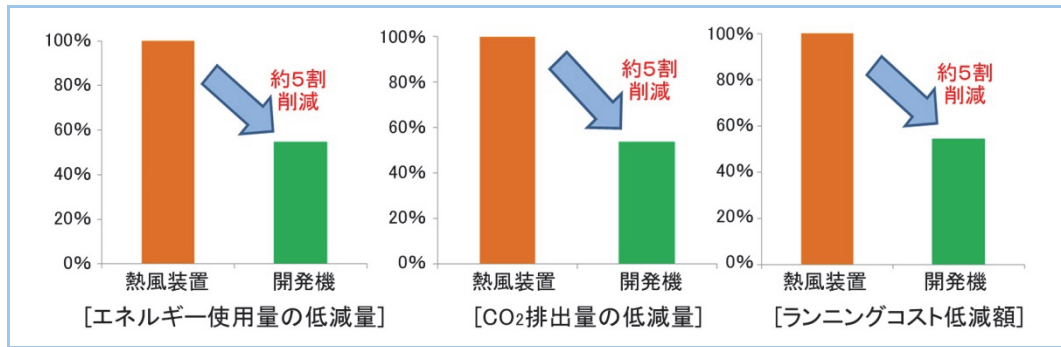


図4 ドライラミネータへの導入効果試算例

表1 ドライラミネータへの導入効果試算条件

項目	単位	値	
都市ガスの単位発熱量	MJ/Nm ³	45.0	
電力の一次エネルギー換算値	MJ/kWh	9.76	
CO ₂ 排出量	電気	kgCO ₂ /kWh	0.496
	都市ガス	kgCO ₂ /Nm ³	2.29

出典

- ・都市ガスの単位発熱量:地球温暖化対策の推進に関する法律における設定値
- ・電力の一次エネルギー換算値:エネルギーの使用の合理化等に関する法律における設定値
- ・CO₂ 排出量(電気):東京電力排出係数平成 29 年提出用(調整後排出係数)
<https://www.env.go.jp/press/106320.html>
- ・CO₂ 排出量(都市ガス):東京ガス公表値(HP より)
<https://www.tokyo-gas.co.jp/network/gas/shurui/index.html>

3.2 業務用給湯機“Q-ton”⁽²⁾

(1) 製品技術概要

本製品は、化石燃料を使用したボイラや電気ヒータの給湯機の代替商品として開発した。従来の空気熱源式ヒートポンプは、外気温度が低い場合に加熱能力が低下する課題があり、寒冷地への普及が進まなかった。そこで本製品は自然冷媒である CO₂ 冷媒の圧縮工程を二段とし、その中間圧力にガス冷媒をインジェクションすることで、低外気温時のガスクーラ冷媒循環量を増加させる二段圧縮ガスインジェクションサイクルを採用した。その結果、入水温度 17℃、外気温度 -7℃で定格と同一能力、-20℃で定格対比7割以上の能力を確保し、更に外気温度の低い-25℃まで 90℃出湯を可能としている。また、冷媒に GWP(Global Warming Potential)=1 の CO₂を採用している点も評価され、寒冷地でのホテル、病院、給食センタ等への普及が進んでいる。

(2) CO₂ 排出量削減効果

本製品を既存のボイラによる給湯設備に導入したケースを図5に示す。北海道道東に導入したシステムでは主に機械洗浄用の温水を、岩手県県北に導入したシステムではサニタリー用の温水を供給している。いずれも日本有数の寒冷地での実証試験であったが、冬季も問題なく温水供給可能なことを確認した。

導入効果試算例を図6に試算条件を表2に示す。システム効率 80%を想定したボイラと比較した場合、一次エネルギー消費量を2割弱、ランニングコストを5割強、CO₂ 排出量を3割弱低減可能であり、本技術でのボイラに対する優位性を明確にすることができた。

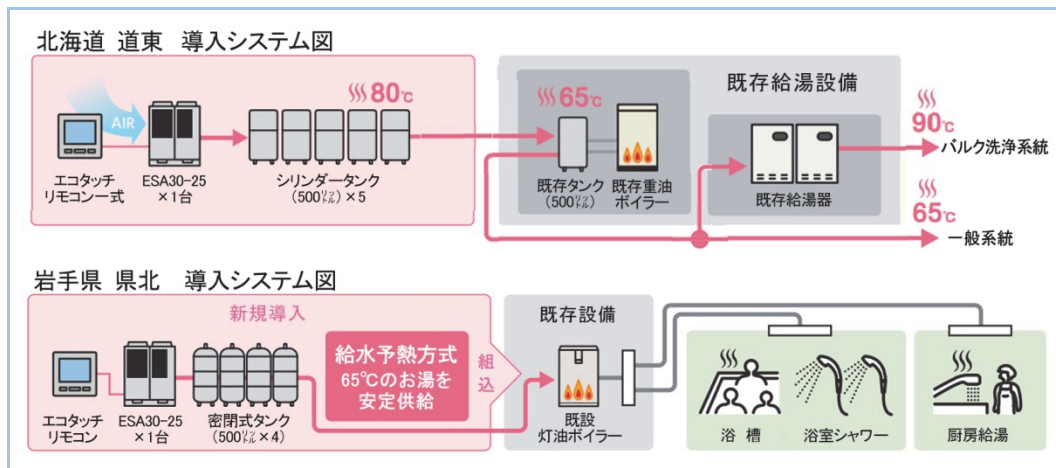


図5 Q-ton 導入システム図

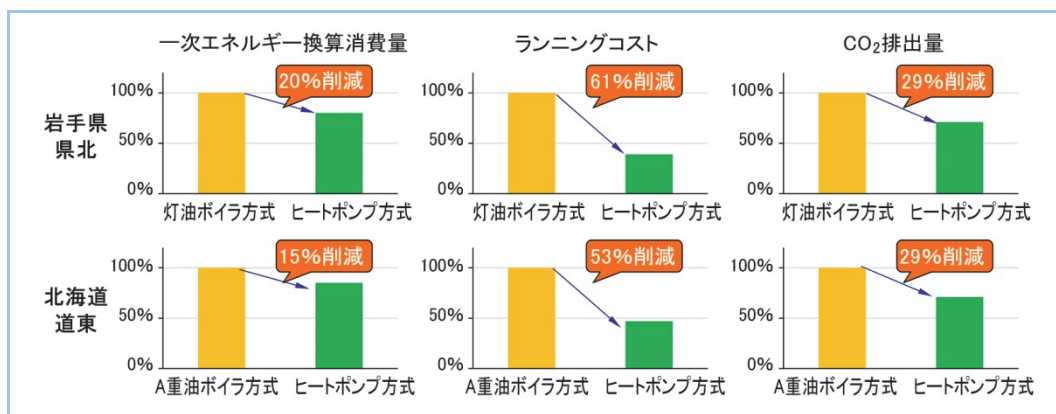


図6 Q-ton 導入効果試算例

表2 Q-ton 導入効果試算条件

場所		単価	CO ₂ 排出量	一次エネルギー換算
岩手県 県北	電気	夏季 11.65 円/kWh その他季 10.70 円/kWh	0.546kg-CO ₂ /kWh	9.76GJ/10 ³ kWh
	灯油	90 円/L	2.49kg-CO ₂ /L	36.7GJ/kL
北海道 道東	電気	夜間 6.5 円/kWh 昼間 13.0 円/kWh	0.680kg-CO ₂ /kWh	9.76GJ/10 ³ kWh
	A 重油	84 円/L	2.71kg-CO ₂ /L	39.1GJ/kL

※その他の条件／既設ボイラのシステム効率:80%

出典

- ・CO₂ 排出量(電気): 東京電力排出係数平成 29 年提出用(調整後排出係数)
<https://www.env.go.jp/press/106320.html>
- (灯油・A重油): 環境省 HP 温室効果ガス排出量 算定・報告・公表制度
算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧
<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>
- ・一次エネルギー換算値(電気): エネルギーの使用の合理化等に関する法律における設定値
(灯油・A重油): 資源エネルギー庁 HP エネルギー源別標準発熱量一覧表(2005)
https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/carbon.html

3.3 冷温水チラー“MSV”⁽³⁾

(1) 製品技術概要

本製品は、ファンコイルユニットを使用した空調用途だけでなく、工場の製造工程において部品の洗浄槽の加熱用途で使用される工場用ボイラからの置き換え需要にも対応することを狙った多用途の空冷ヒートポンプチラーである。洗浄槽の加熱用途では年間を通じて 55℃～60℃の温度を保つ必要がある場合が多い。従来の空冷ヒートポンプチラーは冷媒圧力の過大上昇のため、加熱可能温度が制限されたり、吸熱量が大きく冷媒の圧力が上昇しやすい高外気温時は運転できないとの課題があった。本製品では、凝縮器への冷媒流量の最適化制御と蒸発器の送風機制御により、60℃までの加熱運転と外気温 43℃における連続運転が可能と

なり、工場用ボイラからの置き換え需要への対応が可能となった。

(2) CO₂削減効果

機械部品の洗浄工程を対象に、本製品を導入した場合を想定したシステムを図7に示す。洗浄機内の洗浄液加温をボイラによる蒸気からのシステムから、本システムではヒートポンプ加熱をメインとしたシステムに変更している。洗浄液は腐食性を持つため、洗浄液への加温は新たに設けた温水循環配管回路の間接熱交換器を介して行うシステムとした。加熱負荷150kW、55℃から60℃の昇温、稼働時間は年間3840時間と仮定して導入効果を試算した。

図8に導入効果試算例、試算条件を表3に示す。冬季、夏季、中間期の使用電力量から年間電力量を積算するとボイラ対比でランニングコストを約44%低減、CO₂排出量を約40%低減する結果となり、本技術でのボイラに対する優位性を見込みを得ることができた。現在同等のシステムが三菱重工グループで稼働中である。

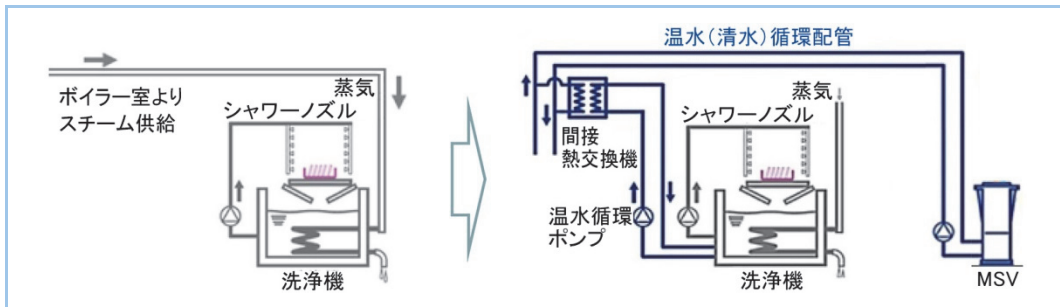


図7 部品洗浄工程への導入事例

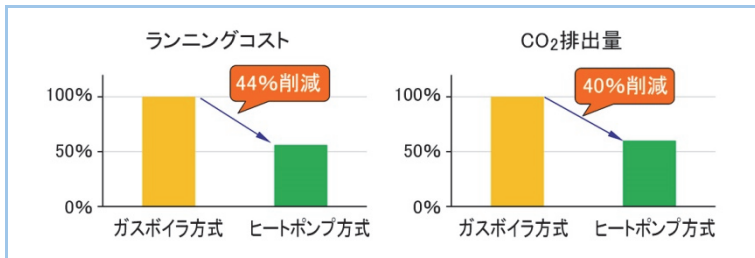


図8 部品洗浄工程への導入効果試算例

表3 部品洗浄工程の導入効果試算条件

負荷条件		加熱負荷	150kW	
		加熱温度条件	55℃→60℃	
		稼働時間	3840h/年(16h/日×240日/年)	
試算条件	電気	基本料金 1800 円/kWh 夏季 11.65 円/kWh その他季 10.70 円/kWh	0.494kg-CO ₂ /kWh	一次エネルギー換算 (昼間)9.97MJ/kWh (夜間)9.28MJ/kWh
	ガス	94.09 円/Nm ³		

※その他の条件

ヒートポンプのCOP:(冬季 5.6℃CDB)2.50, (中間期 18.1℃CDB)2.90, (夏期 26.3℃CDB)3.20
既設ボイラのシステム効率:70%

出典

- ・CO₂排出量(電気):東京電力排出係数平成29年提出用(調整後排出係数)
<https://www.env.go.jp/press/106320.html>
(都市ガス):東京ガス公表値(HPより)
<https://www.tokyo-gas.co.jp/network/gas/shurui/index.html>
- ・一次エネルギー換算値(電気):エネルギーの使用の合理化等に関する法律における設定値
(都市ガス):地球温暖化対策の推進に関する法律における設定値

3.4 循環加温ヒートポンプ“Q-ton Circulation”⁽⁴⁾

(1) 製品技術概要

機械部品工場の切削加工後の脱脂工程や部品洗浄工程、食品工場の製造装置洗浄で使用する温水の温度は、前述の冷温水チラーの供給温度より高い 70℃前後のケースがあり、その温度に適した冷媒を選定した上で高効率サイクルを採用する必要がある。本製品はこれら用途を対象とした、外気温度が-20℃から 43℃の条件で提供温水 75℃(入口・出口温度差5℃)を可能にした空気熱源式循環加温ヒートポンプである。この空気熱源式を採用することで排熱水の確保が不要となり、導入の際の複雑なシステム設計、施工を回避している。また、高温で入水温度と供給温度の差が小さい循環給湯機能を可能とするため、低 GWP 冷媒である R454C を採用し、一方で空気熱源式のヒートポンプは外気温度の低下とともに加熱能力が低下する特性があるため、この課題に対し、熱 Pu-ton や Q-ton と同様に二段圧縮ガスインジェクションサイクルを採用している。

(2) CO₂ 排出量削減効果

食品工場の洗浄槽加温に適用した例を図9に示す。従来設備では、既設の開放タンクの温水を化石燃料燃焼の蒸気ボイラにより加熱プレートを通じて循環加温していた。本製品導入に当たっては、開放タンクにヒートポンプによる加熱のための循環回路を新たに追設し、70℃まで加熱する仕組みとした。

2018年9月から2019年3月までの運転データから、年間でのランニングコストとCO₂排出量の低減の導入効果試算例を図10に試算条件を表4に示す。電気料金は本製品が消費した電力量の実測値から算出した。また、本製品導入前のランニングコストは、本製品の加熱能力から既設ボイラの燃料消費量を逆算することで省エネ効果の比較を行った。結果、エネルギー使用量、CO₂排出量、ランニングコストいずれも約5割の削減効果を得ることができた。

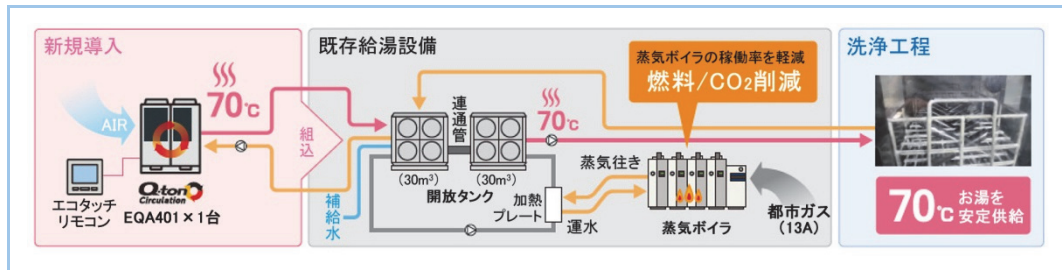


図9 食品工場の洗浄槽加温への適用事例

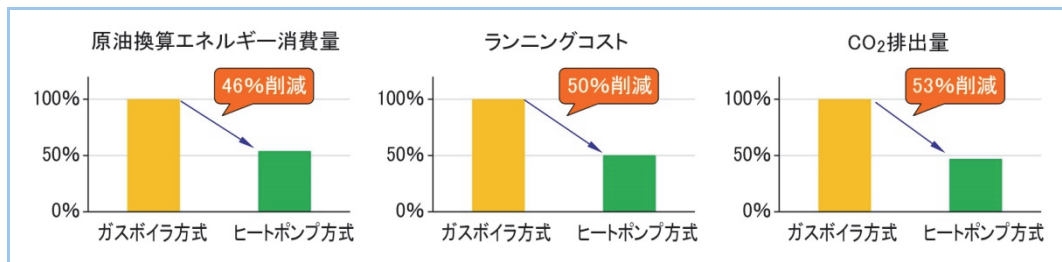


図10 食品工場の洗浄槽加温への導入効果試算例

表4 食品工場の洗浄槽加温への導入効果試算条件

項目	単位	値	
都市ガスの低位発熱量	MJ/Nm ³	40.6	
電力の一次エネルギー換算値	MJ/kWh	9.76	
CO ₂ 排出量	電気	kgCO ₂ /kWh	0.496
	都市ガス	kgCO ₂ /Nm ³	2.29

出典

- ・都市ガスの低位発熱量: 東京ガス公表値 (HP より) の単位発熱量 45MJ/Nm³ のガスを使用
<https://www.tokyo-gas.co.jp/Press/20041018-1.html>
 イワタニの燃料比較表 (HP より) から低位発熱量を推定
<https://www.iwatani.co.jp/jpn/business/energy/basic-knowledge/fuel/>
- ・電力の一次エネルギー換算値: エネルギーの使用の合理化等に関する法律における設定値
- ・CO₂ 排出量 (電気): 東京電力排出係数平成 29 年提出用 (調整後排出係数)
<https://www.env.go.jp/press/106320.html>
- ・CO₂ 排出量 (都市ガス): 東京ガス公表値 (HP より)
<https://www.tokyo-gas.co.jp/network/gas/shurui/index.html>

4. まとめ

本報では、全世界がカーボンニュートラルを達成するために三菱重工グループが最優先で取り組んでいる技術の一つとして、既に製品化されているヒートポンプ技術の一例を紹介した。

なお、本報では、主に三菱重工サーマルシステムズ株式会社の製品を中心に、利用温度域 100℃以下、出力 100kW の領域の取組みを紹介したが、三菱重工グループでは、100℃以上や大出力の領域についてもヒートポンプ技術に取り組んでいる。例えば、グループ会社の1つであるターボデン社 (イタリア) では、地域暖房や産業プロセス用途で、200℃までの一基当たり3～30MW の高温・大型領域に取り組んでいる。

足元ではエネルギー高騰が続いており、ヒートポンプがランニングコスト低減にも有効な打ち手であることから、更に燃焼からヒートポンプ化が進むものと予想される。三菱重工グループでは、これら課題を解決するため、温度範囲、能力範囲を拡大し適用アプリケーションを拡大し、カーボンニュートラルの達成に貢献していく。

参考文献

- (1) 小林隆之ほか, 高効率空気熱源ヒートポンプ式熱風発生装置“熱 Pu-ton”の開発, 三菱重工技報 Vol.54 No.2 (2017) p.23～28
- (2) 吉田茂, 寒冷地でも対応できる業務用 CO₂ ヒートポンプ給湯機, 冷凍 Vol.89 No.1039 p28～31
- (3) 岡田拓也ほか, 60℃温水供給の実現により産業用途に適用可能な空冷ヒートポンプチラーMSV, 三菱重工技報 Vol.54 No.2 (2017) p.29～33
- (4) 岡田有二ほか, “日本初”R454C 冷媒を用いた空気熱源循環加温ヒートポンプの開発, 三菱重工技報 Vol.56 No.4 (2019)