

(技術資料)

ノンフロン冷媒採用ヒートポンプチラー

岡田和人^{*1} (工学博士)

Heat Pump Chiller Using Non- Fluorocarbon Refrigerant

Dr. Kazuto OKADA

要旨

コベルコ・コンプレッサ(株)における高温水取出スクリュ式ヒートポンプチラーの低GWP冷媒化に向けた技術開発状況と、市場投入したノンフロン冷媒対応機種「HEMⅢ-HR-GNシリーズ」、70℃温水取出機 (HEMⅢ-HR70-GN)、85℃温水取出機 (HEMⅢ-HR85-GN)、排熱回収85℃温水取出機 (HEMⅢ-HR85W-GN)、排熱回収95℃温水取出機 (HEMⅢ-HR95WZ-GN)の性能および加熱能力を示し、日本における導入効果として、HEMⅢ-HR85W-GNを事例に、既存のガス炊きボイラからの置き換えに対する、ランニングコストメリット、CO₂排出量削減効果について試算した結果を紹介する。試算の結果、国内導入においては、少なくとも、温度リフト (温水出口温度と熱源水出口温度との差) が60℃以下、加熱COPが3以上となる運用が望ましいことが分かった。

Abstract

This paper describes the status of technological development aimed at low GWP refrigerants for high-temperature water extraction screw-type heat pump chillers at Kobelco Compressors Corporation, the performance and heating capacity of the HEMⅢ-HR-GN series 70℃ hot water extraction machine (HEMⅢ-HR70-GN), the 85℃ hot water extraction machine (HEMⅢ-HR85-GN), the waste heat recovery 85℃ hot water extraction machine (HEMⅢ-HR85W-GN) and the waste heat recovery 95℃ hot water extraction machine (HEMⅢ-HR95WZ-GN), which are non-fluorocarbon refrigerant compatible models, and introduces the results of calculations of the running cost benefits and CO₂ emissions reduction effect of replacing existing gas-fired boilers with the HEMⅢ-HR85W-GN as an example of the effects of its introduction in Japan. As a result of these calculations, it was found that for the introduction in Japan, it is desirable to operate the system so that the temperature lift (the difference between the hot water outlet temperature and the heat source water outlet temperature) is at least 60℃ or less and the heating COP is three or more.

検索用キーワード

ヒートポンプ, チラー, 低GWP冷媒, ノンフロン冷媒, 熱回収, 冷温同時取出し, 廃熱回収, 高温水取出し

まえばき＝世界的に地球環境問題が重要視される中、国内においては、2020年の菅首相による2050年までのカーボンニュートラル表明、2023年に岸田政権下で閣議決定された脱炭素成長型経済構造移行推進戦略 (GX推進戦略) などによって、高効率な脱炭素化技術として産業用ヒートポンプは再び脚光を浴びるようになってきた。コベルコ・コンプレッサ株式会社 (以下、当社という) においても、燃焼式ボイラを代替するヒートポンプチラーとして温水取出の限界を50℃レベルから70℃、90℃、さらには175℃蒸気までアップさせた機種を市場投入し、CO₂排出量の削減やランニングコストの低減の寄与に努めてきた¹⁾。

いっぽうで、ヒートポンプチラーは、GWP (Global Warming Potential: 地球温暖化係数) の高いHFC冷媒を使用しており、低GWP冷媒への転換が急務となっている。本稿では、当社における高温水取出スクリュ式ヒートポンプチラーの低GWP冷媒化に向けた技術開発の取組状況と、市場投入したノンフロン冷媒 (GWPが1桁と低く、フロン排出抑制法の対象外となる冷媒であり、専門業者による回収や定期点検の義務がなく、フロンによる管理や廃棄コストを削減することが可能) 対応

機種の特徴、その導入メリット試算結果と課題について紹介する。

1. スクリュ式ヒートポンプチラーの低GWP化とノンフロン化の必要性

CO₂排出量の削減に貢献しているヒートポンプは、温室効果の高いフロン類を多く使用している機器でもあり、漏えい時や回収時の大気への放リスクの観点から、これらフロン類に対する排出規制が強化されている。2016年10月のキガリ改正によって、日本を含む先進国は2036年までにHFCの生産、消費量を基準値の85%まで段階的に削減しなければならなくなった²⁾。また、国内においてオゾン層保護法が改正されて、HFC冷媒の新規出荷量の削減により価格上昇を招き、一部のHFC冷媒は入手が困難になりつつある。

さらに、フロン排出抑制法によって、熱源機器メーカーには製品に使用する冷媒の低GWP化およびノンフロン化が要求されることとなり、熱源機器に応じた製品区分ごとに目標GWP値と目標年度が定められ (指定製品化)、目標年度以降は出荷台数ベースの加重平均GWP値を目標値以下とするよう課せられている。2023年4月

^{*1} コベルコ・コンプレッサ(株) 播磨事業所 技術本部 商品開発部

より、当社のスクリュ式チラーも指定製品として、目標GWP値750、目標年度2027年と定められた。³⁾

これらの背景より、当社ではチラー用途ではGWP750以下の低GWP化、温水温度50℃以上のヒートポンプ用途ではノンフロン冷媒への転換を進めており、以下に後者（温水温度50℃以上のヒートポンプ用途）の取り組みを紹介する。

2. 高温水取出スクリュ式ヒートポンプチラーに採用できる低GWP候補

高温水取出スクリュ式ヒートポンプチラーの代表機種に使用されている現行HFC冷媒と低GWP代替冷媒候補を表1に示す。R134a、R245faのGWP値は、1,000前後と高い値を有している。低GWP冷媒候補としてHFO（ハイドロフルオロオレフィン）やHCFO（ハイドロクロフルオロオレフィン）などのいわゆるノンフロン冷媒が提案されているが、不活性ガスまたは特定不活性ガスであること（低毒性、燃焼性が低い）、使用温度における設計圧が現行HFC冷媒機種と同等であること、運転性能が良いこと、入手性に問題がないことなどを考慮し、代替冷媒を選定する必要がある。具体的には、取り出す温水温度条件見合いで、R134aの代替候補はR1234yf、

R1234ze(E)、また、R245faの代替候補はR1224yd(Z)、R1233zd(E)、R1336mzz(Z)などとなるが、いずれもフロン排出抑制法の対象外となる冷媒であり、専門業者による回収や定期点検の義務がなく、フロンによる管理や廃棄コストを削減することが可能となるノンフロン冷媒となる。

R1234yf、R1234ze(E)については、僅かながら燃焼性を有するA2L（微燃性）冷媒（ASHRAEの安全性分類）ではあるが、高圧ガス保安法で「特定不活性ガス」に分類され、機械換気装置（チラー、ヒートポンプとのインタロックが必要）および冷媒漏えい検知警報装置を設置すれば不活性ガスと同等の扱いとなる。

3. ノンフロン冷媒対応高温水取出スクリュ式ヒートポンプチラー

1章で述べた冷媒規制動向を受け、当社で市場投入した、あるいは、市場投入予定の高温水取出および蒸気供給スクリュ式ヒートポンプチラーのノンフロン冷媒対応機種ラインナップについて、横軸に冷水（熱源水）出口温度、縦軸に冷却水（温水）出口温度を取り、適用可能な温度範囲で分類したマップを図1に、代表仕様を表2に示す。

表1 高温水取出スクリュ式ヒートポンプチラーに採用の現行冷媒と低GWP冷媒候補

Table 1 Present refrigerants applied to high temperature screw heat pump chiller and low GWP refrigerant candidates

Refrigerant species	HFC		HFO				HCFO
Refrigerant name	R134a	R245fa	R1234yf	R1234ze(E)	R1233zd(E)	R1336mzz(Z)	R1224yd(Z)
GWP (AR5 ^{※1})	1,300	858	<1	<1	1	2	<1
ASHRAE 34 ^{※2}							
Refrigerant safety classification	A1	B1	A2L	A2L	A1	A1	A1
Classification by act on the safety of high-pressure gases	Inert gas	Inert gas ^{※3}	Specified inert gas	Specified inert gas	Inert gas	Inert gas	Inert gas
Act on rational use and proper management of fluorocarbons	Applicable	Applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable
Boiling point (at 1atm)	-26.1℃	15.3℃	-29.4℃	-19.0℃	18.3℃	33.5℃	14.6℃

※1) IPCC Fifth Assessment Report

※2) American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.,

A : Lower toxic, B : Higher toxic, 1 : Non-flammable, 2L : Mild flammable, 2 : Weakly flammable, 3 : Strong flammable

※3) Depending on the specification conditions, the act on the safety of high-pressure gases does not apply.

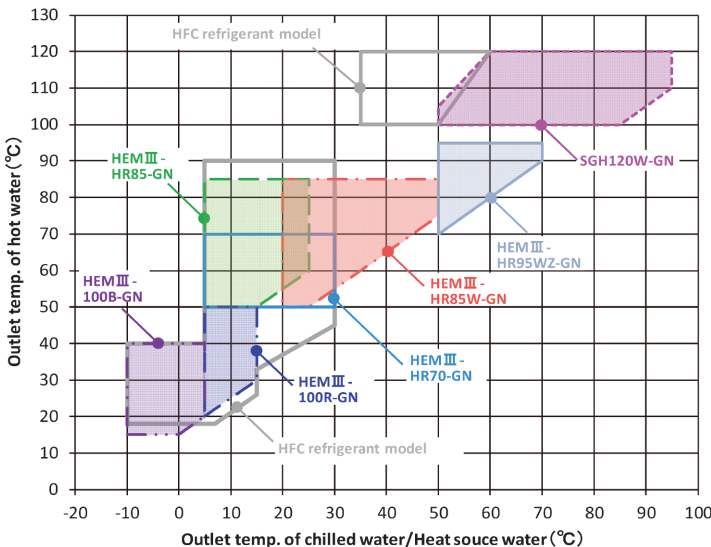


図1 ノンフロン冷媒採用の高温水取出スクリュ式ヒートポンプチラーの運転温度マップ

Fig.1 Operating temperature map of high-temperature screw heat pump chiller filled with non-fluorocarbon refrigerant

表2 ノンフロン冷媒採用の高温水取出スクリュ式ヒートポンプチラーの代表仕様

Table 2 Representative performance of high-temperature screw heat pump chiller filled with non-fluorocarbon refrigerant

Model	Refrigerant	GWP	Outlet temperature range		Representative performance			
			Chilled water Heat source water	Hot water	Cooling capacity	Heating capacity	COP※1	Temperature condition※2
HEMIII-HR70-GN	R1234yf	<1	5~30℃	50~70℃	247.6 kW	359.4 kW	5.3	17/7℃、55/65℃
HEMIII-HR85-GN	R1234ze(E)	<1	5~25℃	50~85℃	156.3 kW	254.1 kW	4.1	17/7℃、70/80℃
HEMIII-HR95WZ-GN	R1224yd(Z)	<1	50~70℃	70~95℃	-	487.6 kW	5.3	65/60℃、90/95℃
HEMIII-HR85W-GN	R1234ze(E)	<1	20~50℃	50~85℃	-	537.9 kW	5.3	55/50℃、80/85℃

※1) HEMIII-HR85W-GN、HEMIII-HR95WZ-GN: Heating COP, HEMIII-HR70-GN、HEMIII-HR85-GN: Total COP

※2) [Chilled water(heat source water) inlet temp.]/[Chilled water(heat source water) outlet temp.] °C, [Hot water inlet temp.]/[Hot water outlet temp.] °C

ノンフロン冷媒への転換にあたり、既存機種（HFC冷媒）において納入実績のある温度範囲を網羅しつつも、後述するようにヒートポンプがより高い効率で運転できる熱源水温度の高温化にも取り組んだ。具体的には、熱源水入口温度範囲をこれまでの40℃から60℃程度まで広げたHEMIII-HR85W(Z)-GN、さらに80℃まで広げたHEMIII-HR95WZ-GNを新たに開発し商品化した。また、蒸気供給ヒートポンプについても熱源水温度の高温化による性能向上を図ったSGH120W-GNを開発中である。

図2に、ユニット内の主要機器構成を示したフロー図を示す。基本的なヒートポンプサイクルを構成する、蒸発器、圧縮機、凝縮器、膨張弁に加え、加熱能力（および冷却能力）の向上と性能アップを図るためにエコマイザを搭載している。また、熱源水温度が高い排熱回収用途では、総じてユニット内の圧縮機吸込側冷媒の密度が大きくなることで冷媒循環質量流量が多くなり、圧縮機の効率向上のために設置していた冷媒過熱器（冷媒熱交換器、図2中に灰色線で記載）での圧力損失が大きくなり、かえってユニット性能が低下してしまう運転となるため、冷媒過熱器（冷媒熱交換器）のない機器構成でまとめた。

図3には、後述する70℃温水取出機HEMIII-HR70-GNのユニット外観写真を示す。幅1.2 m、高さ2.1 m、奥行2.1 m程度の直方体形状の防音カバーに上記主要機器およびインバータや制御盤が収められている。

3.1 70℃温水取出機HEMIII-HR70-GN（温水取出温度50℃～70℃）

70℃温水取出機（HEMIII-HR70-GN）は、スクリュ式水冷ヒートポンプチラーで初となるノンフロン冷媒対応機種HEM-HR70-GN⁴⁾の性能改善を図った後継機種であり、冷水入口温度30℃/冷水出口温度20℃、温水入口温度55℃/温水出口温度65℃の場合で熱回収COP（ヒートポンプチラーのエネルギー消費効率を表す指標の一つで、冷却能力と加熱能力の合計を消費電力で除した値、COPはCoefficient of performanceの略記）8%程度の向上を実現し、2024年4月から販売を開始した機種となる。冷媒はHEM-HR70-GNと同様にR1234yfを採用し、後述するHEMIII-HR85WZ-GNと比較すると加熱能力が大きく、熱負荷が季節により変化する場合など、冷温同時取出運転と冷却専用運転を切り替えての適用が可能である。図4に、HEMIII-HR70-GNの各運転温度条件（出入口温度差10℃）における加熱COP（ヒートポンプチラー

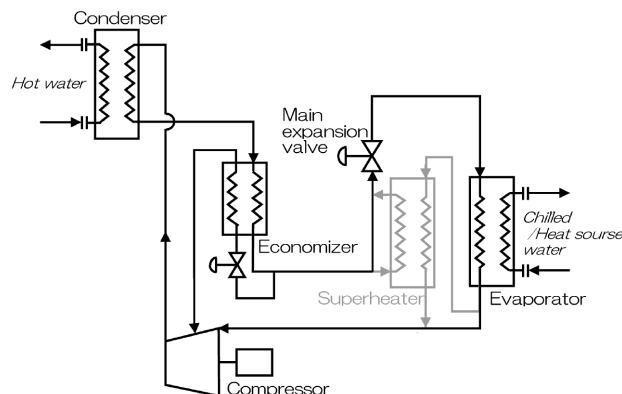


図2 ユニット内の主要機器構成を示したフロー図

Fig.2 Flow diagram showing the main equipment configuration within the unit

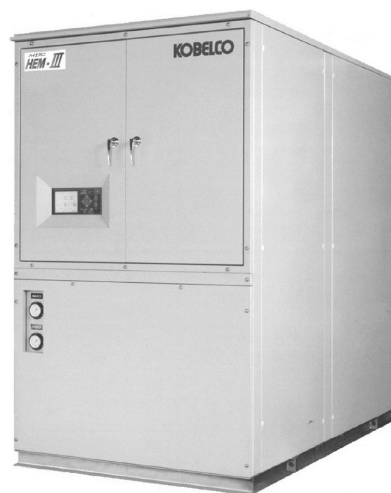


図3 HEMIII-HR70-GNのユニット外観写真

Fig.3 Unit exterior photograph of HEMIII-HR70-GN

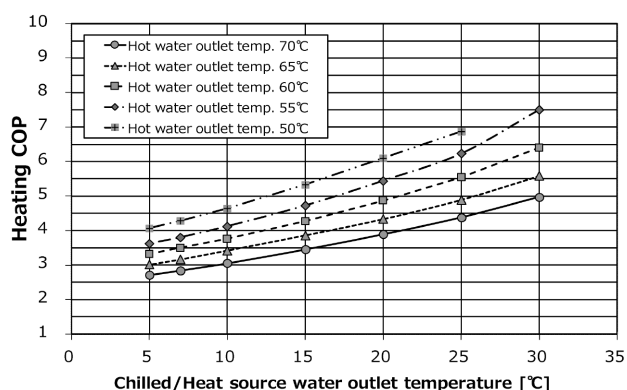


図4 HEMIII-HR70-GNの加熱COP特性

Fig.4 Heating COP characteristics of HEMIII-HR70-GN

一のエネルギー消費効率を表す指標の一つで、加熱能力を消費電力で除した値、COPはCoefficient of performanceの略記)を示す。冷水入口温度40℃/冷水出口温度30℃、温水入口温度45℃/温水出口温度55℃の場合で加熱COP7.5を実現可能である。なお、図1の対応温度マップに記載のとおり、低GWP冷媒採用の冷却専用チラーあるいは熱回収(冷温同時取出)ヒートポンプチラー:HEMⅢ-GL⁵⁾のノンフロン冷媒機として、HEMⅢ-100R/B-GNも2024年4月にラインナップに加えた。

3.2 85℃温水取出機HEMⅢ-HR85(Z)-GN^{注1)}(温水取出温度50℃~85℃)

85℃温水取出機(HEMⅢ-HR85-GN)は、現行のHFC冷媒採用の90℃取出ヒートポンプチラー(HEM-HR90、スクリュ式二段圧縮機を搭載)の温水取出温度領域を、単段圧縮機を搭載して85℃までカバーした冷温同時取出しノンフロン冷媒対応機であり、2020年7月に販売開始したHEM-HR85-GN⁶⁾の運転温度範囲拡大と部分負荷制御安定性のさらなる向上を図った後継機となる。冷媒は、R134aとR245faとの混合冷媒と動作圧力が近くかつGWP1以下のR1234ze(E)を採用した。単段圧縮機を搭載していながら、排熱回収条件(熱源水入口温度35℃/熱源水出口温度25℃、温水入口温度70℃/温水出口温度80℃)においては、従来モデルHEM-HR90の熱回収COP3.7に対し3.6と、遜色ない性能となっており、二段圧縮機と比較し起動温度条件の制約緩和などのメリットを有する機種となっている。また、HEMⅢ-HR85Z-GNは、15~20%程度加熱能力を増量した仕様となる。

3.3 排熱回収95℃温水取出機HEMⅢ-HR95WZ-GN(温水取出温度70℃~95℃)

排熱回収95℃温水取出機(HEMⅢ-HR95WZ-GN)は、プラントエンジニアリングメーカーの木村化工機(株)と共同開発した95℃温水取出機(HEM-HR95-GN)⁷⁾の加熱能力を30%アップした後継モデルであり、低沸点溶剤の蒸留濃縮回収システムやアンモニア回収装置などの省エネ化、省CO₂化を目的に、従来の温水ヒートポンプでは対応できなかった高温排熱の回収に対応したノンフロン対応機種である。これまでの温水ヒートポンプでは、最高40℃までの排温水から熱回収して70℃~90℃の温水供給に対応していたが、本機種は、60℃~80℃というより高温の排温水から熱を回収し、最大95℃の温水供給を可能にしたことで、例えば、熱源水入口温度80℃/熱源水出口温度70℃、温水入口温度80℃/温水出口温度90℃の場合には、加熱COPが8.3と非常に高いCOPでの運用が可能となる。冷媒は蒸気供給ヒートポンプで実績のあるR245faに近い物性でかつGWP1以下のR1224yd(Z)を採用した。

3.4 排熱回収85℃温水取出機HEMⅢ-HR85W(Z)-GN(温水取出温度50℃~85℃)

排熱回収85℃温水取出機(HEMⅢ-HR85W(Z)-GN)は、HEMⅢ-HR95WZ-GNの運転温度域を低温側に広げて、

様々な蒸留プロセスへの適用を可能とした機種である。運転可能温度域は、熱源水出口温度20℃~50℃、温水出口温度50℃~85℃と広範囲にわたり、加熱COPは最大で7.7となる。冷媒は、運転温度帯より、R134aとR245faとの混合冷媒と動作圧力が近くかつGWP1以下のR1234ze(E)を採用した。3.1節に記載のHEMⅢ-HR70-GNと運転温度範囲が重なる条件においては、COPは若干優位となるため、必要となる加熱能力見合いで、機種選定をすることとなる。

3.5 排熱回収120℃蒸気供給機SGH120W-GN(蒸気供給温度100℃~120℃)

排熱回収120℃蒸気供給機(SGH120W-GN)は、SGH120の後継機として、熱源水温度の高温化による加熱COPの向上を図ったものであり、現在、鋭意開発中である。図1にSGH120W-GNの対応温度領域を破線多角形で示しており、膨張弁の耐熱温度を上げることで、熱源水出口温度を現行SGH120での60℃から95℃まで広げ、加熱COPも3.5から5.5程度まで向上の見込みである。冷媒は、HEMⅢ-HR95WZ-GNと同様に、R1224yd(Z)を採用する予定である。

4. ノンフロン冷媒対応スクリュ式ヒートポンプチラー導入によるランニングコストおよびCO₂排出量の削減効果試算

4.1 ヒートポンプチラーの温度リフトと加熱COP

3章で詳述した各機種に関して、温水出口温度と熱源水(冷水)出口温度の差(温度リフト)を横軸に、加熱COPを縦軸にプロットしたグラフを図5に示す。ユニットのプラットホームが共通化されている(熱交換器や圧縮機などの主要機器が共通)こと、採用した冷媒の臨界温度が作動温度帯よりも十分高いこともあり、機種、冷水(熱源水)温度、温水温度の絶対値によらず、おおむね一つの曲線で整理できることが分かる。

ヒートポンプチラー導入により期待されるメリットは、省エネルギー化、ランニングコスト削減、および、CO₂排出量の削減となる。日本では省エネ法の中で、各種二次エネルギーの一次エネルギーへの換算係数が定められており、電力については、2023年4月に施行された

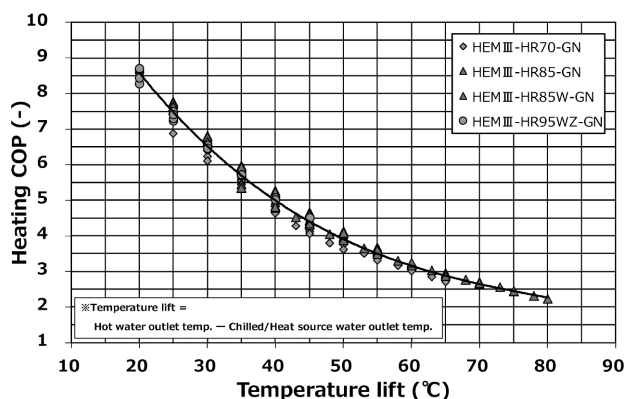


図5 ノンフロン冷媒対応高温温水取出スクリュ式ヒートポンプチラーの加熱COP特性

Fig.5 Heating COP characteristics of high-temperature screw heat pump chiller filled with non-fluorocarbon refrigerant

脚注1) HEMⅢ-HR85(Z)-GNはHEMⅢ-HR85-GNとHEMⅢ-HR85Z-GNの総称である。(以下同様)

改正省エネ法で、一次エネルギー換算係数が2.4(8.64MJ/kWh)に引き下げられたら、化石燃料については輸送などに伴う損失は無視し、1となっている。CO₂排出係数については、林本の研究⁸⁾により、13AガスのCO₂排出係数は2.23kg-CO₂/Nm³(=0.0549kg-CO₂/MJ)、電気のCO₂排出係数は438kg-CO₂/kWh(=0.1217kg-CO₂/MJ)となり、その比は2.22となる。電気とガスの価格比(二次エネルギー価格比)については、甲斐田の研究⁹⁾から、2011年の東日本大震災を契機とした原子力発電所の長期停止や2012年に開始された再生可能エネルギー発電促進賦課金(再エネ賦課金)によって、2014年頃から電力単価が燃料単価と比べて相対的に高くなり、再エネ賦課金込で2.92(再エネ賦課金なしで2.44)となる。後述する試算結果からわかるように、省エネ性、環境性、経済性の観点から、少なくともCOP3以上を目安とした温水出口温度と熱源水(冷水)出口温度の差(温度リフト)60℃以下となるような導入計画を推奨する。

4.2 ヒートポンプチャラーの加熱能力特性

3章での各機種の温水取出最高温度条件において、定格運転時の加熱能力を、上限および下限の温水出口温度それぞれについて、熱源水(冷水)出口温度に対してプロットしたグラフを図6に示す。いずれの機種も、熱源水(冷水)出口温度が高くなるにつれて加熱能力は上昇するが、HEMⅢ-HR85-GNを除いた3機種はユニット機器構成が同等であり、熱源水(冷水)出口温度が同じ条件で加熱能力に差異が見られるのは、充填している冷媒種の物理特性の違いによる(単位体積あたりの蒸発および凝縮熱容量がR1234yf>R1234ze>R1224yd(Z)となる)ところが多い。温水出口温度が低い場合の方が、加熱能力が大きくなっているのは、温水出口温度と熱源水(冷水)出口温度の差(温度リフト)が小さいほど、圧縮工程での比エンタルピー差が小さくなり、同じ圧縮機消費動力に対して圧縮機回転数を高く(冷媒循環質量流量を大きく)できるためである。ヒートポンプチャラーの導入検討にあたっては、運用予定の温度条件と熱需要パターンに基づき、ヒートポンプチャラー側の加熱能力を確認の上、熱需要に見合ったユニット台数を選定することとなる。

4.3 ランニングコストおよびCO₂排出量の削減効果試算事例

代表例として、排熱回収85℃温水取出機(HEMⅢ-HR85W-GN)にて、熱源水温度55/50℃~25/20℃、温水温度80/85℃とし、ボイラの蒸気利用効率(ボイラで生成した蒸気のうち、蒸気配管での熱損失などを加味した、実際にプロセスなどで利用される蒸気の比率)を90%と仮定した場合の、加熱COPに対するランニングコスト削減率、および、CO₂排出量削減率をプロットした結果を、図7に示す。ここで、4.1節に記載のとおり、電気と13Aガスの価格比(二次エネルギー価格比)は2.92とし、CO₂排出係数比は2.22とした。熱源水の温度条件によって加熱COPは3未満から5超まで変化し、これに伴いランニングコスト削減率は4%から50%まで、CO₂排出量削減率は27%から62%まで大きく変化する。

メリットが見込める下限の加熱COPは、ランニングコストで2.63、CO₂排出量削減で2.00となる。図8には、温水温度80/85℃とし、熱源水温度55/50℃、40/35℃、25/20℃の3ケースについて、HEMⅢ-HR85W-GN導入前におけるボイラの蒸気利用効率に対するランニングコスト削減率、および、CO₂排出量削減率をプロットした結果を示す。

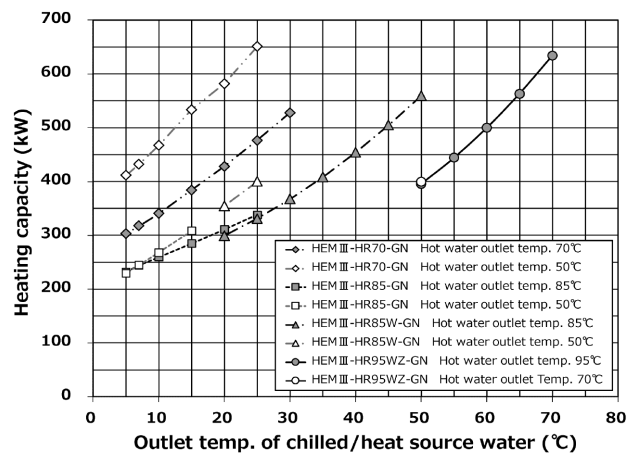


図6 ノンフロン冷媒対応高温水取出スクリュ式ヒートポンプチャラーの加熱能力特性

Fig.6 Heating capacity characteristics of high-temperature screw heat pump chiller filled with non-fluorocarbon refrigerant

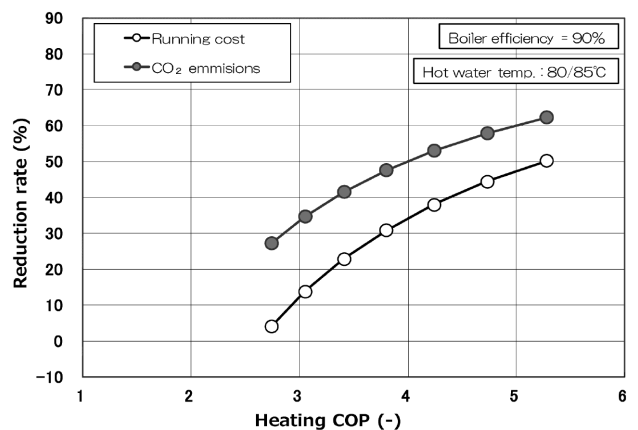


図7 HEMⅢ-HR85W-GN導入メリット評価(加熱COPの影響度)
Fig.7 Evaluation of the merits of introducing HEMⅢ-HR85W-GN (influence of heating COP)

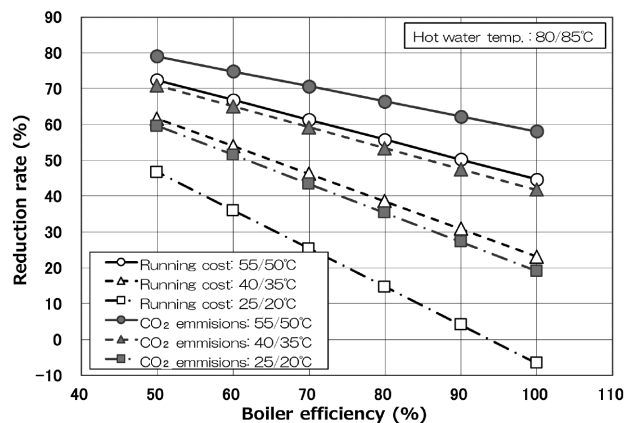


図8 HEMⅢ-HR85W-GN導入メリット評価(ボイラー効率の影響度)

Fig.8 Evaluation of the merits of introducing HEMⅢ-HR85W-GN (influence of boiler efficiency)

一般に、ボイラの蒸気利用効率は、60%から最大でも85%と言われ¹⁰⁾、この値により、ヒートポンプチラーの導入効果が大きく影響を受けることが分かる。

むすび= 2050年までのカーボンニュートラル実現を目指す中、中長期的に見て産業用ヒートポンプの普及促進は必須であるが、現時点において、燃焼系機器と比べ初期費用が高いことや高度なエンジニアリングが必要になること、再エネ賦課金が電力のみに課せられていることなどが導入障壁になっている状況にある。これら導入障壁を緩和するための取り組みとして、国内におけるエネルギー政策の見直しに期待するとともに、熱源機器メーカーである当社においては、今後も継続して新たな製品開発を推し進めることで、全地球規模的な脱炭素化社会の実現に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 田下友和ほか. エレクトロヒート. 2018, No.220, p.19-24.
- 2) 環境省. モントリオール議定書第28回締約国会合の結果. https://www.env.go.jp/earth/ozone/montreal/mop28_result.html, (参照2025-03-23).
- 3) 経済産業省HP. 第18回産業構造審議会製造産業分科会化学物質政策小委員会フロン類等対策ワーキンググループ. 資料6：新たな指定製品の目標値及び目標年度の設定等について(案). https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/kagaku_busshitsu/flon_taisaku/018.html, (参照2025-03-23).
- 4) ㈱神戸製鋼所. 「グリーン冷媒」採用の水冷式高温ヒートポンプ「HEM-HR-GN/GLシリーズ」を販売開始 ～55℃から95℃温水取出機をラインアップ(95℃温水取出機：木村化工機㈱共同開発)～. https://www.kobelco.co.jp/releases/1201980_15541.html, (参照2025-03-23).
- 5) 岡田和人. BE 建築設備. 2022, 9月号, p.25-32.
- 6) 岡田和人. エレクトロヒート. 2021, No.237, p.28-32.
- 7) 坂口勝俊ほか. エレクトロヒート. 2020, No.234, p.12-20.
- 8) 林本伸章. ボイラ研究. 2017, 第405号, p.45-48.
- 9) 甲斐田武延. エレクトロヒート. 2024, No.257, p.43-48.
- 10) 林本伸章. ボイラ研究. 2020, 第419号, p.51-55.