

(解説)

90°C温水取り出し空気熱源ヒートポンプ「HEM-90A」

Air-sourced 90°C Hot Water Supplying Heat Pump, "HEM-90A"



大上貴博*1
Takahiro OUE



岡田和人*1
Kazuto OKADA

Kobe Steel has developed the Air-sourced Hot Water Supplying Heat Pump "HEM-90A," which has the capability of extracting 65-90°C of hot water for the heating process of factories dealing with such items as foods, beverages, automobiles, chemicals, etc. The new developed heat pump is able to realize the highest energy efficiency as an air-sourced hot water supplying heat pump under circulation heating, by means of adopting a semi-hermetic two-stage twin-screw compressor modified for high temperature operation, as well as selecting adequate refrigerants and optimizing the air-sourced evaporator unit. In this paper, we introduce the features and the performance of our new developed heat pump.

まえがき = 飲料、食品、自動車などの生産工場では、原材料の洗浄や殺菌、塗装といった高温水を必要とする様々な工程が存在する。これら高温水の熱源として従来、燃焼式ガスボイラやヒータが適用されてきたが、近年、ヒートポンプの省エネ性が高く評価され、これらの代替熱源として普及が進みつつある。

当社では、2009年には70°Cまでの温水と冷水の同時供給可能な「ハイエフミニシリーズHEM^{注1)}-II HR」を、さらに2010年には90°Cまでの温水と冷水の同時供給が可能な「ハイエフミニシリーズHEM-HR90」を他社に先駆けて商品化し、各種生産工程にて活用されている^{1), 2)}。本熱源機は、冷水と温水を同時に供給するため高いエネルギー利用率を実現できる。とくに、冷熱温熱ともにベースロードとして活用することでそのメリットを生かせる反面、熱需要がそれほど大きくない用途の場合には冷熱温熱の負荷バランスを取る必要があり、ユーザーズによっては導入を見送られるケースもあった。

そこで当社では、ヒートポンプのさらなる普及を図るべく、温水供給に冷水負荷が不要な「空気熱源温水ヒートポンプHEM-90A」を開発し、2012年5月より販売を開始した。本稿では、当該開発機のシステム構成をはじめ、特徴や性能などについて紹介する^{3), 4)}。

1. HEM-90Aの特徴

1.1 概要

図1に「HEM-90A」のフロー図を示す。従来の冷温同時取出機「ハイエフミニシリーズHEM-HR90」では、蒸発器にて冷水からの熱を冷媒液の蒸発潜熱として汲上げ

げ、気化した冷媒ガスをスクリュウ式圧縮機にて昇圧し、凝縮器にて冷媒ガスの凝縮潜熱を温水に与える構造となっている。冷温同時利用のためCOP^{注2)}は非常に高く維持できるが、取出せる冷熱量と温熱量の比率は冷水温度と温水温度で一義的に決まり、顧客の用途によっては冷熱温熱の負荷バランスを取る必要があった。

顧客が当社熱源機を利用するうえでの制約を極力減らすために、「HEM-90A」では蒸発器として空気熱交換器を採用して冷水負荷をなくし、空気からの熱を冷媒液の蒸発潜熱として汲上げることで、ヒートポンプサイクルによる高温水のための供給が可能となった。

「HEM-90A」の概略仕様、性能、および冷凍サイクルをそれぞれ表1、表2、および図2に示す。

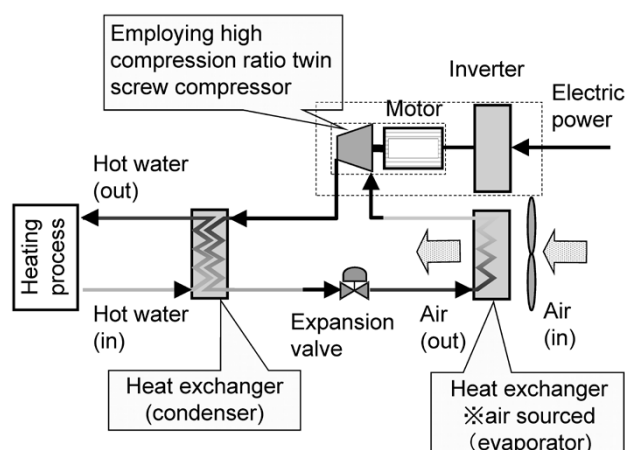


図1 HEM-90Aのフロー図
Fig. 1 Flow diagram of HEM-90A

脚注2) Coefficient Of Performance : システム投入電力に対する出力熱量、すなわちエネルギー効率を表す指標。

脚注1) HEMは当社の登録商標である。

*1 機械事業部門 圧縮機事業部 冷熱・エネルギー部

表1 概略仕様
Table 1 Specification

Dimension (m)	L 2.84×W 1.54×H 2.70
Weight (kg)	2,990
Refrigerant	Mixture of HFC-134a and HFC-245fa
Hot water temperature at outlet (°C)	65~90
Ambient temperature (°C)	-10~40
Compressor	semi-hermetic two-stage twin-screw

表2 性能(外気温度: 25°C)
Table 2 Performance (ambient temperature: 25°C)

Performance (condition ①)		55/65
Hot water temp. (°C)		
Heating capacity (kW)		159.1
Power input (kW)		45.2
Heating COP		3.5
Performance (condition ②)		80/90
Hot water temp. (°C)		
Heating capacity (kW)		176.2
Power input (kW)		62.9
Heating COP		2.8

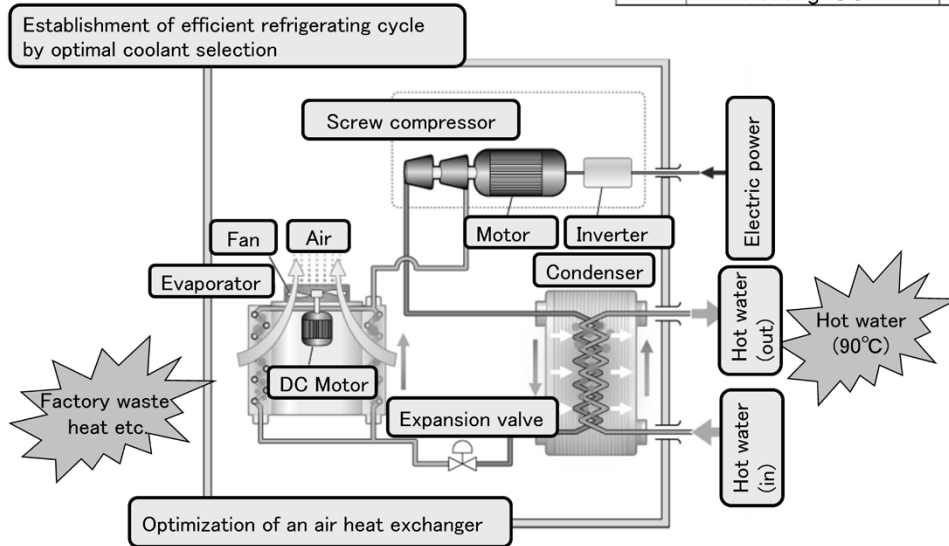


図2 HEM-90Aの冷凍サイクル
Fig. 2 Refrigerating cycle of HEM-90A

1.2 特長

今回開発した「HEM-90A」は、「HEM-HR90」の技術を活用した。90°Cまでの高温水取出し条件においても高い効率を維持する2段スクリュウ圧縮機を採用すると同時に、空気熱交換器の最適設計と最適な冷媒選定などを行うことによってエネルギー効率の高い運転を可能とした。その結果、加熱COP3.4(外気温度25°C、温水60/70°C条件)という、循環加温式の空気熱源温水ヒートポンプとしては最高のエネルギー効率を実現している。ここで、加熱COPとはヒートポンプユニットへの投入電力に対する加熱熱量の比率とする。

水熱源式と比べ配管が少なく済むうえに、空気熱源でありながらコンパクト設計(設置面積: 約4.4m²)とした。このため、温水が必要なプロセスの直近に設置することが可能であり、従来の中央熱源から蒸気または温水を供給する場合に対して熱搬送損失の大幅な低減が見込める(詳細は4章で述べる)。

2. 高効率化技術

2.1 高圧縮比小形2段スクリュウ圧縮機

図3に「HEM-90A」で採用した小形2段スクリュウ圧縮機と単段圧縮機の概略図を示す。通常の空調機あるいは冷凍機用途向けに開発した小形2段圧縮機を高温水供給用途に適用すべく、高温条件下でもモータ冷却性能を

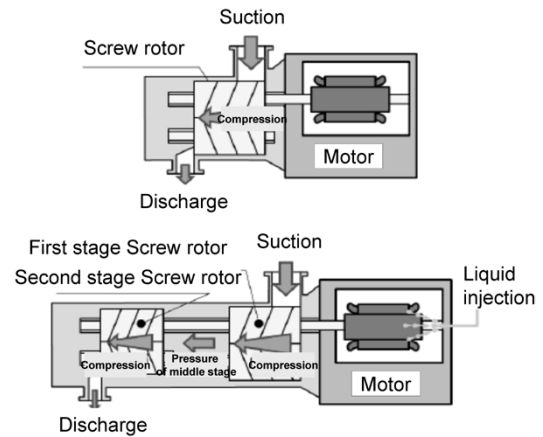


図3 圧縮機概略図
Fig. 3 Schematic view of compressor

確保するために、フラッシュした冷媒をモータに直接噴霧する冷却方法を採用した。

図4に圧縮機の効率(断熱効率)と圧縮比の関係を示す。ここで、圧縮比とは圧縮機の吐出圧力と吸込圧力の比を示しており、ヒートポンプでは外気温度と温水との温度差が大きくなるほど圧縮比を大きくする必要がある。図に示したようにHEM-90Aの運転範囲は、外気温度あるいは温水温度によっては単段スクリュウ圧縮機では圧縮機効率が大幅に低下するような高圧縮比運転条件となる。このためHEM-90Aは、広い圧縮比の範囲で高効率

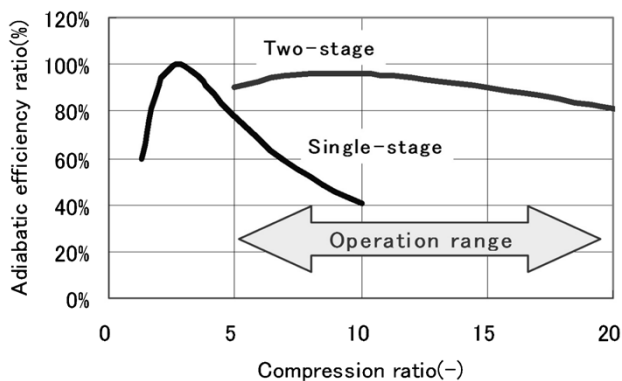


図4 圧縮機の効率比
Fig. 4 Adiabatic efficiency ratio of compressor

を維持できる2段スクリュウ圧縮機を採用し、高いシステム性能を実現した。

2.2 空気熱交換器の最適化

空気熱交換器（蒸発器）には、プレートフィンチューブ型熱交換器を採用した。空気熱交換器において各伝熱管への冷媒分配に偏りが生じると、冷媒供給が少ない伝熱管にて冷媒出口付近でドライアウトを起こす。また、プレートフィンを通る空気流れに偏流がある場合も伝熱面を有効に活用できない。これらの現象は伝熱性能の低下を招く要因となる。

さらに今回、冷媒はフルオロカーボンであるHFC-134aとHFC-245faとを混合して使用した。このため非共沸となり、冷媒のクオリティ（ある断面における冷媒ガスおよび冷媒液の質量流量比）に依存して蒸発温度が変化する。また、HFC-134a単体に比べて粘度が高く熱伝導率が低いため、同じ質量速度条件では蒸発熱伝達が相対的に低くなってしまふ。

そこで、上述したような空気熱交換器の設計上の留意点を勘案し、伝熱管には内面溝付管を採用し、プレートフィンにはルーバ型を採用した。また、冷媒の分配機構や伝熱管群の配置、ユニットの設置面積を加味したファンの仕様選定と空気熱交換器を含めたレイアウトの最適化を行うことにより、高い伝熱性能とファン動力の最小化を実現した。

2.3 最適な冷媒選定

90℃の温水を供給する場合、冷媒HFC-134aでは気相と液相の相転移が起こる限界の温度である臨界温度（101.1℃）とほぼ同等の温度となり、効率の良い冷凍サイクルを構築することはできない。そこで「HEM-90A」では、「HEM-HR90」でも実績があるうえにHFC-134aより臨界温度が高く（157.5℃）、市場の入手性も良いHFC-245faをHFC-134aに混合して使用する方法を採用した。

混合冷媒の採用により単元冷媒サイクルを実現し、二元冷媒サイクルで必要となる複数台の圧縮機、低元側と高元側の熱授受のための熱交換器が不要となる。

3. 性能特性

図5および図6にそれぞれ、外気温度に対する加熱能力およびCOPの特性を示す。代表的な運転条件として、外気温度25℃、温水出口温度70℃（温水入口温度60

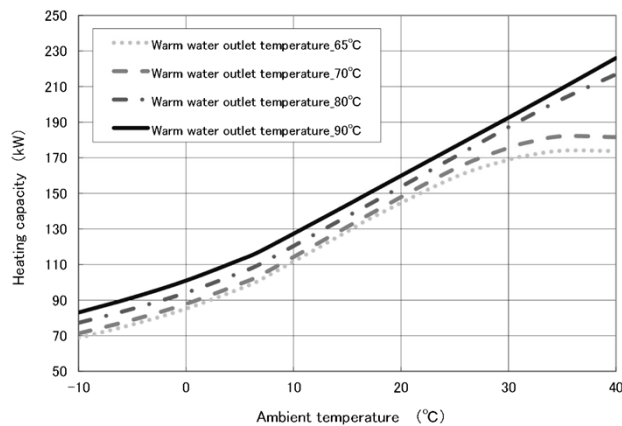


図5 外気温度と加熱能力の関係
Fig. 5 Relationship between ambient temperature and heating capacity

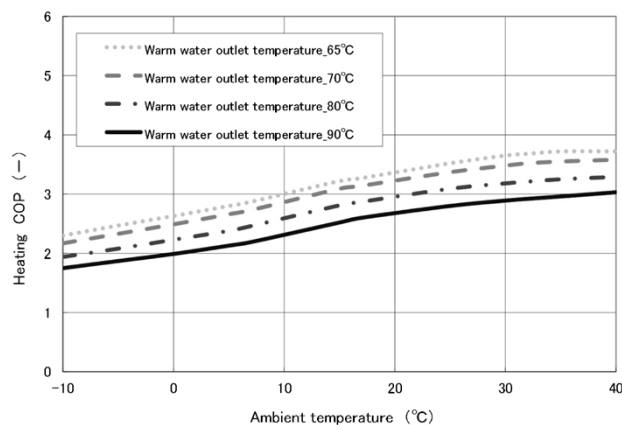


図6 外気温度と加熱COPの関係
Fig. 6 Relationship between ambient temperature and heating COP

℃) の場合では、加熱能力163.8kW、加熱COP3.4を実現し、温水取出の最高温度となる90℃（温水入口温度80℃）の場合でも、加熱能力176.2kW、加熱COP2.8を実現している。

空気熱源式ヒートポンプで初めて90℃温水を取出すと同時に、高いエネルギー効率を達成することが可能となった。

4. 導入効果

飲料、食品、自動車などの生産工場には排熱が少なからずある。図7に示すとおり、既存プロセスにおいて、ガスボイラから各プロセスへ蒸気を供給する場合、蒸気供給配管での熱損失や減圧弁での圧力損失が生じる。また、プロセスで使用後のドレンが十分に再利用されていないケースも多く、システム全体の損失が約70%にも達するという事例も報告されている⁵⁾。

そこで、蒸気を使用する工程の近くに「HEM-90A」を設置することにより、蒸気配管からの熱損失の削減、および生産プロセスより排出されている未利用排熱の有効活用といったメリットが期待できる。すなわち、工場内雰囲気へ放出された排熱の一部を回収し、ヒートポンプサイクルによって高温水を生成することができる。

ここで、そのときのメリットの定量的評価を行った。温水出口温度70℃（入口温度60℃）、産業用途で年間8,000h運転、既存のガスボイラのシステム効率を50%と

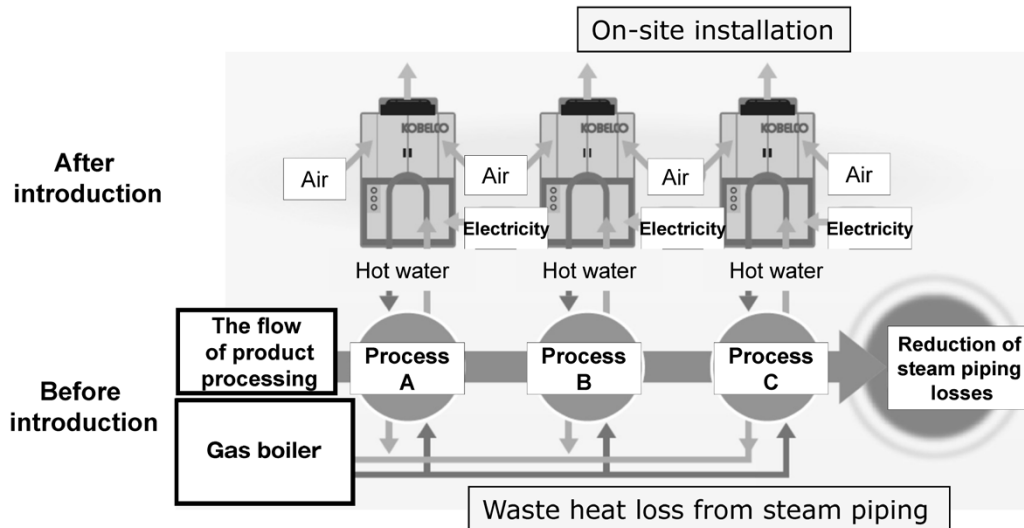


図7 ガスボイラとHEM-90Aのプロセスへの導入方法
 Fig. 7 Introduction method of gas boiler and HEM-90A to a process

した場合、「HEM-90A」によるランニングコストは58%削減(図8)、エネルギー消費量は56%(図9)の大幅な削減が見込める。なお、外気条件は東京、名古屋、大阪地区における平均気温、電気料金単価は12円/kWh、ガス料金単価は57円/Nm³を採用した。

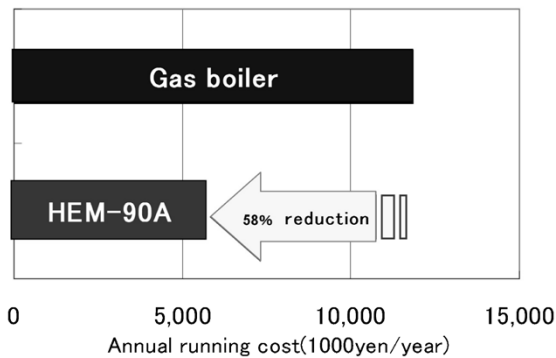


図8 年間ランニングコストの試算
 Fig. 8 Estimation of annual running cost

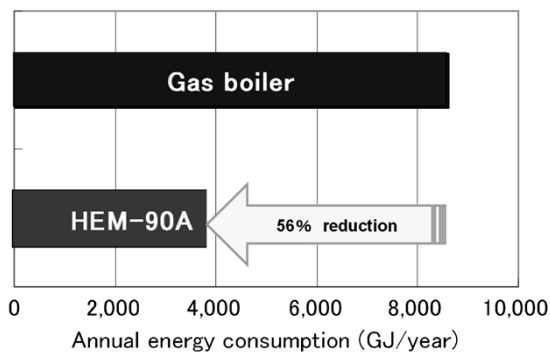


図9 年間エネルギー消費量の試算
 Fig. 9 Estimation of annual energy consumption

むすび=近年、東日本大震災後の国内の電力需給が逼迫するなか、石油や天然ガスをはじめとする化石燃料の高騰が懸念されている。こうした状況から今後は、リスク分散と省エネルギーの両観点から、既存の燃焼式ボイラと電動式の空気熱源ヒートポンプHEM-90Aとのベストミックスが図られるものと考えられる。また、ヒートポンプを産業用途に導入するにあたっては、製造工程ごとに熱利用の方法が異なるため、各工程の実態を具体的に把握し、経済性、省エネルギー性など、事前検討による導入メリットを見極めることが重要であると考えられる。

今後ともユーザーズに合致した熱源機の提案を推し進め、産業用ヒートポンプの普及拡大に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 下田平修和. 建築設備と配管工事. 2009年8月号, No.631, p.28-30.
- 2) 下田平修和. 建築設備と配管工事. 2010年9月号, No.647, p.23-25.
- 3) 大上貴博ほか. 2012年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集. p.275-276.
- 4) 下田平修和ほか. エレクトロヒート. 2012年9月号
- 5) ECCJ省エネルギーセンター. 平成19年度 省エネルギー優秀事例全国大会. <http://www.eccj.or.jp/succase/07/b/26kan10.html>, (参照2013-04-09).