

日本冷凍空調学会賞 技術賞

スクローターリー圧縮機を搭載した 業務用 CO₂ ヒートポンプ給湯機

Commercial Use CO₂ Heat Pump Water Heater with Scrotary Compressor

1. はじめに

近年、地球温暖化防止のため、オイル、ガス焚きによる給湯、暖房から、CO₂ 排出量の少ないヒートポンプへの移行が進んでいる。CO₂ 冷媒は、地球温暖化係数がHFC 対比 1/1 000 以下であることに加え、冷媒物性上、高い出湯温度を得ることができるため、ヒートポンプ給湯機に採用され、市場に浸透しつつある。しかし一方で、従来のヒートポンプ給湯機は、外気温度の低下に伴い加熱能力と効率が大幅に低下する欠点から、寒冷地では普及していないのが現状である。これら課題を克服し寒冷地でのヒートポンプの普及に貢献するため、高効率スクローター式 CO₂ 二段圧縮機を搭載することで、低外気温度時の加熱性能を著しく向上させた業務用 CO₂ ヒートポンプ給湯機“キュートン ESA30”を開発した。

2. スクローターリー圧縮機の特徴

2.1 開発機のコネプト

CO₂ 冷媒の高圧と低圧の圧力差は、従来の HFC と比べて数倍大きくなる。このため、圧縮行程における隙間漏れや機械損失が増加し、圧縮機効率が低下する。このデメリットをリカバーするため、それぞれの圧縮段階での差圧を半減させる二段圧縮構造を採用した。また、低外気温度時の加熱能力増加およびシステム COP 向上のため、中間圧ガスインジェクション機構を設置した。

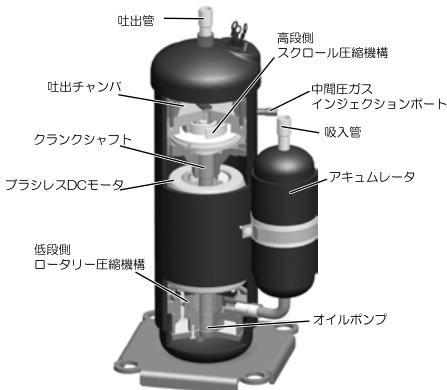


図1 スクローターリー圧縮機の構造



小林寛之* Hiroyuki KOBAYASHI
小林隆之* Takayuki KOBAYASHI
吉田 茂* Shigeru YOSHIDA
木全央幸* Yoshiyuki KIMATA
佐藤 創* Hajime SATO

2.2 圧縮機形式の選択

一般的に、ロータリー圧縮機は低差圧時の効率が良く、スクロール圧縮機は高差圧時の効率が良いことが知られている。また、ヒートポンプ給湯機に中間圧ガスインジェクションを備えた二段圧縮冷凍サイクルを採用する場合には、冷凍サイクルの特性から高段側の方が低段側よりも圧力差が大きくなる。したがって、圧縮機効率の観点から低段側にロータリー圧縮機構、高段側にスクロール圧縮機構を採用し、ハウジング内を中間圧とし、ガスインジェクション機構を備えた構造とした。

2.3 スクローターリー圧縮機の構造

図1にスクローターリー圧縮機の構造を示す。本圧縮機は中央にあるブラシレス DC モータにより駆動され、モータの両側に2つの圧縮機構を配置した。低段側のロータリー圧縮部はモータの下側に配置し、アクキュムレータから繋がった吸入管に接続している。高段側のスクロール圧縮部はモータの上側に配置し、吐出チャンバを介して吐出管に接続している。冷媒ガスは、低段側のロータリー圧縮室に吸入され、中間圧力まで圧縮される。圧縮されたガスはハウジング内に吐出される。イン

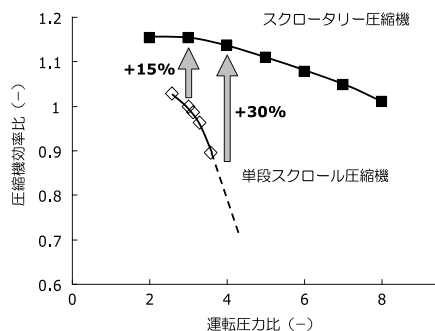


図2 運転圧力比に対する効率変化

ジェクションガスは、ハウジングに備えられた中間圧ガスインジェクションポートを介してハウジングに吸入され、低段側で圧縮されたガスと混合する。その後、高段側圧縮室に吸入され、吐出圧力まで圧縮される。

2.4 スクローターリー圧縮機の効率

図2に運転圧力比を変化させた場

*三菱重工業(株)
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
原稿受理 2012年2月15日

合の、スクロータリー圧縮機と、従来の単段スクロール圧縮機との効率比較を示す。単段スクロールでは、運転圧力比の上昇に伴い性能が低下している。一方、スクロータリー圧縮機は二段圧縮の効果により、運転圧力比の変化に伴う効率低下はわずかである。スクロータリー圧縮機は、従来機対比定格条件において15%、ヒートポンプ給湯機の低外気温度条件となる高圧力比条件において30%以上の効率向上を達成した。

3. キュートン ESA30 の特徴

3.1 開発機のコネプト

寒冷地でのニーズに対応するため、外気温度が低下しても加熱能力およびエネルギー消費効率を維持すること、極寒地域の外気温度-25℃でも90℃の出湯が可能で、ヒートポンプ給湯機としての実用性を備えることを開発コンセプトとした。また、製品の定格加熱能力を、介護保険施設の厨房施設などの給湯負荷に適した30kWとすることで、法定冷凍トンが3トン未満となり、家庭用と同様に、現地での修理などを迅速に行えるようにした。

3.2 開発機の特徴

図3は、開発機の外観を示す。昼夜運転により、一日約8tの給湯負荷(100kW 燃焼式温水ボイラに相当)に対応することができる。



図3 開発機外観

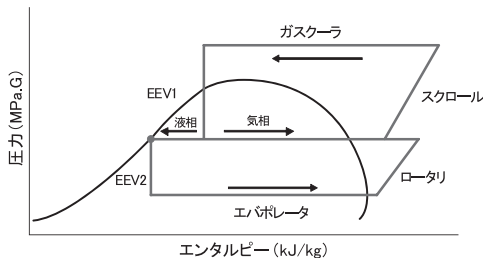


図4 冷凍サイクル

図4は、スクロータリー圧縮機を搭載した開発機の冷凍サイクルを示す。冷媒は、ガスクーラ後流の膨張弁EEV1で減圧され二相状態となり、気液分離器で液とガスに分離される。潜熱変化による吸熱が期待できない冷媒ガスは、エバポレータをバイパスし直接圧縮機の間圧ハウジングに吸入され、ガスクーラへの冷媒循環量を増加させ加熱能力をアップさせる。また、単段圧縮機の冷凍サイクル対比では、低段側の冷媒循環量が減少し、動力が低減することで、COPの向上に寄与する。

図5は、従来のインバータヒートポンプ給湯機と開発機の外気温度に対するCOPの変化を示す。外気温度の低下に伴い、COPは低下するが、開発機は従来機対比低下率が小さく、外気温度-7℃付近で従来機対比+38%以上のCOP向上を実現した。さらに、開発機は外気温度-25℃でもCOPが2.27であり、寒冷地でも十分にヒートポンプのメリットを出せる性能を持つ。

図6は、外気温度に対する加熱能力特性を示す。従来機の加熱能力は、外気温度-15℃で定格対比30%低下する。一方、スクロータリー圧縮機を搭載した開発機は、-7℃まで定格能力を維持することができ、-15℃では定格能力対比18%の低下と従来機対比12%の能力向上を果たした。この結果、燃焼効率78%、熱ロス10%の100kW温水ボイラと比較すると、開発機は年間40t(65%)のCO₂排出量削減が可能となると試算している。

4. おわりに

ロータリー圧縮機構とスクロール圧縮機構を併せ持ち、圧縮行程での洩れおよび機械損失を低減し、従来機対比定格条件で15%、低外気温度条件で30%の効率向上を達成したスクロータリー式CO₂二段圧縮機を開発した。

スクロータリー圧縮機を搭載し、ガスインジェクションサイクルを採用することで、外気温度が-7℃まで定格能力を維持し、従来機対比38%のCOP向上を達成した-25℃まで運転が可能な業務用ヒートポンプ給湯機“キュートン ESA30”を開発した。

本圧縮機および給湯機の技術を、順次空調・冷凍機器の省エネルギー化に展開することで、地球環境保全に貢献していきたい。

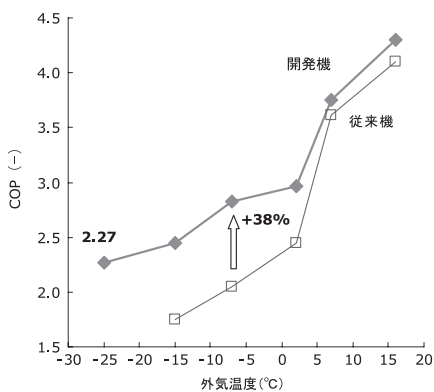


図5 外気温度に対するCOP特性の比較

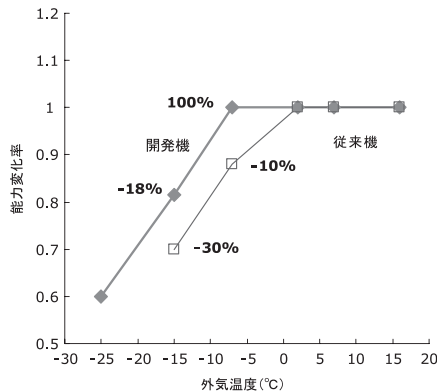


図6 外気温度に対する加熱能力特性の比較