

特集 給湯機用CO₂冷媒ヒートポンプユニット*

Water Heater Using CO₂ Heat Pump

大矢直弘
Naohiro OHYA

高津昌宏
Masahiro TAKATSU

加藤裕康
Hiroyasu KATO

吉井桂一
Keiichi YOSHII

森本正和
Masakazu MORIMOTO

This paper presents our new CO₂ heat pump, a new ejector cycle “EJECS[®]II”, developed for water heater to improve efficiency of the pump. In order to improve the efficiency, we have mainly focused on the frost formation of the evaporators and the circulation flow rate of compressor lubrication oil as key technical efficiency improvement items. Through our investigation, firstly, it was clarified that the different temperature between the upwind and downwind evaporators makes the frost formation time longer and consequently, it brings an efficiency improvement. Accordingly, we have developed the new system with the above-mentioned evaporators using the pressure increase function of the ejector in a creative manner. Secondly, it was clarified that the suppression of the amount of oil getting mixed with the refrigerant in the heat exchanger provided an efficiency improvement. Thus, by using the EJECS[®] II and a high-efficient oil separator of the scroll compressor, the oil circulation flow rate was suppressed, and consequently, the heat pump efficiency was improved. In addition to the above, the gas cooler was also improved to be more efficient and have a lower pressure drop by adapting ultrafine offset fins. As a result, the efficiency of our new CO₂ heat pump increased by about 16% compared with that of the current heat pump.

Key words : Heat pump, Ejector, Scroll compressor, Gas cooler

1. はじめに

日本のエネルギー消費の約14%は「家庭用」で、その中でも「給湯用」が約28%を占めており、「給湯の省エネルギー」が温暖化対策の大きなポイントであるとされている。我々は2001年に従来の燃焼式給湯機と比較して約30%の省エネルギーが可能なエコキュートを世界に先駆けて開発、量産化、発売して普及に努めてきた。その後、年々市場は拡大し、2013年10月にエコキュートの累積出荷台数は400万台に達している。また販売開始直後の2001年に対し、JIS C 9220:2011にて規定される中間期標準条件のCOPをこれまでに約26%向上してきたが、本論文では、更なる省エネルギー化を実現した新型給湯機用CO₂ヒートポンプユニットについて紹介する。

2. システム概要

開発したヒートポンプユニットの主な仕様をTable 1に、製品外観図をFig. 2に示す。Table 1にはJIS C 9220：2011に規定される中間期標準条件における加熱能力、消費電力、COPを示す。

Table 1 Product Specifications

	Specifications	
Size [mm]	690H×820W×300D	
Weight [kg]	約 58kg	約 59kg
Thermal capability	4.5kW	6.0kW
Power consumption	0.885kW	1.230kW
COP	5.1	4.9

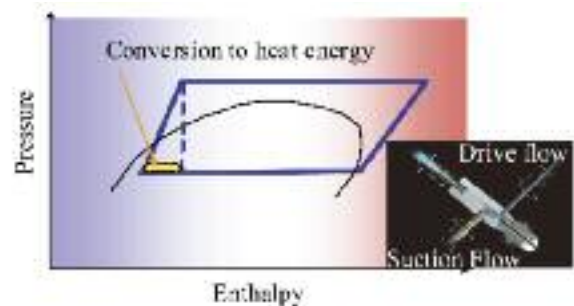


Fig. 1 Mechanism of the ejector

* (社) 日本冷凍空調学会の了解を得て、「2011年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集」より、一部加筆して転載



Fig. 2 Appearance of heat pump

3. 技術の特徴

3.1 新エジェクタサイクル[®]

膨張弁を使用した一般的なヒートポンプサイクルでは、その膨張過程で、非可逆的な断熱膨張が行われ、その際に運動エネルギーが熱エネルギーへの変換が発生する。変換された熱エネルギーは冷媒を加熱し、外気からの吸熱量を減少させてしまう。エジェクタを膨張機構に採用することにより、この膨張過程における熱エネルギーへの変換を大幅に低減し、低温冷媒の無駄な加熱をなくすことで、空気熱交換器の性能を向上させ、かつ減圧時の運動エネルギーを回収し、コンプレッサへの吸入冷媒を昇圧することで、圧縮動力を低減できる。

開発機ではこのエジェクタサイクル[®]を進化させ、空気熱交換器の性能を最大限に引き出し、大幅な性能向上を実現するCO₂用エジェクタサイクル[®] (EJECS[®] II)を開発した。本技術の特徴は①耐着霜能力の向上と②空気熱交換器のオイル循環濃度の低減である。

3.1.1 耐着霜能力の向上

空気熱交換器においては、従来の発想では性能向上のためにフィン間隔を小さく、耐着霜性向上のためにフィン間隔を大きくするという相反する要求があった。開発機では、空気熱交換器への霜の付着の仕方を全く新しい発想で画期的に改善することで、性能向上を実現した。

Fig. 3に示すように、空気熱交換器は一般的に、風の流れに対し前後2列の配列で構成されているため、外気との温度差の大きい風上側に集中して着霜してしまう。Fig. 4に示す新エジェクタサイクル[®] (EJECS[®] II)では可変エジェクタと可変膨張弁を組み合わせ、エジェクタの昇圧機能を活かし、風上側の蒸発温度を高く、

風下側の蒸発温度を低くし、外気との温度差を均等化することによって、着霜を均一化することが確認できる (Fig. 5)。

これにより、着霜による効率低下を抑制し、性能向上と耐着霜性を両立させる最適なフィン間隔を有する空気熱交換器仕様を可能とした。従来サイクルの風下側着霜量に対して、新サイクルの風下側着霜量は48%増加し、着霜時間を21%延長させる効果を確認できた (Fig. 6)。

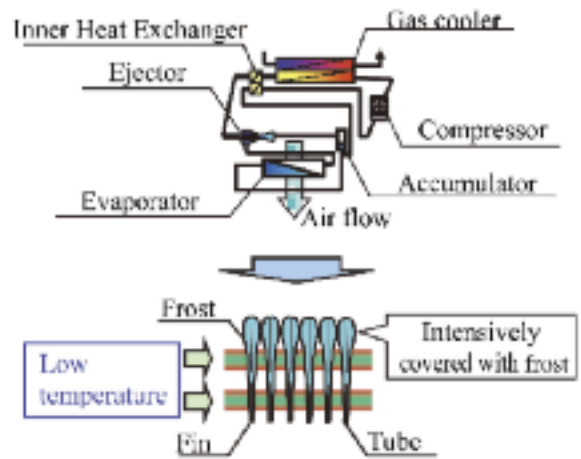


Fig. 3 Image of the frost on the evaporator of EJECS[®] I

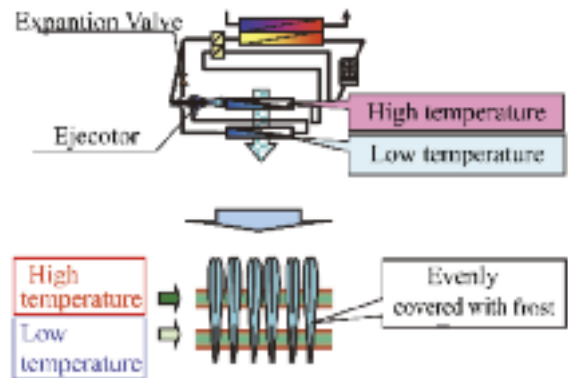


Fig. 4 Image of the frost on the evaporator of EJECS[®] II

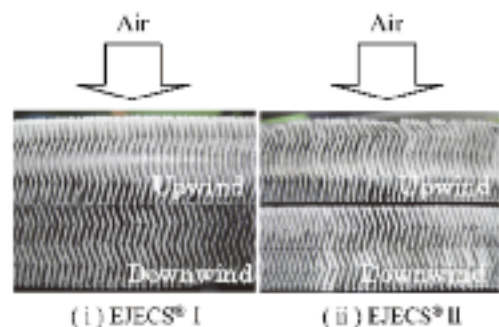


Fig. 5 Top view of the evaporator

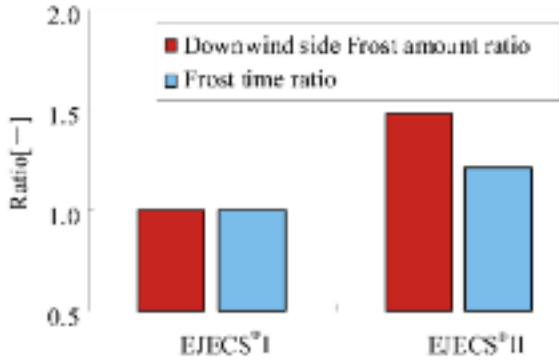


Fig. 6 Frost amount and frost time ratio

Table 2 Characteristics of the new ejector cycle

Expansion Valve Cycle	<p>【Power consumption】 Normal 【Oil flow rate in the Evaporator】 Normal</p>
Current Ejector Cycle (EJ ECS I)	<p>【Power consumption】 Lower 【Oil flow rate in the Evaporator】 Higher</p>
New Ejector Cycle (EJ ECS II)	<p>【Power consumption】 Lower 【Oil flow rate in the Evaporator】 Normal</p>

3.1.2 空気熱交換器のオイル循環濃度の低減

冷媒に混合した循環オイル（コンプレッサ潤滑用）は、熱交換器の伝熱管表面に付着し熱伝達を阻害し性能を低下させる要因となる。従って、熱交換器に入るオイル量を減らすことは性能向上の有効な策となる。一般にはコンプレッサ吐出後（もしくはコンプレッサ内部）にオイルセパレータを設け、冷媒とオイルを分離するが、完全に冷媒とオイルを分離することはできない。

従来のエジェクタサイクル[®]では、アキュムレータ→空気熱交換器→エジェクタとコンプレッサ吸入部に戻らない閉ループ回路が構成されており、この閉ループ回路内にオイルが徐々に滞留し、空気熱交換器を流れる循環オイル量が増えオイルセパレータ機能を活かすことが出来なかった（Table 2）。閉ループ回路を無くしたEJ ECS[®] IIではエジェクタのエネルギー回収によって圧縮機の動力低減という機能とオイルセパレータによる空気熱交換器内のオイル循環量低減という機能を複合両立させ、性能向上を実現している。

3.2 新型高効率コンプレッサ

当社独自技術である低圧ドーム型のモータ冷却と低放熱ロスによる冬期、寒冷期における絶対的性能優位を更に進化させ、新たに、圧縮後の高圧冷媒から潤滑用オイルを分離する高効率オイルセパレータを搭載した新型スクロールコンプレッサを開発した（Fig. 7）。

このオイルセパレータとEJ ECS[®] IIとの組み合わせでサイクル内のオイル循環濃度を低減し、システム効率の向上を図るとともに、分離した潤滑用オイルはコンプレッサ内部の各部へ適量が強制給油され、各摺動部の潤滑性を高めている。

また、可動スクロール背面に作用する、圧縮による高荷重を支持するスラスト軸受については、油膜形成に優れた円形の島を多数個配置した形状を採用することで、低損失化を実現している。

さらに、従来機では吸入冷媒を全量モータ室に吸入した後、圧縮部へ導入していたが、モータ冷却に必要な量を除いて、直接、圧縮部へ吸入する構造とすることで加熱損失を低減した。その他、スクロール形状および各部クリアランスの最適化による洩れ損失を低減した。

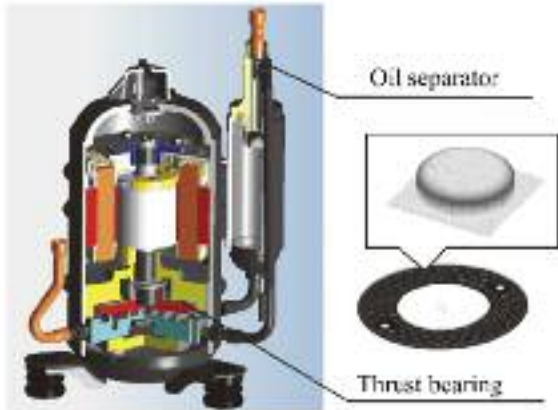


Fig. 7 Scroll compressor

3.3 高効率水冷媒熱交換器

当社独自技術である扁平の矩形筐体内にフィン（仕切り板）を設置，蛇行流れをした水流路を形成した水側コアで，無駄なスペースをつくらずに伝熱長さを増大できる構成を更に進化させた。水流路内には，伝熱促進と通水抵抗の低減が両立できる新発想の超微細オフセットフィンを採用することで，高性能化を図りながら低圧損化を可能にした（Fig. 8）。冷媒側は，小径冷媒チューブを水側コアへ高密度に螺旋状に巻き付け，水と冷媒の流れを対向流にすることで効率よく水と冷媒とを熱交換することを可能にした（Fig. 9）。

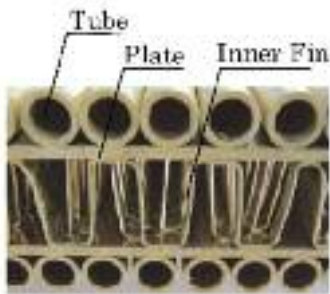


Fig. 8 Cross-sectional photo of gas cooler



Fig. 9 Gas cooler

これら水側と冷媒側を組み合わせることにより，従来比40%の伝熱性能向上を達成した。従来構造の影響で加熱能力向上設計した場合に対し，体格で40%小型化（Fig. 10），通水抵抗で50%低減（Fig. 11）を達成した。

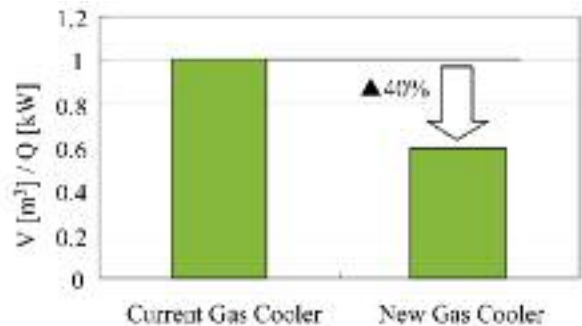


Fig. 10 Ratio comparison of volume to performance between the current and new gas cooler

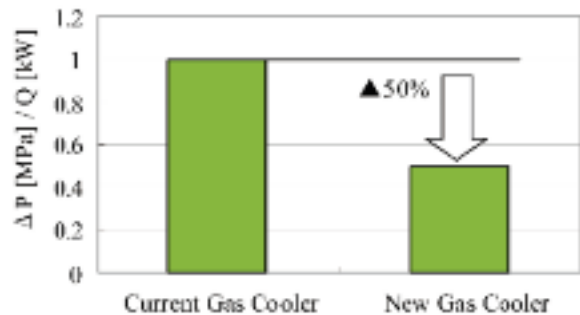


Fig. 11 Ratio comparison of pressure drop to performance between the current and new gas cooler

4. 省エネルギー性

開発機は①EJECS[®] II, ②新型高効率コンプレッサ, ③高効率水冷媒熱交換器という3つの新技術導入により, 弊社従来機と比較して中間期COPを約16%, 中間期以外の条件でも約14%の高効率化を達成した。

5. おわりに

前述のように省エネルギー性に貢献でき, 更にピークシフト(電力負荷平準化)にも貢献できるCO₂ヒートポンプ給湯機技術の市場への普及度合いは, 世界をリードしている。ただし, その本格的な利用は近年始まったばかりと言える。

今後は寒冷地地域への対応, 高温沸き上げなど自然冷媒CO₂の優位な特性を活かし, 当社独自技術を進化させることにより, 更なる省エネルギー性を向上させ, ヒートポンプ給湯機の普及に貢献していきたい。

これは, 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られた成果を一部活用しています。

<参考文献>

- 1) 高津昌宏 川村進 今津正琢 黒木丈二 大石繁次
CO₂ヒートポンプ給湯機用EJECS[®] IIの開発
日本冷凍空調学会年次大会講演論文集(2008)

<著 者>



大矢 直弘
(おおや なおひろ)
空調冷熱技術2部 修士 (工学)
CO₂給湯機用ヒートポンプ開発
設計に従事



高津 昌宏
(たかつ まさひろ)
空調冷熱技術2部 修士 (工学)
将来型ヒートポンプ開発に従事



加藤 裕康
(かとう ひろやす)
空調冷熱技術2部
CO₂給湯機用コンプレッサの
開発設計に従事



吉井 桂一
(よしい けいいち)
熱システム開発部 修士 (工学)
ヒートポンプ用機能部品設計に
従事



森本 正和
(もりもと まさかず)
熱交換器開発部 修士 (工学)
給湯機用水冷媒熱交換器開発に
従事