

カーエアコン用 ECS STEP2 エバポレータの開発*

Development of ECS STEP2 Evaporator for Automotive Air-Conditioner

秋吉 豪紀
Goki AKIYOSHI

西野 達彦
Tatsuhiko NISHINO

後藤 直人
Naoto GOTO

式又 裕文
Hirohumi FUTAMATA

尾形 豪太
Gota OGATA

文 健吾
Kengo KAZARI

Our unique Evaporator with Ejector, named the ECS (Ejector Cycle System) STEP 1 Evaporator, was released in the market for automotive air-conditioning systems in 2009. The advanced ECS STEP 2 Evaporator further reduces power consumption by adopting both ARC (Active flow Ratio Control) structure for gas-liquid separation, and an improved refrigerant flow path to maintain air temperature distribution.

ARC gas-liquid separation uses the swirling force of fluid. ARC generates swirling force in the refrigerant by locating the refrigerant path just in front of the ejector inlet. This allows liquid-rich refrigerant to flow into the orifice connected to the leeward side evaporator. The resulting increased Δh of the leeward side evaporator and reduced Refrigerant Mass Flow Ratio enable the ejector to operate more efficiently.

To stabilize cooling performance and the temperature distribution of the leeward side evaporator at reduced refrigerant flow rates we adopted two new structures. One is the W-turn flow path (ECS1 uses the U-turn flow path) at the leeward side evaporator, and the other is the counter flow between the leeward and windward sides in the evaporator. The purpose of the first is to maintain the heat transfer rate and improve the refrigerant distribution by increasing the refrigerant flow speed. The purpose of the second is to maintain the air temperature distribution to prevent overlapping of the superheat regions.

The new ECS2 system achieves high energy recovery and dramatically reduces the annual power consumption of automotive air conditioners. The reduction is 20 percent compared to a conventional expansion valve system and 10 percent compared to the ECS1 system.

Key words :

Air conditioner, Ejector, Evaporator, Power consumption, ARC

1. まえがき

近年、地球環境保護の観点から CO₂ 排出量の削減、省エネルギー化のニーズは益々高まっており、自動車に関しても国内外を問わず燃費規制が強化されている。例えば欧州では、2020 年には 2012 年比 30% 以上の

CO₂ 排出量削減が求められている。さらに、2020 年に向けては、カーエアコン使用時の燃費（実用燃費）を低減する規制が全世界で検討されている。このような状況に対し我々は、独自の冷凍サイクル省動力技術であるエジェクタをカーエアコンに適用し実用燃費の向上に貢献できる、ECS STEP1 (Ejector Cycle System

* (公社)自動車技術会の了解を得て、自動車技術会 2016 年秋季大会学術講演会講演予稿集 文献番号: 20166006 より一部加筆修正して転載

STEP1, 以降 ECS1) エバポレータを 2009 年に製品化した^{1) 2)}.

今回開発した ECS STEP2 (以降 ECS2) エバポレータは、エジェクタサイクルの更なる高効率化とエバポレータの温度分布の両立を図り、更なる省動力化を実現したので報告する。

2. カーエアコンの概要

まず、今回の対象であるカーエアコンの概要を述べる。Fig. 1 に示すカーエアコンはルームエアコンなどと同様に蒸発圧縮冷凍サイクルにて車室内の冷房を可能にしている。ルームエアコンの室外機に含まれる機能品(コンプレッサ等)はエンジンルームに設置されており、温調された風を送り出す室内機に相当する部分は HVAC (Heating Ventilation & Air-Conditioning) と呼ばれ、エバポレータや膨張弁、送風機などが一つのユニットになっている。この HVAC がダッシュボードのすぐ背後に設置され、車室内に温調された風を送り出している。

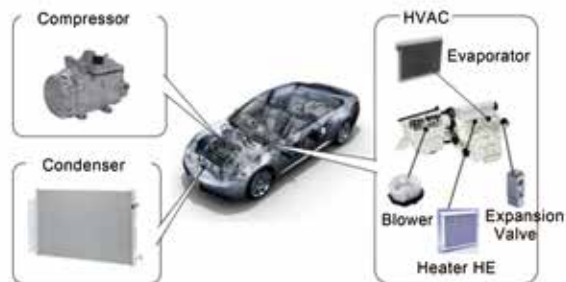


Fig. 1 Automotive Air Conditioner Main Components

3. ECS サイクル

3.1 ECS の作動と効果

我々の従来型エバポレータは、風上側と風下側に 2 枚のエバポレータが重なった構造をしており、これにエジェクタを一体化したものが Fig. 2 に示す ECS エバポレータである。

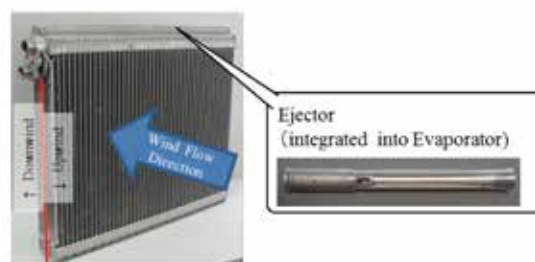


Fig. 2 ECS Evaporator

システム構成は、通常のエバポレータをこの ECS エバポレータに置き換えた形となり Fig. 3 に示すようになる。また、冷凍サイクルの挙動を p-h 線図上であらわすと Fig. 4 のようになる。Fig. 4 中の“駆動ノズル”と“混合部・ディフューザ”はエジェクタの構成部品である。

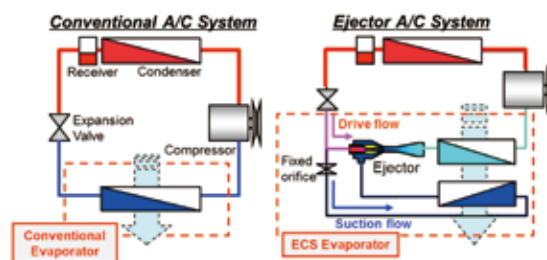


Fig. 3 Comparison of System Configuration

ECS1 システムでは、膨張弁で高圧と低圧の中間の圧力(以降中間圧)まで減圧した膨張弁後流の冷媒を分岐し、一方をエジェクタ側に流し(駆動流 G_n)、他方を風下側エバポレータに流す(吸引流 G_e)。空気と熱交換した吸引流は、エジェクタに吸引され駆動流と合流する。合流した冷媒は、風上側エバポレータで空気と熱交換しコンプレッサへと流れる (Fig. 4)。システム全体では、エジェクタの昇圧により圧縮比が低減することによるコンプレッサ自体の効率向上、エバポレータとしても風下側の冷媒流量が少なくなることによる低圧損化によるエバポレータ自体の効率向上効果も含めて COP が向上する³⁾。

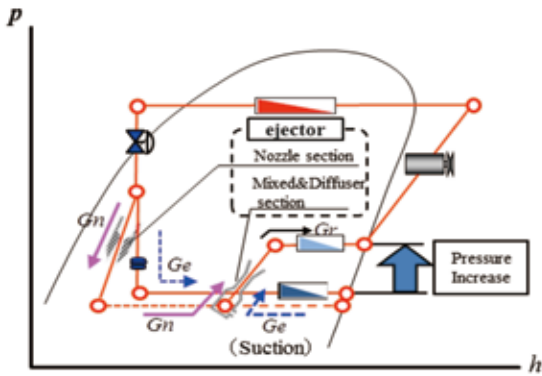


Fig. 4 ECS1 Behavior in p-h Diagram

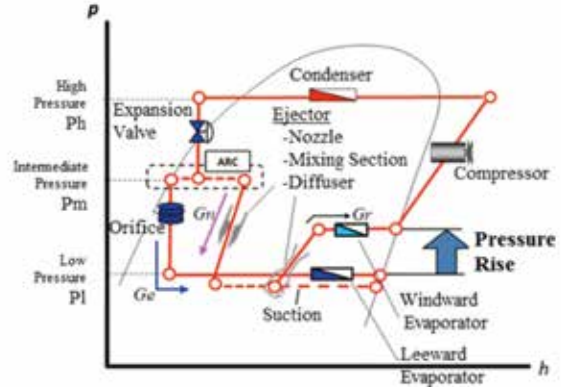


Fig. 5 ECS2 Behavior in p-h Diagram

3.2 ECS2 の改良点

ECS2 エバポレータは、省動力効果を最大化するために ARC (Active Flow Ratio Control) と称する機構を搭載し、低流量の温度分布改良の為に冷媒ターンの対向流化と風下側エバポレータのWターンを採用している。以下に詳細を説明する。

3.3 ARC (Active Flow Ratio Control) の効果

ECS2 の作動を Fig. 5 にて説明する。中間圧まで減圧された冷媒は気液分離され、風下側エバポレータにつながる固定絞り側には液冷媒が優先的に流れ、固定絞り側に流れずに残った液冷媒とガス冷媒は、二相の状態でエジェクタの駆動ノズル側へと流れる。この機構を ARC と称する。ここで、固定絞り側に流れた冷媒(風下側エバポレータに流れる冷媒)を吸引流 G_e 、エジェクタの駆動ノズル側に流れる二相冷媒を駆動流 G_n と呼ぶ。風下エバポレータにて空気と熱交換した吸引流 G_e は、エジェクタに吸引され駆動流 G_n と合流する。合流した冷媒 $G_r (=G_n + G_e)$ は、混合・デフューザ部で圧力上昇し、風上側エバポレータに流れる。この冷媒は空気と熱交換しコンプレッサへと流れエアコンサイクルを循環する。

ECS2 では Fig. 5 などに示したとおり、冷媒をサイクルの途中で2つに分岐するという特徴があり、その分配割合には最適値が存在する。例えばエジェクタの昇圧作用により、風下側エバポレータの圧力は低く、温度は低い。そのため、もしエジェクタでの昇圧が一定であれば、温度の低い風下側エバポレータに流れる流量 G_e を増やしたほうが冷房能力は増大する。しかし、エジェクタは流体ポンプであるため、吸引する冷媒 G_e が増えると駆動流 G_n が減少し、昇圧の原資となるエネルギーが減少する。よって、昇圧が低下してしまい COP 向上効果が低下してしまう。こういった、相反する特性があるため分配割合には最適値が存在することになる。

従って、風下エバポレータ冷房能力を、より少ない流量で最大化することができれば、エジェクタも昇圧量が高いところで使うことができ、システム性能 (COP, 冷房能力) を最大化できる。Fig. 6 は以上のイメージであり、図中の流量比 G_e/G_r は、冷凍サイクルの全体冷媒流量 G_r に対する風下エバポレータに流れる冷媒流量 G_e の比である。

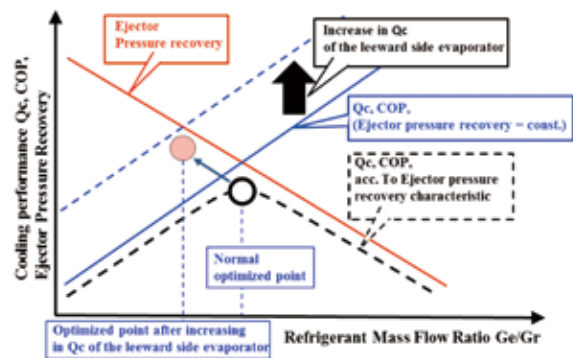


Fig. 6 Optimized point in G_e/G_r Q_c , COP

この“風下エバポレータの冷房能力を、より少ない流量で最大化する”を実現するためにECS2に採用されているのが、ARC (Active Flow Ratio Control) である。ARCの有無によるサイクル状態をFig. 7のp-h線図上に示す。Fig. 7に示すように、ARCとは分岐部の二相冷媒を気液分離し、液リッチな冷媒をGe側へ、残りの気液二相冷媒をノズル側に流すものである。

風下側エバポレータの冷房能力は、次式(1)と表せる。

$$Q_{\text{風下}} = G_e \cdot \Delta h_{\text{風下}} \quad (1)$$

ARCにより、風下側エバポレータの入口のエンタルピーが減少するため、 $\Delta h_{\text{風下}}$ が増加できる。その分 G_e を低減でき、より少ない流量比で作動させることが可能となり、エジェクタをより効率を出しやすい条件で作動させることができる。

また、ARCによりエジェクタの駆動ノズルでの減圧過程がARCなしの状態よりもガス割合が大きく、膨張エネルギーの大きいところで使えるようになる。膨張エネルギーとは、等エンタルピーに減圧した時のエンタルピーと等エントロピーに減圧した時の減圧後のエンタルピーの差である。このエネルギーは、エジェクタの昇圧の原資となるエネルギーであり、この膨張エネルギーが大きくなるほど昇圧も大きくなり、よりCOPが向上する⁴⁾。

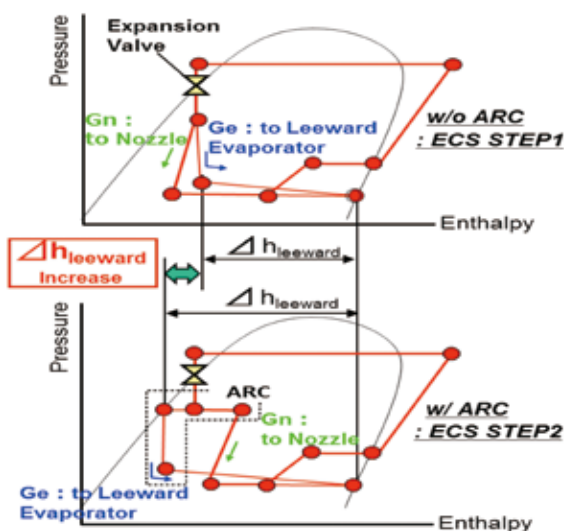


Fig. 7 Refrigerant Behavior at ARC

このARCにおける気液分離には、流体の旋回力を利用した。ECS2 エバポレータでは、膨張弁から出た気液二相冷媒をエジェクタ入口部に導くために、冷媒流路を形成している。Fig. 8に示すように、エジェクタ入口部直前の冷媒流路を偏心させることで冷媒に旋回力を発生させ、エジェクタ流入部で気液二相冷媒を旋回分離する構造とした。これによりエジェクタ内に設けた風下側エバポレータへとつながるオリフィス（絞り）には、液リッチな冷媒を流すことができ、風下側エバポレータの Δh 風下増加および G_e 低減ができ、前述のようにエジェクタをより高効率で作動させることが可能となる。

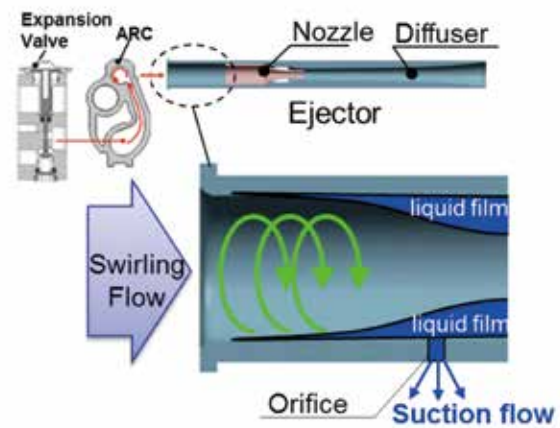


Fig. 8 Outline of ARC

3.4 ECS2 エバポレータの構造 (低流量の対応)

エバポレータは冷房性能を確保するとともに、乗員の快適性向上のため温度分布を均一にすることが重要である。また、カーエアコン用の冷凍サイクルでは、膨張弁でエバポレータ出口のスーパーヒート（過熱度）を感知し、その値がほぼ一定になるように冷媒流量を制御している。エバポレータの気液二相域では冷媒温度が一定であるが、エバポレータ出口部ではスーパーヒートを取るため、冷媒温度が高くなり温度分布が発生する。このスーパーヒート部の温度分布を吹き出し空気に影響を与えないようにするために、温度分布が発生しない風下側エバポレータと重ね合わせることで、吹き出し温度分布発生を抑制している。

前述のようにECS2 エバポレータでは、冷媒を2分岐するため風下側エバポレータへ供給する冷媒流量は通常エバポレータの半分以下となる。その少ない冷媒

流量で風下エバポレータの温度分布を確保する必要がある。また、通常のエバポレータの冷媒は分岐しない流れであるため、風上側エバポレータの冷媒出口側部のみでスーパーヒートを取るのに対し、ECS2 エバポレータでは、前述のように風下側エバポレータとエジェクタへ冷媒を2分岐するため、通常エバポレータ同様の風上側エバポレータの冷媒出口部に加えて、風下側エバポレータの冷媒出口部においてもスーパーヒートを取る可能性がある。このスーパーヒート部の温度分布を抑制するには、風上側エバポレータと風下側エバポレータのスーパーヒート部を重ね合わせさせないことが必要である。

そこで我々は低流量の対応として、ECS2 エバポレータに以下の構造を採用した。Fig. 9 に示すよう、冷媒流速UPによる冷媒側熱伝達率の確保および冷媒分配性向上を狙い、風下側エバポレータにはWターン(ECS1はUターン)を採用し、スーパーヒート部の温度分布を改善するために風上側エバポレータと風下側エバポレータの冷媒ターンを対向流れとするタンク構造とすることで、冷房能力および吹出し温度分布を成立させた。

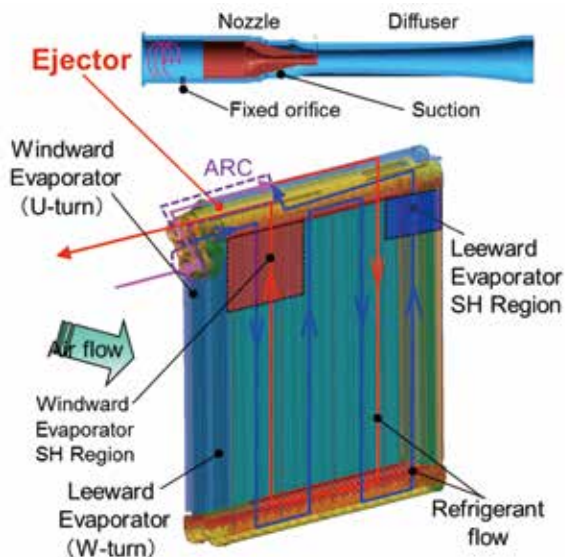


Fig. 9 Structure of ECS2 Evaporator

4. ECS の省動力効果

ECS2 の省動力効果を Fig. 10 に示す。省動力を比較する条件としては、自動車工業会が TEWI (Total

Equivalent Warming Impact : 生涯温暖化影響) 検討した際の車両走行・環境パターンをベースに、我々が独自に規定している年間省動力条件である(複数条件に時間重ねづけ)。この条件においては、従来のエジェクタを使用しないカーエアコンに対し、約 20% の省動力を達成している(ECS1 に対しても約 10% の向上を実現)。

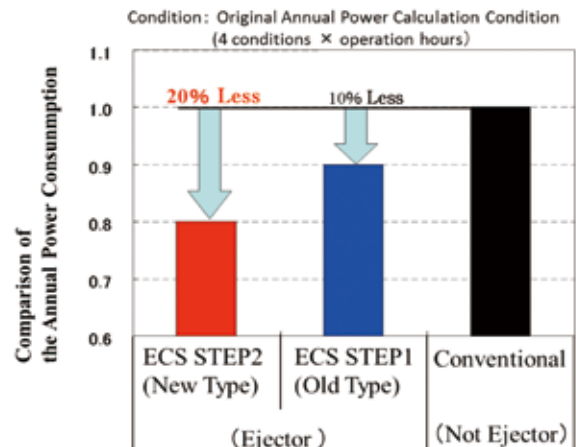


Fig. 10 Power-Saving Effect

5. まとめ

我々独自の技術であるエジェクタによりカーエアコンの消費動力低減を実現した。これにより、実用燃費の向上、ひいては地球温暖化抑制に貢献している。

今後も新技術の開発をすすめ、低炭素化社会の実現に貢献していきたい。

※本製品はプリウス・クラウン HV 等にて流動中

参考文献

- 1) 武内裕嗣 他, 二相流エジェクタを適用した冷凍サイクル, 空気調和・衛生工学会論文集 No.70, p31-p37 (1998)
- 2) 中川勝文 他, 冷凍サイクルに適用される二相流エジェクタの流動特性, 日本機械学会論文集 B 編 64 巻 第 625 号, p304-p311 (1998)
- 3) 五丁美歌 他, エジェクタを適用した高効率カーエアコンシステム, 自動車技術会学術講演会前刷集 No.80-10 (2010)
- 4) 尾形豪太 他, ECS STEP2 システムの開発, DENSO TECHNICAL REVIEW Vol.19 2014, p110-p116 (2014)

著者



秋吉 豪紀

あきよし ごうき

エアコンディショニング開発1部
熱交換器の開発・設計に従事



西野 達彦

にしの たつひこ

ADAS 推進部
高度運転支援・自動運転の開発に従事



尾形 豪太

おがた ごうた

サーマルシステム開発部
エジェクタサイクルの開発・実用化に従事



後藤 直人

ごとう なおと

ヒートエクスチェンジャー開発部
熱交換器の開発に従事



式又 裕文

ふたまた ひろふみ

ヒートエクスチェンジャー開発部
熱交換器の開発に従事



文 健吾

かざり けんご

エアコンディショニング開発1部
熱交換器の開発・設計に従事