

デンソーの空調・熱マネ技術への取組み

DENSO's R&D Approach for Air-conditioning & Thermal Management Technology

井上 誠司
Seiji INOUE

藤井 斉
Hitoshi FUJII

横山 直樹
Naoki YOKOYAMA

高野 義昭
Yoshiaki TAKANO

有田 望
Nozomu ARITA

坂上 祐一
Yuichi SAKAJI

While the catalog fuel economy becomes better, the gap between catalog fuel economy and real-world fuel economy becomes larger. Air-conditioning energy saving and thermal management are key solutions to improve the real-world fuel economy. This paper describes DENSO's approach to the following air-conditioning and thermal management technologies: (1) Reduce the gap between the catalog and the real-world fuel economy, (2) new approach to electrified vehicles, (3) thermal management for Fuel Cell Electric Vehicle

Key words :

real-world fuel economy, air-conditioning, thermal management

1. はじめに

地球温暖化対策として、北米・欧州・中国等では、新たに販売する自動車に対して、各地域・国毎に独自のCO₂排出量・燃費規制を設けており、その規制値は2025年にかけて厳格化されていく見込みとなっている。米国では、燃費試験では評価されないが実走行で燃費向上に貢献する装備を搭載する車両に対して燃費効果相当分のクレジットを与え、米国CAFE (Corporate Average Fuel Economy: 会社平均燃費) 規制, GHG (Green House Gas: 温室効果ガス) 規制の達成を補助する措置が導入されている。また、欧州や中国でも類似の制度を導入することが検討されている。これらの規制・制度を受け、車両メーカーは内燃機関の効率向上やハイブリッド車 (以下, HEV) の導入を進めている。また、上述の規制に加えて、内燃機関への依存度を低減してエミッション対策を加速させるべく、米国カリフォルニア州では2018年から車両メーカーに一定量のZEV (Zero

Emission Vehicle) の販売を義務づけるZEV規制を強化、中国でも2018年より中国版ZEV規制とも呼ばれるNEV (New Energy Vehicle) 規制を導入することを表明している。これらの規制導入の動向に合わせて、車両メーカーはZEV, NEV対象となるプラグインハイブリッド車(以下, PHEV), 電気自動車 (以下, EV), 燃料電池車 (以下, FCEV) 等の電動化車両の開発を強化しており、それに伴って Fig. 1 のように電動化車両の販売比率は今後世界的に増加していくと予想されている¹⁾。

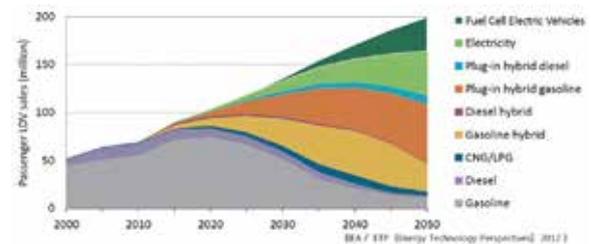


Fig. 1 Global Portfolio of Technologies for Passenger Light Duty Vehicles

車両燃費（カタログ燃費）は年々改善傾向にある一方、カタログ燃費と実走行での燃費の差（以下、燃費かい離率）に注目が集まるようになってきている。日本国内で販売されている車両のカタログ燃費と実用燃費の関係の分析結果を Fig. 2 に示す。内燃機関のみで走行する自動車（以下、ICE: Internal Combustion Engine）と HEV とで比較すると、HEV の方が燃費かい離率が大きいという分析結果が得られている²⁾。

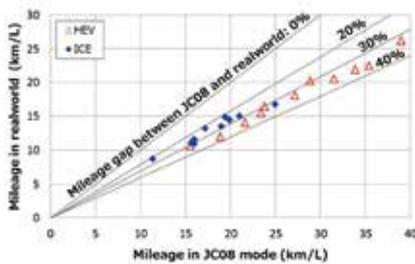


Fig. 2 Mileage Gap between JC08 and Realworld

本論文では、車両の実用燃費の向上、および電動化に関する課題に対し、第 2 章で燃費かい離率改善に向けたこれまでのデンソーの取組みについて解説し、第 3 章で車両の電動化が進展していく中で将来に向けた技術開発への新たな切り口について紹介する。第 4 章では究極のエコカーとして開発が進んでいる FCEV における熱マネジメントの課題と取組みについて紹介する。

2. 実用燃費課題と改善に向けたデンソーの取組み

本章では、各パワートレインごとに実用燃費悪化の主要因と改善アプローチを空調・熱マネジメントで分析し、それぞれに対するデンソーの具体的な取組みと技術開発事例について説明する。

2.1 実用燃費悪化主要因と改善アプローチ

2.1.1 ICE・HEV

エンジンを動力源とする ICE において、実用燃費を悪化させる主要因となるのが空調によるエンジン負荷の増加である。冷房時はエンジン動力を利用して冷凍サイクルのコンプレッサを稼働させ、暖房時にはエンジン廃熱を利用して車室内を空調する。このため空調稼働時には

走行に必要なエネルギーに加え、空調に必要な動力、廃熱を余分にエンジンで生み出す必要があるため、エンジン負荷が増加し実用燃費悪化が生じる。

これらを改善し、実用燃費を向上させるためには、空調システムの効率を高め、所定の空調能力を得るために必要な仕事量を削減する省動力技術、および車室内・人体の必要な箇所を効率良く冷房・暖房することにより、全体として必要となる空調能力を削減する省能力技術、が有効なアプローチとなる。

また、ICE 全体に広く普及している燃費向上技術として、走行エネルギーが不要な停車時にエンジンを停止させるアイドルストップシステム（以下 ISS）が挙げられる。しかしながら空調稼働時には、空調に必要な動力、熱エネルギーを得るためにエンジンが再稼働してしまうことが課題であった。このため、アイドルストップ中、快適性を維持しながら、エンジンを再起動させない技術開発も、ICE の実用燃費向上にとって有効なアプローチとなる。

次にエンジンとモータを併用する HEV については、モータだけで走行可能な状況においても、車室内空調のため、エンジンを稼働させなければならない割合が高くなってしまふことが、実用燃費悪化の主要因となる。例えば夏季においては、冷房のために電動コンプレッサを稼働させることにより、バッテリー消費電力量が増加し、それを補い充電するためにエンジン稼働率が増加する。また、冬季においては車室内の暖房や、エンジンそのものを暖機するため、エンジン稼働率が増加する。これらを改善するためには、先に挙げた空調に関する省動力技術、省能力技術に加え、エンジン暖機を促進するための蓄熱・断熱技術も有効なアプローチとなる。

2.1.2 PHEV・EV

モータを主たる動力源とする PHEV, EV においては、エンジンの動力、廃熱が得られなくなるため、空調稼働時には電動コンプレッサによる冷房や、電気ヒータによる暖房など、電気による冷暖房手段が必要となる。このため、電気エネルギー消費量が増大し、所定の電池容量に対する航続距離低下の課題も発生する。

これらを改善するためには、ICE・HEV 同様に、空調に関する省動力技術、省能力技術を高めると共に、バッ

テリ、モータ、インバータ等のパワエレ機器からの廃熱を回収し、有効利用するなど、車両全体で熱を有効に使い切る熱マネジメント技術も有効なアプローチとなる。

実用燃費改善アプローチと技術開発事例 (2.2, 3.2 で紹介) のまとめ

省動力技術

エジェクタ, ヒートポンプ
蓄冷エバポレータ (アイドルストップ対応)

省能力技術

内外気2層ユニット, 一席集中, シート空調

暖機・廃熱利用・熱マネジメント

蓄熱・断熱材, 吸着ヒートポンプ

2.2 デンソーの空調技術への取組み

空調システムに要求される狙いと機能は、車両の駆動方式に応じて適したものがあり³⁾, Fig. 3 にその一覧を示す。

まず省動力技術として、冷房の効率改善は、実用燃費向上のために重要であり、特にPHEV, EVにおいてはモータのみでの実用航続距離延長のためにも重要な技術である。例としては、冷凍サイクルのコンデンサ出口とエバポレータ出口で熱交換する内部熱交換器や、エジェクタシステムなどが挙げられる。また、ISS車においては車両のアイドルストップ時の快適性を保ち、エンジン停止時間の延長を狙った蓄冷エバポレータにより、車両燃費への貢献を果たしている。

また冬期には、エンジンの効率向上に伴う廃熱不足を補うために暖房能力の追加が必要となる。EVには暖房のためにヒートポンプが必須となり、その効率は車両の航続距離に直結し、車両の商品力に関わる。

省能力技術では、必要なところだけを冷暖房する部分温調や換気損失低減が、有効であり、これらの技術を適用することで空調能力の最小化を目指している。

上記のように、実用燃費に対する取り組みは大きく省動力と、省能力に大別できる。本項では、省動力技術から、蓄冷エバポレータ、エジェクタ、ヒートポンプを紹介し、省能力技術からは、一席集中、シート空調、内外気2層HVACユニットについて紹介する。

狙い・機能		ICE	ISS	HEV	FCEV	PHEV	EV
省動力	冷房効率改善	内部熱交換器					
	エンジン停止時冷房	エジェクタシステム					
	暖房熱源創出		蓄冷システム				ヒートポンプシステム
	エンジン停止時暖房			低電圧PTCヒータ		高電圧電気ヒータ	
省能力	換気損失低減	内外気2層HVACユニット					
	部分空調	一席集中					
		シート空調 (SVS)					

Fig. 3 Applied Air-conditioning Technologies for Variety of Vehicle Types

2.2.1 省動力技術

(1) 蓄冷システム

蓄冷システムとは、ISS車においてアイドルストップ中の冷房を維持する目的でエバポレータに蓄冷材を組み込んだものであるが、従来システムとの互換性確保や低コストなど多くの要件を満たす必要がある。これらのことを考慮し、デンソーでは従来エバポレータの空気熱交換用フィンの一部に蓄冷材を充填した蓄冷ケースを挿入した蓄冷エバポレータを製品化している⁴⁾。その概要をFig. 4に示す。

蓄冷ケースは、高い蓄冷/放冷性能を実現できるように両側に配置された冷媒チューブとろう付けされている。蓄冷時(コンプレッサ稼働時)には、冷媒チューブから直接蓄冷材を冷却するため短時間で効率よく蓄冷でき、放冷時(アイドルストップ時)は、蓄えられた冷熱が冷媒チューブを介して空気側に伝わることで熱抵抗が適度に大きくなり、ゆっくりと長時間放冷することが出来る。さらに、蓄冷ケース内には蓄冷材の凝固-融解を促進するためのインナーフィンを設置している。

蓄冷材は、車両用蓄冷システムに適した融点と潜熱量を持つパラフィンを選択した。

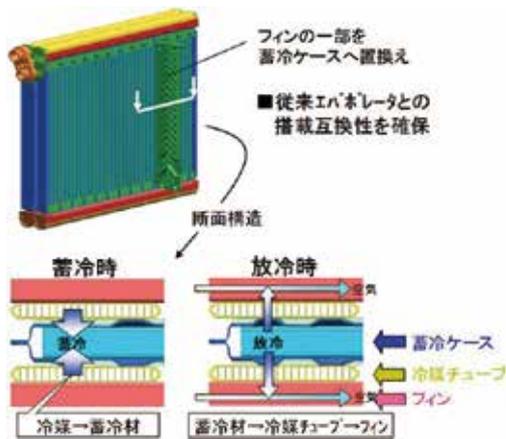


Fig. 4 Structure of Cold Storage Evaporator

Fig. 5 に従来エバポレータと蓄冷エバポレータによるエバ後空気温度挙動の差を示す。蓄冷エバポレータの方が長時間のアイドルストップ時間を確保できることが分かる。

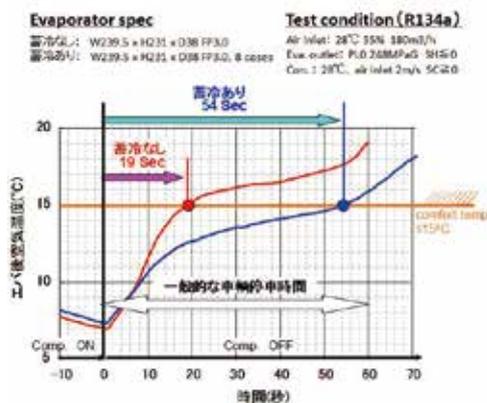


Fig. 5 Cold Storage Effect for Discharge Time

次に蓄冷システムによる燃費改善効果を定量化した結果を Fig. 6 に示す。

グラフから、停車時間比率が増えるにつれて燃費効果が増加し、特に都市部や渋滞が多発する地域などでその効果が顕著に現れることが分かる。停車時間比率が小さい地域においても、その全ての停車時間が短いわけではないため、一定の省燃費効果が期待できる。

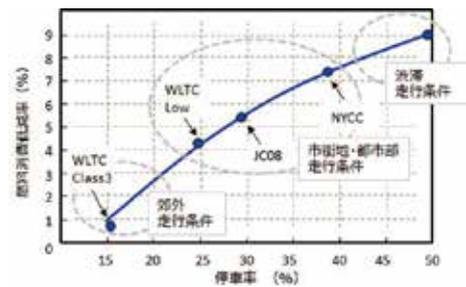


Fig. 6 Relationship between Stopped Time Ratio and Fuel Saving Effects

今後も ISS 車の増加が予想される中で蓄冷システムは、省燃費と快適性の両立を可能にする技術として有効である。

(2) エジェクタシステム

冷凍サイクルでは、高温・高圧の液冷媒を減圧沸騰させて、低圧の飽和温度まで冷却する。減圧過程で随時発生するガス冷媒がさらに減圧膨張する際に発生する減圧エネルギー (Fig. 7 の Δi_1) を持つ。この減圧エネルギーを回収し、冷凍サイクルの高効率化を図る技術がエジェクタシステムである⁵⁾。エジェクタシステムは、減圧エネルギーを一度速度エネルギーに変換して圧縮機吸込圧力より低い圧力場をつくり、吸引仕事を行うことにより、減圧エネルギーを回収している。すなわち、吸引により生じた蒸発圧力で冷房するので、その分の圧縮機の吸込圧力を上げることができる。

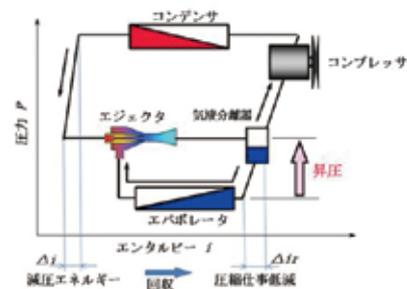


Fig. 7 Ejector System

(2)-1 エジェクタの作動原理

エジェクタは、ノズル、混合部、ディフューザ、吸引部に大別できる (Fig. 8)。ノズルに流入した高圧冷媒 (駆動流, 圧力 P_H) は、ノズルにて減圧膨張し、減圧後の

基調論文

圧力 P_S が吸引部の流入圧力 P_L より低くなることで、エジェクタによる吸引部からの吸引が可能（吸引流の発生）となる。ノズルでの減圧膨張過程において発生する圧力エネルギーは運動エネルギーに変換され、冷媒流速を増加させる。混合部では駆動流と吸引流が混合し、ディフューザでは流路面積拡大にて混合した冷媒が減速することで圧力が上昇（昇圧）する。すなわち、混合部、ディフューザでは、ノズル出口での運動エネルギーを再び圧力エネルギーに変換して圧縮機の吸入圧を上昇させている。

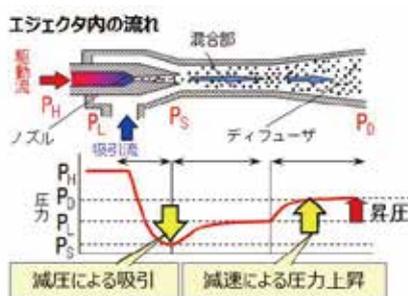


Fig. 8 Two-phase Flow Ejector Operation Principle

(2)-2 2 温度エバポレータシステム

サイクル簡素化などを目的に第2世代のエジェクタシステムでは、気液分離器をなくし、2温度エバポレータを採用した。エジェクタによる減圧エネルギー回収は、風上エバポレータのみだが、風下エバポレータの蒸発温度がエジェクタの吸引相当分低くなるため、風の流に沿った効率的な2温度が実現できるため、効率を落とさず簡素化できている。

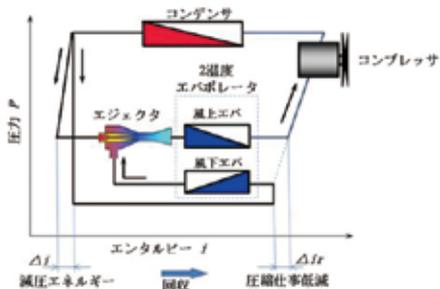


Fig. 9 Two-temp. Evaporator System

(2)-3 ECS エバポレータ

上記エジェクタと2温度エバポレータを一体化したECSエバポレータを Fig. 10 に、動力低減効果を Fig. 11

に示す。エジェクタのない従来システムに対してAC17条件⁶⁾で8%の省動力化を達成している。

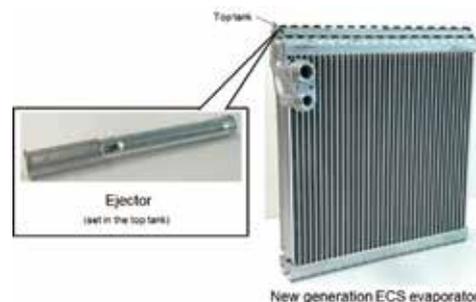


Fig. 10 ECS Evaporator

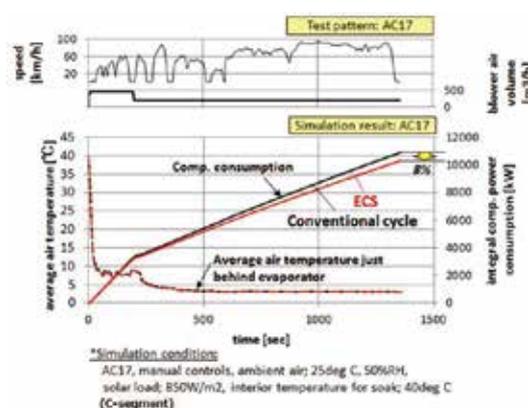


Fig. 11 Simulation result (AC17)

(3) ヒートポンプシステム

ヒートポンプは、すでに家庭用および業務用空調として一般的に用いられている。その概念図を Fig. 12 に示す。コンプレッサの作動により低温部（エバポレータ）と高温部（コンデンサ）を作り、エバポレータを介して大気から熱を冷媒に吸熱し、コンデンサを介して冷媒から車室内の空気に放熱することにより暖房する。コンプレッサに入力した電力に加え、大気から吸熱した熱の分だけ放熱量が増加するため、暖房能力と消費電力の比で表される COP は 1 より大きくできる (Fig. 12 の場合は COP=3)。このため、電気を直接熱エネルギーに変換する電気ヒータ (COP<1) に比べヒートポンプシステムは省エネルギー性に優れている。

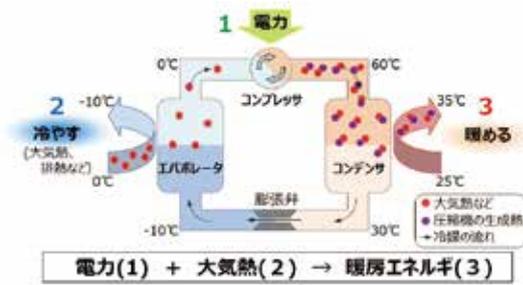


Fig. 12 Heat Pump System

Fig. 13 にヒートポンプシステム構成の一例を示す。冷房専用の空調システムに対して、室内コンデンサ、暖房用膨張弁、室外器（コンデンサ機能およびエバポレータ機能）、切替弁、アキュムレータおよび一部配管が追加となる。

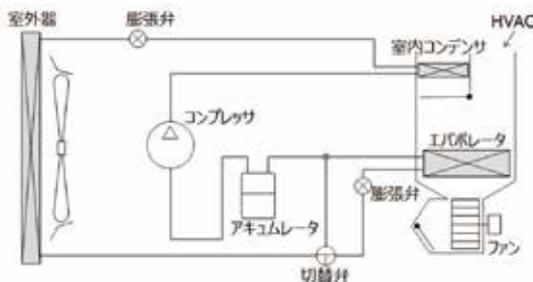


Fig. 13 Structure of Heat Pump System

カーエアコン用ヒートポンプシステムの特徴は、中間季から冬季の窓ガラスの視認性を確保するため冷房、暖房だけではなく、除湿暖房の機能を備えている点にある。HVAC 内にエバポレータと室内コンデンサを別々に構成することで、エバポレータで除湿し室内コンデンサで再加熱して除湿暖房を可能にする。また、このような構成とすることで、冷房運転および除湿暖房運転から暖房運転へと切り替えた際にエバポレータの表面に付着している凝縮水が蒸発して発生する窓曇りを防止することも出来る。

Fig. 14 にヒートポンプシステムのベンチ評価結果（外気5℃，暖房時）を示す。電気ヒータと比較し、63%の省エネルギーを達成している。この効果は、空調 OFF 時のEV 航続距離を100%として解析すると、従来用いていた電気ヒータでは57%まで低下するものが、ヒートポンプを用いると78%まで回復する。すなわち、ヒートポンプ化により電気ヒータに比べ21%の航続距離延長

が可能である。

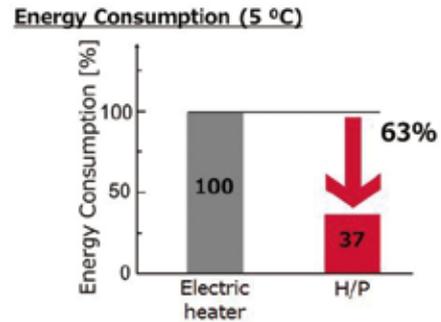


Fig. 14 Result of Heat Pump System

2.2.2 省能力技術

空調能力の最小化（Fig. 15）には、換気損失低減と必要熱量低減の2つの考え方がある。

換気損失低減としては、外気導入モード時も常に内気を一部混入することで熱負荷を低減させる一部内気ドア、外気と内気を分離して窓曇りを防止しつつ内気循環割合を増やすことが可能な内外気2層ユニット、さらに湿度を検知して換気量を制御する方法がある。一方、必要熱量低減としては、乗員のみを効率良く空調する、一席集中、シート空調などがある。

本項では、換気損失低減に大きく効果のある内外気2層ユニットと、必要熱量低減のための一席集中、シート空調について紹介する。

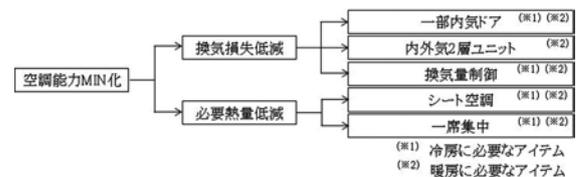


Fig. 15 Technology to Minimize Air-Conditioning Capacity

(1) 内外気2層ユニット

車両用エアコンでは、暖房時は外気モードを基本としている。これは、内気循環では暖かい空気を再加熱するため、暖房能力を向上させることができる反面、乗員の呼気等により車室内湿度が上昇し、窓の曇りが発生するからである。この課題への対応として、窓曇りを発生させない程度に内気循環空気を一部利用する内外気2層ユニットが用いられる。

内外気2層ユニットは、Fig. 16 に示すように、送風機

のファンが2層構造となっており、本体ユニット内にも仕切板を設定して外気と内気が混ざらない構造となっている。そのため、導入した外気と内気循環空気を分離したままヒータコアで加熱し、湿度の低い外気導入空気は車室内の上層部に、湿度の高い内気導入空気は足元の下層部に吹出すことが可能となる。

外気量と内気量の比率は通常半々程度に設定しており、かつファンや熱交換器の前後に多少の隙間があっても、外気側の送風圧力を内気側より高めることで、内気が外気に混入することを防止している。

従来のスペース内に搭載可能な内外気2層ユニットで、窓曇りを防止したいDEF (Defroster) 吹出口やサイドFACE 吹出口へは外気側の乾いた空気を送風し、暖房感を得たいFOOT 吹出口へは内気循環の再加熱空気を送風することにより、換気損失を30%程度減らすことが可能となる。

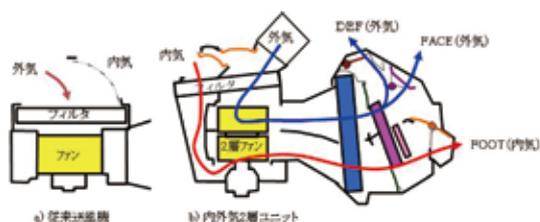


Fig. 16 Structure of Two-layer Unit

(2) 一席集中

通常のオートエアコンは車室内全体を快適にするよう制御されている。しかし、約8割の時間はドライバーのみの1名乗車という実態から、乗車人数と位置に応じてエアコンの出力を制御し、省エネルギー(=低燃費)を図ったのが「一席集中」である(Fig. 17)。具体的には乗員や環境負荷(内外気、外気温、日射、車速、窓曇り)の状態に応じて、エアコン吹出口と風量を自動で調節する機能である。この機能では全体席⇔前席集中⇔一席集中モードを自動で切り替え、必要最低限の熱量で乗員に快適な温感を提供することができる。車室内熱負荷の小さい春秋期は乗員位置に応じてなるべく前席集中や一席集中を適用するように制御を行う。一方、熱負荷の高い夏冬期(特に乗車直後の過渡期)には、大きなエアコン能力を出すことを優先し、集中制御の適用範囲を制限する。また、夏の日射が強いシーンでは、快適性維持のため

集中制御の適用範囲を狭く、冬の日射が強いシーンでは暖房能力に余裕ができるため、適用範囲を広げることができる。

このように負荷に応じて快適性を維持しつつ、集中制御の適用範囲を最大限に広げ、省エネルギー化を実現した。自動制御で安全性、快適性は損なわずに、乗員が意識することなく、最大で約4割程度の消費エネルギー削減を可能とした。また、送風量を少なくすることで静粛性を高めることができる。

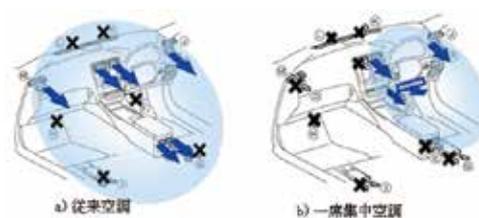


Fig. 17 Single-seat Concentration A/C outlet

(3) シート空調 (SVS)

車両用エアコンは、フロントインパネの吹出口からの送風で、車室内全体を空調する方式が一般的であり、夏の乗車直後などは、シートがかなり高温になっており、乗員はシートの熱を直接受け、エアコンをフル稼働させても冷涼感を得るまでに長い時間がかかる。この課題に対し、シートに送風機を設置して、シートからの送風で人体を直接冷やすシステムがSVS(Seat Ventilation System)である。

SVSの構造はFig. 18に示す通り、クッション部、背もたれ部各々に送風機が有り、内部のシートパッドに形成された溝を通してシート表面から風を吸込む方式になっている。吸込み式とすることで、乗車初期に熱くなっているシートの熱が人体に吹きつけられなくなることで、フロントインパネから送風された冷風が人体に沿って吸い込まれることの2重の効果で、人体冷却効果が向上する。この吸い込み式SVSにより着座面の冷涼感を感じるまでの時間は、従来(SVS無し)の25分に対し3分まで短縮することが可能となる。また、快適感向上分を省エネルギー運転に振ることも可能であり、同一快適感前提では従来比▲10%の省エネルギー効果がある。

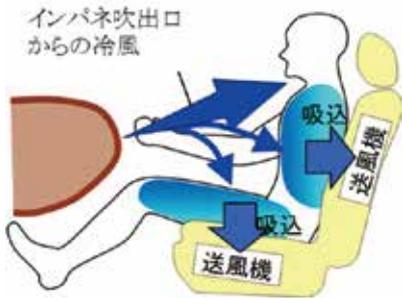


Fig. 18 Single-seat Concentration A/C

3. 将来に向けた空調・熱マネの新たな切り口

1章で述べたように、今後はPHEVやEVなどの、電動化車両がますます進展していくと予測されている。これらの車両ではエネルギーの利用効率の向上のためにパワーエレクトロニクス機器（特に電池）のより精密な温度管理が要求されるとともに、暖房熱源の不足から、少ない廃熱を極力有効活用することが要求される。

本章では、PHEV、EVの電池温度管理、熱マネ技術を紹介し、さらに車外との情報通信（コネクティッド技術）の省エネルギー空調への活用について説明する。

3.1 電池温度管理（ヒートポンプシステムの拡張）

前述のように、近年各国での環境規制強化に伴い、車両の電動化が加速している。具体的にはドイツ、フランス、イギリスのICE車販売禁止（ドイツは2030年、フランスとイギリスは2040年）や中国のNEV規制などである。これにより2020年代後半にはEVの台数が大幅に伸びることが見込まれており、それに合わせて車両メーカー側では、電池容量アップによるEV走行距離の増加や急速充電対応を進めてきている。特に急速充電は、充電時の大きな発熱がバッテリー劣化の要因となるため、冷凍サイクルを利用したバッテリー冷却のニーズは急速に増大してきている。EVでは暖房用にヒートポンプを用いることが有効であるため、電池冷却機能も備えるヒートポンプサイクルが必要となる。

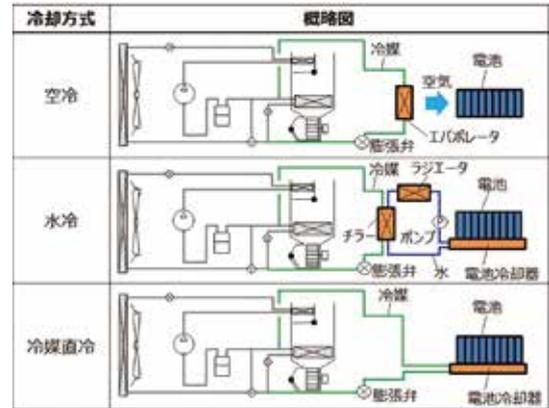


Fig. 19 Battery Cooling System

電池冷却機能を持つヒートポンプサイクルの方式としては、Fig. 19に示すようにエバポレータからの冷風により冷却する空冷方式、チラーを介してヒートポンプと水回路を接続しバッテリーを冷却する水冷方式、冷媒により直接バッテリーを冷却する冷媒直冷方式があり、各メーカーで異なるシステムを採用している。

3.2 次世代熱マネ技術

エネルギー効率が高い車両の少ない廃熱を有効活用するために、Fig. 20に示すように、熱を捨てずに蓄えたり、捨てていた熱を有効利用する構想がある。その要素技術として、蓄熱・断熱・廃熱利用などがあり、その性能向上のためには、蓄熱材や断熱材の進化、およびそれらの構造の最適化、廃熱を利用する冷暖房システム（例えば吸着式冷凍システム⁷⁾）の応用などが考えられる。本項ではこの中から蓄熱システムについて説明する。

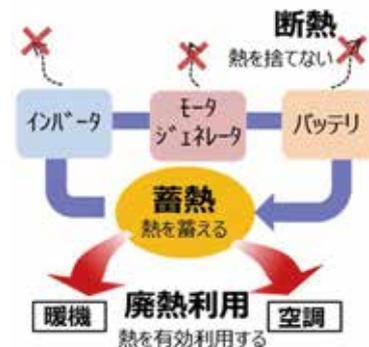


Fig. 20 Concept of Thermal Management and Required Technology

(1) 蓄熱システムに用いる蓄熱材

車両では搭載スペースの制約が大きいいため蓄熱システムには小型化が要求される。小型・高性能な蓄熱システムを実現するためには、まずは蓄熱材の蓄熱密度向上が重要である。過去には、魔法瓶構造の容器内に温水を保存する顕熱式の蓄熱システムが実用化されたが⁸⁾、更なる蓄熱密度向上を目指し、相変化の潜熱を利用した潜熱蓄熱材料が種々開発されている (Table 1)。上述の顕熱方式に比べると総じて約2倍の蓄熱密度を有しており、大幅なシステムの小型化が期待できる。

Table 1 Latent Heat Storage Material Characteristics

メーカー名	主成分	名称	相変化温 (°C)	蓄熱能力 (kJ/kg)
RUBITHERM GmbH	パラフィン	RT90	90	194
		RT80	81	175
Merck KGaA	LiNO ₃ /MgNO ₃ 共晶塩	PCM72	72	170
EPS Ltd.	有機物	A61	61	202
	無機水和物	E58	58	167
三菱化学 ¹⁾	CH ₃ COOHNa三水和物	STL-55	58	241
<参考>	水 (40~60°Cの顕熱)			83.6

(2) 蓄熱材の保持構造

蓄熱システムにおいては、蓄熱密度の向上に加えて、蓄熱器と外部との熱交換性能が重要である。蓄熱密度をなるべく犠牲にすることなく、蓄熱材の漏洩を確実に防ぎ、さらに十分な熱交換性能を発揮できる蓄熱材の保持構造が重要である。その一つに蓄熱材のカプセル化技術がある (Fig. 21)。直径数百ミクロンから数 mm の樹脂などのカプセル内に潜熱蓄熱材を封入する技術である。このカプセルを蓄熱器の内部に充填し、外部から流入・流出する流体 (冷却水など) と熱交換できるようにする。前述の蓄熱材の進化とカプセル化により、蓄熱密度と熱交換性能の両立ができ、蓄熱システムの小型化が可能になると考えている。

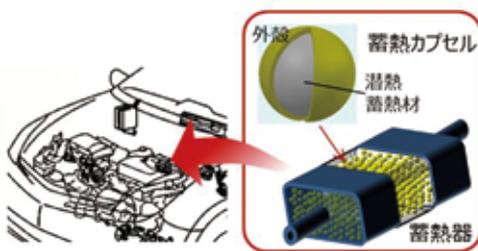


Fig. 21 Image of Heat Storage Material capsules

3.3 コネクティッド技術との融合

今後のさらなる実用燃費向上に向けた取り組みとして、クラウド情報やルート情報を用いて最適な熱マネジメントを行うことが考えられる。

大容量の電池を有している HEV, PHEV において、将来の運転状況、たとえば勾配情報、車速制限情報や周囲の状況を基にエンジンの動作点を予測し電池をエネルギーのバッファとして利用することでモータ動力とエンジン動力の配分を最適化することが出来、燃料や電力の消費量を最小化することが可能となる⁹⁾。エネルギーのバッファとしては、電池だけではなく熱マスも活用することができる。たとえば、前述の蓄冷エバポレータを用い、コネクテッド情報から蓄冷すべきタイミングと放冷すべきタイミングを見極めることで、更なるアイドル時のエンジン稼働の抑制が可能となる。さらに今後は車両停止時のアイドルだけでなく、走行中に走行負荷が低い状況においてエンジンを停止し空走または 10 ~ 20kW 程度のモータで走行をアシストする「セーリング走行」が可能な車両が増えてくる。このような車両においてもコネクティッド情報からセーリングのタイミングや車室内の快適性を先読みし、蓄冷エバポレータの蓄放冷のタイミングおよび継続時間を最適化することで、さらに燃料や電力の消費を低減することが可能となる。

4. FCEV 向け熱マネジメント技術

PHEV, EV 等の拡大が見込まれる一方で、将来の究極の Zero Emission Vehicle である FCEV の開発も進んでいる。FCEV には燃料電池が搭載されていることから他のパワートレインとは異なる課題がある。本章では、FCEV 固有の熱に関する課題と対応策について述べる。

4.1 FCEV における課題

FCEV も PHEV や EV と同様に、空調使用時の航続距離低下を抑制することが課題となっている。これについては 2 章、3 章で述べた技術の多くが FCEV にも適用できる。

次に、FCEV は燃料電池を冷却するための冷却水温がガソリン車に比べて低く放熱先である外気との温度差が小さいこと、ICE に比べ排気ガスを通じた放熱が非常

に少ないことが大きな特徴であり (Table 2), ラジエータに求められる放熱性能はガソリン車の2~3倍以上と非常に高くなっている。そのため、冷却系部品に関しては限られた搭載スペースで冷却性能を確保することが大きな課題である。

もう一つの課題として、FCスタックの温度コントロールがある。燃料電池の発電効率を良好に保つために発電状態に応じたきめ細やかなFCスタックの温度コントロールが必要となっている。

Table 2 Cooling System Characteristics in FCEV and ICE

	FCEV	ガソリン車
最大冷却水温度	90℃前後	110℃前後
熱損失割合	排気 10%以下 冷却水 90%以上	40~50%前後 50~60%前後

4.2 課題への対応策

Fig. 22 に従来のICEの冷却システム, Fig. 23 にFCEVの冷却システムを示す。前述の課題に対応するために、ICEに比べてFCEVには2つの特徴を持たせている。

一つは大幅な冷却性能の向上である。メインラジエータを搭載上許容される範囲で大型化(面積, 厚さ)すると共にサブラジエータも備え、熱交換器のトータル面積を最大化している。また、電動ファンも高出力化しラジエータ通過風量の増加も図っている。

もう一つはFCスタックの性能を引き出すための精密な温度制御である。温度制御に必要な、電動ウォーターポンプとロータリバルブをFCEV専用の仕様としている。

電動ウォーターポンプ (Fig. 24) は小型モータでインペラを回転させ遠心力で圧送する機構とし、電動コンプレッサで培ったモータ技術で大流量と小型化を両立している。

ロータリバルブ (Fig. 25) はラジエータ側とバイパス側の流量配分を制御する役割を担っている。ロータリバルブは円筒形の弁体をステッピングモータで回転させる機構となっている。このロータリバルブにも大流量の冷却水が流れるため、圧力損失も極力小さくなるような弁体設計がなされている。

以上のような冷却系システムにより冷却性能の向上及

びFCスタックの精密な温度制御を実現している。

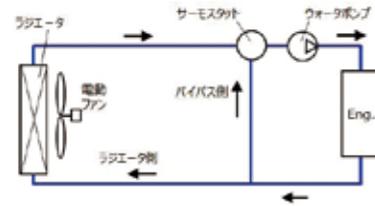


Fig. 22 Engine Cooling System for ICE

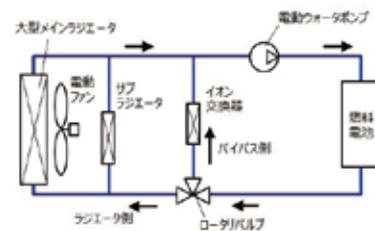


Fig. 23 Cooling System for FCEV

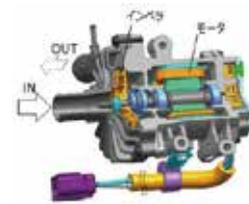


Fig. 24 Electric Water Pump

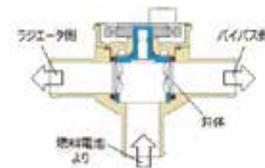


Fig.25 Rotary Valve

4. おわりに

およそ100年前に発明された自動車は人類の生活に欠かせないものとなり多大な利便性をもたらしてきたが、一方で環境への悪影響なども大きな問題となってきた。現在は環境性能向上のための電動化や、より利便性を高めるためのIT技術との融合が進化しており、100年に一度と言われる大きな変革が始まっている。

基調論文

本論文ではこの変革に対応するための空調・熱マネ技術におけるセンサーの取り組みについて紹介してきた。エンジンを持つ車からEVやFCEVのようなエンジンを持たない車まで、それぞれのパワートレインに適した技術を開発していくことが我々の使命である。

前章までで述べてきた技術を今後も普及・進化させると共に、さらに新たな技術開発を創出し続けることで自動車の変革に貢献し、将来の世代に幸福な社会を継承していく所存である。

参考文献

- 1) IEA Energy Technology Perspectives 2012
- 2) e-燃費データ(2016年1~12月)を基にセンサー作成
- 3) 川久保昌章:環境対応車用の最新の空調技術, デンソーテクニカルレビュー Vol.19 (2014), p117
- 4) A. Yamada, S. Nishida, N. Yokoyama, J. Abei, T. Danjo, L. Florida, B. Brodie and Y. Nagano: "Cold Storage Air Conditioning System for Idle Stop Vehicle", SAE Technical papers, 2013-01-1287.
- 5) T. Takano, M. Gocho, T. Nakamura, H. Oshitani and N. Ishizaka: "Ejector system for passenger vehicle air-conditioners", Proc. JRAIA Int. Symposium Dec. 2010, JRAIA2010KOBE-0702.
- 6) Fred,S.,Brian N.,Mahmoud,Y.,Angelo,P. and Leela, R., "Developing the AC17 Efficiency Test for Mobile Air Conditioners," SAE Technical Papers, 2013-01-0569.
- 7) 井上誠司, 井上哲, 小林敬幸:自動車用吸着式冷凍機の小型吸着器仕様に関する研究, デンソーテクニカルレビュー Vol.11 (2006), p121
- 8) 宮田喜夫ら:エンジン暖機用蓄熱システムの開発, デンソーテクニカルレビュー Vol.10 (2005), p88
- 9) M. Nakagawa, K. Yano, I. Yamauchi, M. Stapelbroek, T. Hulshorst, A. Nase: New Degrees of Freedom for Dimensioning of Hybrid Powertrains by Using Predictive Energy Management, 37th International Vienna Motor Symposium, Apr 2016, p227

著者



井上 誠司

いのうえ せいじ

サーマルシステム開発部 博士(工学)
車両用エアコンシステム、熱マネシステム
開発に従事



藤井 斉

ふじい ひとし

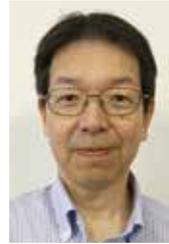
サーマルシステム開発統括部
サーマル分野の技術企画に従事



横山 直樹

よこやま なおき

サーマルシステム開発部
省燃費空調・熱マネシステム開発に従事



高野 義昭

たかの よしあき

サーマルシステム開発部
車両用エアコン・熱マネシステム開発に
従事



有田 望

ありた のぞむ

エアコンディショニング開発1部
車室内快適性システム開発に従事



坂上 祐一

さかじょう ゆういち

サーマルシステム開発部
FCEV 向け熱マネシステムの開発に従事