

BEV の普及課題を熱で解決する高効率エコシステム*

High Efficient Thermal Management System that Overcomes Problems to Spread BEV

加藤 吉毅
Yoshiki KATO

河野 紘明
Hiroaki KAWANO

横尾 康弘
Yasuhiro YOKOO

林 芳生
Yoshio HAYASHI

牧本 直也
Naoya MAKIMOTO

Battery Electric Vehicle (BEV) continues to grow in popularity as a response to global CO₂ environmental regulations. For BEV to become as widely adopted as conventional engine vehicles, it is essential to improve their resale value—which depends on battery capacity—and to extend their cruising range by reducing cabin heating energy consumption in winter. To meet these needs, we have developed a thermal management technology based on a new heat pump system with the following two key advantages:

1. **High battery cooling performance** that maintains over 90% battery capacity after 10 years.

Technical highlight: A receiver cycle with a simple structure and specialized valve control.

2. **Anytime de-icing for the heat pump**, which improves cruising range by 20% compared to high voltage heating systems.

Technical highlight: Enables de-icing while driving by utilizing waste heat from the vehicle and cabin heating.

Keywords :

heat pump, thermal management, icing, deicing, receiver, accumulator

1. まえがき

自動車業界では 100 年に 1 度の変革といわれる「CASE」が叫ばれており、電気エネルギーで走行する BEV への急速な移行が行われている。一方で、リセールバリューの低下、冬季航続距離の低下が BEV 普及課題となっている。

リセールバリュー低下要因は、電池の経年劣化であり、電池冷却性能の向上が必要である。

また BEV では暖房エネルギーも電気で賄う必要があるが、電気ヒータでは航続距離の低下を招く。外気から熱を汲み上げ暖房熱に活用できるヒートポンプエアコンが解決手段となるが、室外器に着霜が発生してしまい、ヒートポンプの効率が大幅に低下してしまう。

2. 研究開発の目標

デンソーはリセールバリュー低下、および冬季航続

距離の低下を「最適な熱マネジメントシステム」で解決することを目的とした。冷房性能に優れるレシーバサイクルをヒートポンプ化することによりベース性能を向上させ、余剰性能を電池冷却に 100% 活用することにより、10 年後の電池寿命 90% 以上を達成する。また BEV 車両全体の熱を有効活用し、冬季ヒートポンプの最大課題となる着霜による性能・効率低下の抑制技術を創出し、着霜環境下でも BEV 航続距離 +20% を実現する。

3. 冷房性能 +10% できるレシーバサイクル構成でのヒートポンプ、電池冷却達成技術

夏季における冷房快適性維持と電池冷却能力の増加の両立は非常に困難である。一方、極低温下ではコンプレッサ潤滑のための冷媒オイル動粘度が約 40 倍となるため、コンプレッサ吸入にアキュムレータを配置し、コンプレッサ吸入状態の冷媒とオイル戻し量を管理する手法が広く採用されるが、冷房性能が大きく低下する。そこで、レシーバサイクルを極低温で稼働するヒートポンプ運転可能とさせ、冷房と電池冷却の両立技術の創出を目指した。

まず、外気放熱および放熱量調節機能を室外器（ラジエータ）と水流調弁に、外気吸熱および調節機能を室外器（ラジエータ）とチラー用 EXV に持たせることで、シンプルな冷凍サイクル構成を創出した（Fig. 1）。

冷媒温度 -30℃ 環境下オイル戻しでは液交じり量の適切な管理が必要であるが、冷媒オイル動粘度が約 40 倍となるため、液交じりとなる領域（気液 2 相域）はセンシングができない（Fig. 2）。センシング可能な冷媒気相状態①（以下 SH ①）を起点に電気式膨張弁（以下 EXV）を開く。検出可能な最小量となる SH ②を検知し EXV を閉じ、アンダースhoot を活用し、液交じり冷媒をコンプレッサに供給する。EXV を閉じることで SH ①に再び向かう。この繰り返しの制御にてヒートポンプ運転を可能とした（Fig. 3, Fig. 4）。成果は Fig. 5 に示す。

冷房とチラー電池冷却運転は双方のエンタルピー差が大きくとれる並列回路構成が性能面で有効だが、一方の冷媒圧力（温度）が決定されると、他方の冷媒圧

力（温度）も同じになってしまう。冷房運転ではエバポレータの冷媒圧力が乗客の快適性観点とエバポレータの凍結防止の観点から定められており、コンプレッサの回転数に余剰があったとしても、電池冷却性能が発揮できないという課題がある。

本技術では、エバポレータの後流側に EPR（Evaporator Pressure Regulator）を配置し、以下作動をさせることで、冷房性能と電池冷却性能を独立に制御させ、冷凍サイクルの能力を 100% 発揮させることができるようにした。

作動①：エバポレータのフィン温度によりコンプレッサ回転数を決定する。このときチラー能力（電池冷却能力）は成り行きとなる。

作動②：EPR 作動後、チラー側水温度によりコンプレッサ回転数を決定する。このときエバポレータは EPR で乗客最適圧力に制御され、電池冷却は最大性能が発揮される。

以上の技術にて、夏季冷房と電池冷却を両立、目標としている電池冷却性能 3.1kW を達成、電池劣化を抑制することができ、10 年後の電池寿命 90% 以上維持ができる。

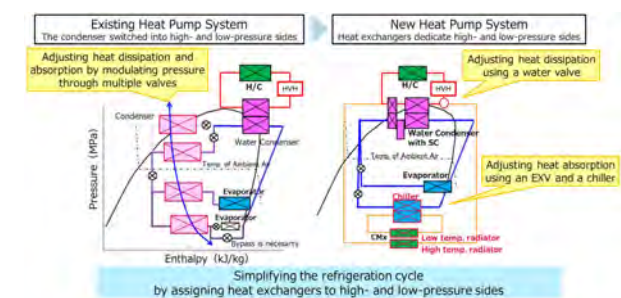


Fig. 1 New Heat Pump System : Compared with Existing System

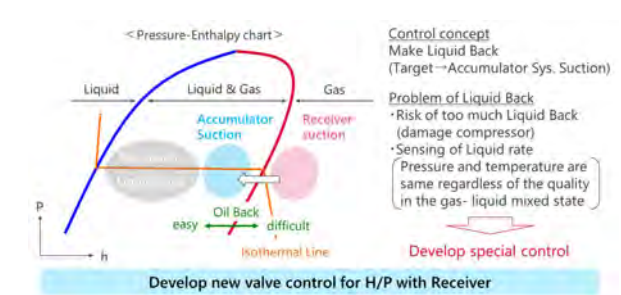


Fig. 2 Liquid Back Control : Concept

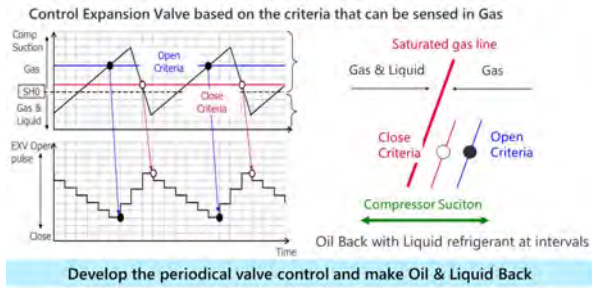


Fig. 3 Liquid Back Control : Valve Actuation

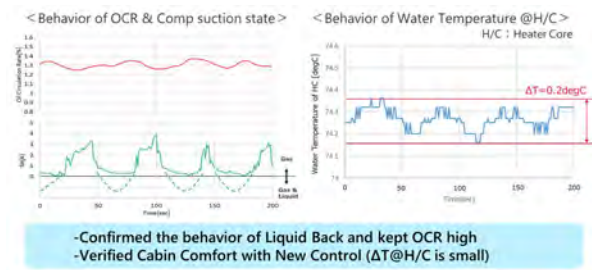


Fig. 4 Liquid Back Control : Demonstration of New Control

	Existing Heat Pump System (accumulator cycle)	New Heat Pump System (receiver cycle)
Cooling Performance	100	110
Heating Performance	100	100
Component Number	13	7
Refrigerant Amount	100	50
System Weight	100	65

New System : Simple Structure and High Performance

Fig. 5 New Heat Pump System : Compared with Existing System

4. 車両廃熱，暖房熱を活用した世界初の走行中除霜システム

従来除霜運転は，冷凍サイクルホットガス作動で行われており，生成熱量が400W程度のため停車中実施に限られる。また除霜不足も多く，ヒートポンプの効率ポテンシャルを最大限発揮できていない。BEVの熱事情を俯瞰してみると，暖房熱生成機能はヒートポンプまたは電気ヒータが主であり，電動走行系の廃熱は未活用であった。新規システムでは室外器が冷却水回路に配置されていることに着眼し，熱マネジメントとして最適な活用方法を検討実施した。

走行中に除霜を可能にするには，0℃以上の温度で，

300KJ～600KJの熱量を供給する必要がある。走行系の廃熱は約400W～と微小であるが，蓄熱することで除霜可能な温度まで上昇させ，十分な熱量を蓄えられることを明確化した。また暖房熱はそもそも温度が高く，熱量も非常に大きいため，その一部を活用することにより十分な除霜熱源となる（Fig. 6）。

以下にシステム作動概要を示す（Fig. 7）。

作動①：走行開始後，ヒートポンプ暖房運転を開始し，外気吸熱による着霜も開始される。同時に，走行系機器を含む水回路を閉ループ化し，蓄熱を開始する。

作動②：室外器（ラジエータ）に外気吸熱による着霜が堆積し，効率が低下する手前に設けた第一判定値の後，蓄熱した水回路熱を室外器に供給し除霜する。上記を繰り返すことで，300分まで良好なヒートポンプ効率運転をより省動力で維持可能となる。

作動③：室外器は除霜とヒートポンプ運転を繰り返すことで保水量も増大し，保水の凍結も含めた着霜量が增大するため，蓄熱除霜では除霜仕切れなくなる。その状態を示す第二判定値の後，暖房熱回路の一部の冷却水を室外器に導入し，短時間で強力に除霜する。

着霜のない理想状態のヒートポンプ暖房ではCOP2.1を有するが，着霜環境下では大幅に効率低下してしまうのに対して，上記二つの除霜技術を組み合わせることにより14時間の連続運転後でもCOP1.9を維持可能となる（Fig. 8）。14時間は，現状のBEVの連続走行時間（最大7時間程度）の2回分に相当し，十分な実力を有していると考える。

	Waste Heat by the drivetrain	Heating Energy (HVH)
Assumed Heat	0.4kW～0.8kW (w/o power)	2kW～5kW (w/ power COP0.9)
Supplying Method for Deicing Heat	Rising temp. by accumulated heat ↑ about 350KJ@30min	Distributing heating energy to the radiator ↑ about 3600KJ@30min
Required Heat for deicing	30min driving 240min driving w/o	300KJ⇒Deicing 600KJ⇒Not Deicing
Applied Cases	Short-duration driving	Long-duration driving

※Condition : Equivalent to WLTC, TAM0°C80%RH ※Driving with repeated icing and deicing cycle

Addressing various use cases by combining two deicing methods

Fig. 6 Supplying Method for Deicing Heat

5. むすび

BEV普及課題である，リセールバリュー低下，冬季航続距離の低下に対し，「最適な熱マネジメントシステム」での解決技術を具体化した。

- ・冷房性能+10%できる非常にシンプルなレシーバサイクル構成を明確化し，ヒートポンプ運転領域を冷媒温度-30℃まで可能とする制御と，冷房快適性と電池大冷却を独立的に制御する新規制御を構築し，10年後の電池寿命90%以上維持を達成した。
- ・電動走行機器の廃熱，暖房熱に着眼し，廃熱を蓄熱利用した逐次除霜技術と暖房熱を活用した一撃除霜技術とを組み合わせる世界初の走行中除霜システムを構築，着霜環境下で連続14時間の高効率暖房運転（COP1.8以上）を実現し，電気ヒータに対して車両航続距離+20%を達成した。

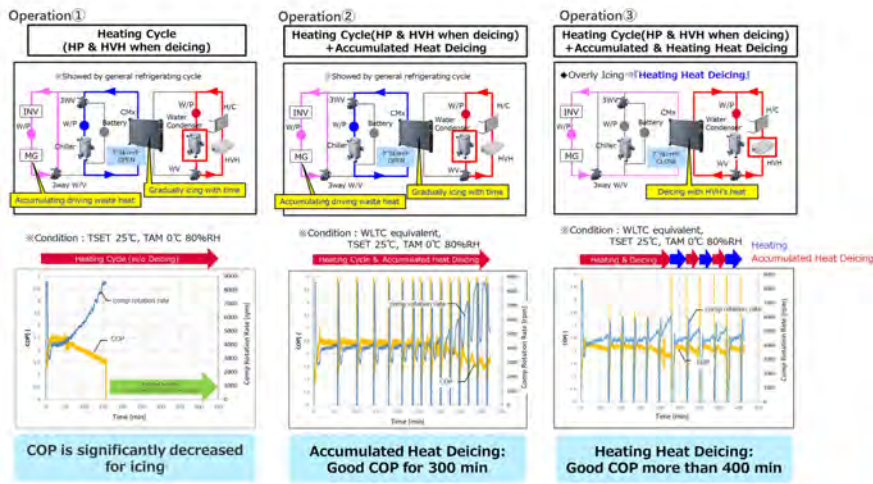


Fig. 7 New Deicing Method : Heating Cycle

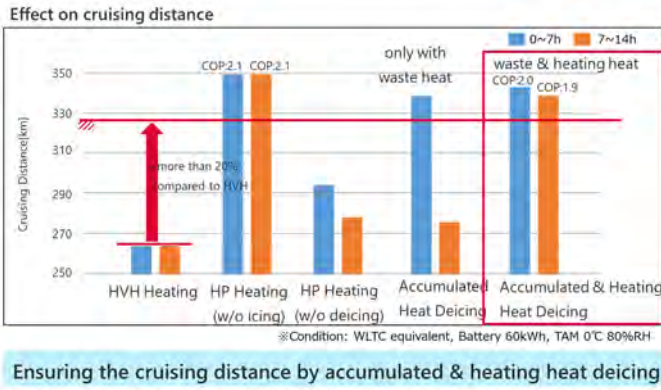


Fig. 8 New Deicing Method : Effect

著者



加藤 吉毅

かとう よしき

サーマルマネジメントシステム技術1部
熱マネシステム設計開発に従事



河野 紘明

かわの ひろあき

サーマルマネジメントシステム技術1部
熱マネシステム設計開発に従事



横尾 康弘

よこお やすひろ

サーマルマネジメントシステム技術1部
熱マネシステム設計開発に従事



林 芳生

はやし よしお

サーマルマネジメントシステム技術1部
熱マネシステム設計開発に従事



牧本 直也

まきもと なおや

サーマルマネジメントシステム技術1部
熱マネシステム設計開発に従事