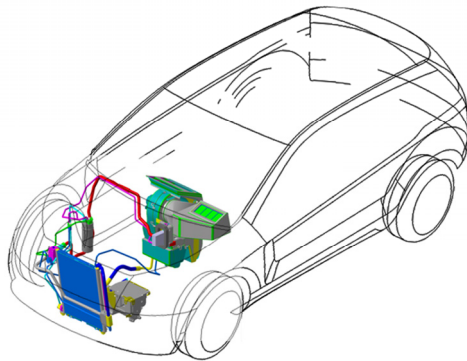


ヒートポンプカーエアコンシステムの開発 ー従来比 20～60%の省エネを達成ー

Development of Automotive Air Conditioning Systems by Heat Pump Technology



近藤 敏久^{*1}
Toshihisa Kondo

片山 彰^{*1}
Akira Katayama

末武 秀樹^{*1}
Hideki Suetake

森下 昌俊^{*2}
Masatoshi Morishita

環境保全, CO₂ 排出規制強化を背景に電気自動車やハイブリッドカーは今後市場拡大が見込まれる. 本論文では, 車外空気に含まれる熱エネルギーを暖房運転に有効活用するヒートポンプカーエアコンシステムをこれらの車輻に適用することで従来対比 20～60%のエネルギー低減を達成した事例について報告する.

1. はじめに

電気自動車(EV), ハイブリッドカー(HEV/PHEV)などの次世代自動車市場は今後拡大が見込まれている. しかし, 現時点で普及に至っていない理由として, 航続距離が短い, 車輻価格が高い, インフラ未整備の問題などが挙げられている. このうち航続距離が短いという問題に対し, 次世代自動車用空調システムには航続距離延長を目的としたエネルギー効率の向上が要求されており, 特に現状の空調システムは暖房運転時の電力消費により航続距離が大きく低下することから, これらに対応したシステムを開発中である.

2. 現状と課題

2.1 現状

内燃機関を有する車輻の空調システムの暖房運転は, 機関冷却用の温水回路を車内に引き込み, 内燃機関の排熱を利用し行われている. しかしながら, 電気自動車の場合, 車輻モータのエネルギー変換効率が高く, ブレーキ時にも運動エネルギーを回生電力として回収するため排熱量は従来の内燃機関に比べ小さく, 暖房運転に必要な熱量としては不足する. 現状は不足する熱量を補うために電気温水ヒータを搭載したシステムが採用されることが一般的である(図1).

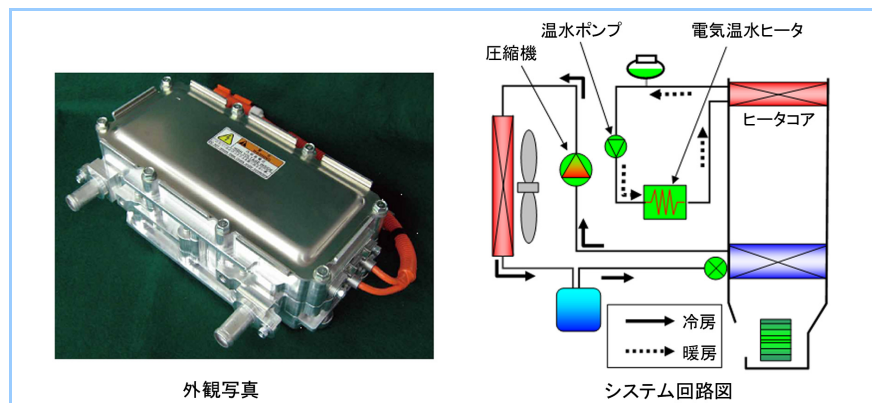


図1 電気温水ヒータシステム (写真は当社製)

*1 冷熱事業本部カーエアコン部

*2 技術統括本部名古屋研究所

このシステムの特徴として、電気温水ヒータ以外の部品は既量産車と共通化可能であり開発費を抑制できること、また高電圧で駆動する電気温水ヒータを車外に設置することで高電圧電線を車内に引き込む必要がなく、車両衝突時の乗員の安全性に配慮された設計となっていることなどが挙げられる。

2.2 課題

このように電気温水ヒータシステムは優れた特徴を有するが、電気自動車の場合、車両の総電力量に対し暖房運転に必要な電力量の割合が大きく、暖房運転時に航続距離が低下するという大きな課題がある(図2)。一方、航続距離を伸ばすためにバッテリー容量を増加させることは、バッテリーの搭載スペース、重量、コストの課題がある。

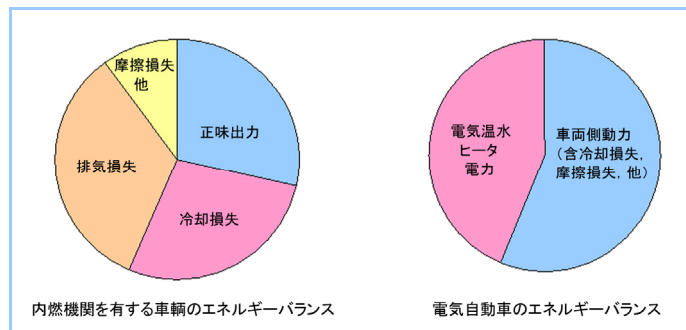


図2 エネルギーバランス

内燃機関車の場合、冷却損失による排熱を暖房として利用している。
電気自動車の場合、暖房に必要な電力をバッテリーから供給している。

3. ヒートポンプカーエアコンシステムのエコカーへの適用

上述の課題をブレークスルーする技術としてヒートポンプをカーエアコンシステムに適用し、暖房運転時のエネルギー効率向上の検討を行った。

3.1 熱源、冷媒の選定

ヒートポンプシステムの暖房性能は、利用する熱源により大きく影響を受けるため熱源の選定が重要となる。ヒートポンプシステムをカーエアコンに適用する場合、暖房運転に利用可能と考えられる熱源として下記が挙げられる。

- ・車外空気に含まれる熱エネルギー
- ・車内換気空気に含まれる熱エネルギー

冷媒は、入手性、コスト面から現行冷媒(R134a)を用いて評価を実施した。それぞれの熱源を利用したヒートポンプシステムの比較を表1に示す。普及を目的とする場合に重要なファクタとなる、簡素な構造かつ低コスト化の可能性を考え合わせ比較の結果、車外空気熱源ヒートポンプシステムを選定した。

表1 システム比較

			ヒートポンプシステム A	ヒートポンプシステム B
暖房熱源			車外空気	車内換気空気
システム構成図				
伝熱媒体			R134a	R134a
暖房能力	外温 0℃	能力	😊	😊
		COP	😊	😊
	外温 10℃	能力	😊	😊
		COP	😊	😊
コスト			😊	😞

車外空気熱源ヒートポンプシステムは、外温制限があるものの、エネルギー効率を改善でき、簡素な構造で低コスト化が可能なシステムである。

😊(よい) > 😊 > 😞(悪い)

3.2 車外空気熱源ヒートポンプシステム概要

車外空気熱源ヒートポンプシステムは、圧縮機、車内凝縮器、切換弁、受液器、膨張弁、車外蒸発器、車内蒸発器、車外凝縮器、配管などにより構成されており、車外空気に含まれる熱エネルギーを暖房熱源として利用するシステムである(図3)。このため、外温、自動車の速度、天候などの車外空気の状況により暖房性能が変化することから、カーエアコンに本システムを適用する場合、これらの影響について十分、検証することが重要になる。一例として、通常ヒートポンプシステムでは、低外気温での暖房運転時に車外蒸発器に空気中の水分が付着し氷結する着霜が発生することにより暖房性能の低下や運転停止に至る場合があるため車外熱交換器への着霜が発生しにくいシステムであることの検証が必要である。

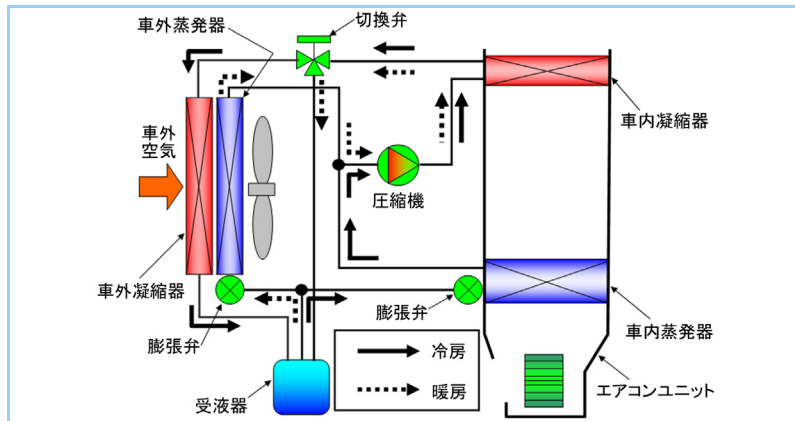


図3 車外空気熱源ヒートポンプシステム回路図

車外空気に含まれる熱エネルギーを暖房熱源とする。

3.3 コンポーネント部品の特性

本システム用に開発した暖房用車外蒸発器と車内凝縮器の特徴を説明する。

(1) 暖房用車外蒸発器

冷房用の(車内)蒸発器は、車内搭載空間の制約条件を満足しつつ必要能力を発揮する必要があるため、冷媒流路を2列構造とすることで単位面積当たりの熱交換量が大きくなるよう小型化の設計がされている。また、熱交換器表面に凝縮水の飛散を防止するための特殊な表面処理が施されている。これに対し、暖房用の車外蒸発器は、車外冷却機器の搭載空間の制約条件を満足しつつ必要風量を確保する必要があるため、薄型、低圧損の設計とし、単位面積当たりの熱交換量は車内蒸発器より小さい設計とした(図4)。さらに本システムに使用する暖房用車外蒸発器は暖房運転時の着霜に対して考慮する必要があるため冷媒流路を構成するチューブを縦方向に配置し排水性を考慮した設計とした(図5)。

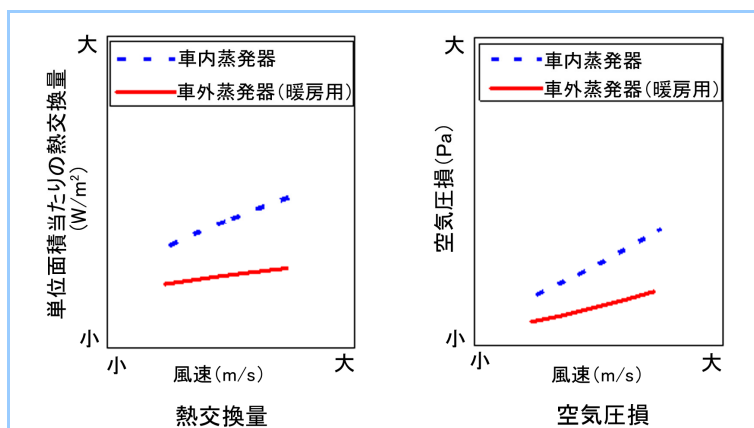


図4 暖房用車外蒸発器単体性能

車内蒸発器と車外蒸発器の特性比較

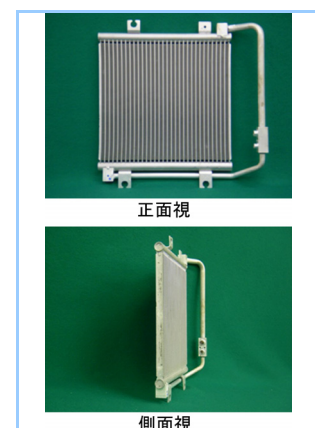


図5 暖房用車外蒸発器

(2) 暖房用車内凝縮器

冷房用の(車外)凝縮器は、車外冷却機器の搭載空間の制約条件を満足しつつ必要能力、風量を発揮する必要があるため薄型、低圧損の設計となっている。これに対し暖房用の車内凝縮器は、車内搭載空間の制約条件を満足しつつ必要能力を発揮する必要があるため、2列構造とすることで単位面積当たりの熱交換量が冷房用の(車外)凝縮器より大きい設計とした(図6)。

さらに本システムに使用する暖房用の車内凝縮器は、内燃機関からの排熱を暖房熱源とするエアコンユニットとの共用化を考慮し暖房用ヒータコアと置き換え可能なサイズ、構造となっている(図7)。

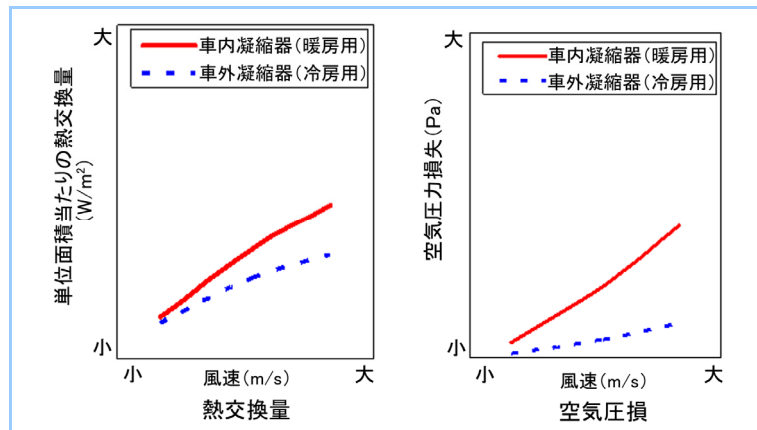


図6 暖房用車内凝縮器単体性能
車内凝縮器と車外凝縮器の特性比較



図7 暖房用車内凝縮器

3.4 実車性能

車外空気熱源ヒートポンプシステムを電気自動車に搭載し実車性能評価を実施した結果を以下に示す。

3.4.1 暖房性能

暖房性能は、車内温度を快適な温度(25℃とした)に維持させた状態にて、外温を0～10℃まで変化させた場合の消費電力を電気温水ヒータシステムと比較した。試験条件を表2、試験結果を図8に示す。これより本システムの消費電力は、電気温水ヒータシステム対比で外温0℃では20%、外温10℃では60%低減可能であることが確認された。外温が高いほど低減率が大きい理由は、本システムが車外空気から熱エネルギーを回収するシステムのため、車内温度と外温の差が小さいほど少ない消費電力で熱エネルギーが回収できるためと考える。また、この外温の範囲であれば、車内を快適な温度に維持したまま連続的に暖房運転が可能であることを実験により確認した。

表2 暖房性能試験条件

	試験条件
車両	電気自動車(A-Segment)
外気温度	0～10℃
車内温度	25℃
車速	40km/h

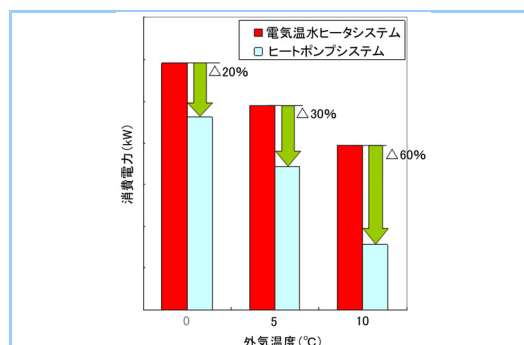


図8 消費電力比較

ヒートポンプシステムは車内温度を快適に維持したまま消費電力を20～60%低減できる。

3.4.2 ウィンドシールドデフロスター性能

さらに低外温時の視界確保のためのウィンドシールド(W/S)デフロスター性能試験⁽¹⁾を実施した。試験条件を表3、試験結果を表4に示す。これより本システムは国内デフロスター性能法規の要求値を満足することを確認した。また、試験において連続運転できることを確認した。

表3 W/S デフロスター試験条件

	試験条件
車両	電気自動車(A-Segment)
外気温度	-8℃
規格	国内デフロスター性能法規 ⁽¹⁾
車速	0km/h

表4 W/S デフロスター性能試験結果

エリア	要求値	試験結果	判定
運転席	80%以上(20 分後)	80%	合格
助手席	80%以上(25 分後)	100%	合格
W/S 全体	95%以上(40 分後)	100%	合格

4. まとめと今後の展望

車外空気を熱源としたヒートポンプシステムを実際の電気自動車に搭載し性能評価を行った結果、外温0℃から10℃の範囲で暖房運転時にエネルギー効率を改善しつつ、快適な車内温度を連続で維持できることを確認できた。さらに外温が-8℃まで低下した場合においても、デフロスターが有効に機能することを確認した。今後、様々な運転状況に対応した実用性の確認を行い、システムの完成度を向上させていく所存である。また当社は電気温水ヒータシステムの開発技術を既に有しており、今後は両者の長所を組み合わせたよりよい暖房システムの開発を行い、次世代自動車の開発を行う車輛メーカーと協力しユーザーニーズに応えていきたい。

参考文献

- (1) 国土交通省 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示【2005.03.31】別添 86 (デフロスターの技術基準) http://www.mlit.go.jp/jidosha/kijyun/saimokubetten/saibet_086_00.pdf