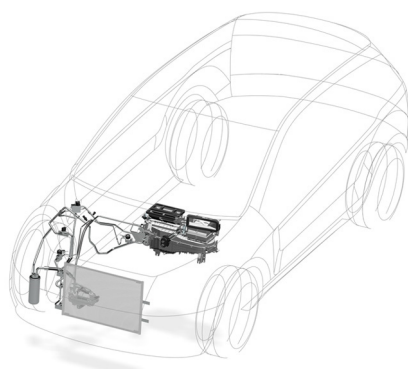


電動車用ヒートポンプシステムの開発

Development of Heat Pump System for Electric Vehicles



中川 信也*¹
Nobuya Nakagawa

羽瀬 知樹*²
Tomoki Hase

大崎 智康*¹
Tomoyasu Osaki

片山 康雄*¹
Yasuo Katayama

立野井 秀哲*³
Hideaki Tatenoi

仲戸 宏治*⁴
Koji Nakado

近年、環境規制強化に対応し世界的に急速に普及してきた電動車(xEV 車)では、航続距離に直結する空調使用電力の低減が求められている。冬期の空調使用電力を低減することが可能な電動車用ヒートポンプシステムに対し、省動力化と乗員快適性を両立するため、計算機上でエアコンサイクルとそれを制御するシステムをモデル化し、シミュレーションによるシステム制御の検討を行った。更に実車両にて検証を行い、ヒートポンプシステムの構成機器を適正に制御することで高効率化と乗員快適性を両立できることを確認した。

1. はじめに

世界的な環境保護(地球温暖化ガスの排出抑制)の高まり、それに伴う車両燃費規制から電気自動車やハイブリッド車等の電動車が急速に普及してきている。電動車における空調使用電力はバッテリー駆動時の航続距離に直結するため、空調の省動力化要求が高まっている。特に冬期における暖房時の空調使用電力を低減することが可能なヒートポンプシステムは、航続距離延長に有効な技術であり、今後採用が広がることが予想される。

しかし、ヒートポンプシステム採用時にも自動車用空調特有の安全確保に必須な機能の実現が必要である。そこで三菱重工サーマルシステムズ(株)では、空調省動力化と乗員の安全性、快適性確保を両立するため、電動車用ヒートポンプシステムを構成する HVAC (Heating and Ventilation Air Conditioning) ユニット、電磁弁、電子膨張弁(EXV)等の機器を統合的に制御するシステム開発ツールとして制御用シミュレーションソフトウェアを用い、デジタル空間上でモデル化し、シミュレーションによるシステム制御最適化を検討するとともに、実車両での検証を行った。

2. 電動車用ヒートポンプシステムの制御について

電動車用ヒートポンプシステムでは外気温度や設定温度、センサから得られるエアコンシステム各部の温度や圧力情報に基づき、エアコンシステム構成機器である HVAC、電動コンプレッサ、電磁弁及び EXV 等を適切に制御することで、省動力化を図りつつ安全性及び快適性を実現することが可能となる。これらを実現するためヒートポンプシステム及びその制御ロジックを計算機上で構築し、事前検証を繰り返し実施することで多大な実験費用・期間を要せずに実用可能なヒートポンプ制御を構築した。

*1 三菱重工サーマルシステムズ(株)車両空調機事業部技術部 首席技師

*2 三菱重工業(株)総合研究所伝熱研究部 首席研究員

*3 三菱重工業(株)総合研究所伝熱研究部

*4 三菱重工サーマルシステムズ(株)車両空調機事業部技術部

制御対象は、電動コンプレッサ、HVAC ユニット、電磁弁、EXV、冷却ファン等が挙げられる。制御イメージを図1に示す。乗員によるエアコン操作情報、車両センサ情報、エアコンシステムセンサ情報等をもとにエアコン制御コントローラから HVAC ユニット(ブロー、吹出モード、吹出温度調節、内外気切替等)、エアコンサイクル(電動コンプレッサ回転数、電磁弁動作、EXV 開度等)を制御する。エアコン制御コントローラ、HVAC ユニット、エアコンサイクルが省動力化評価対象であり、また車両を含めた全体が空調機能評価対象となる。

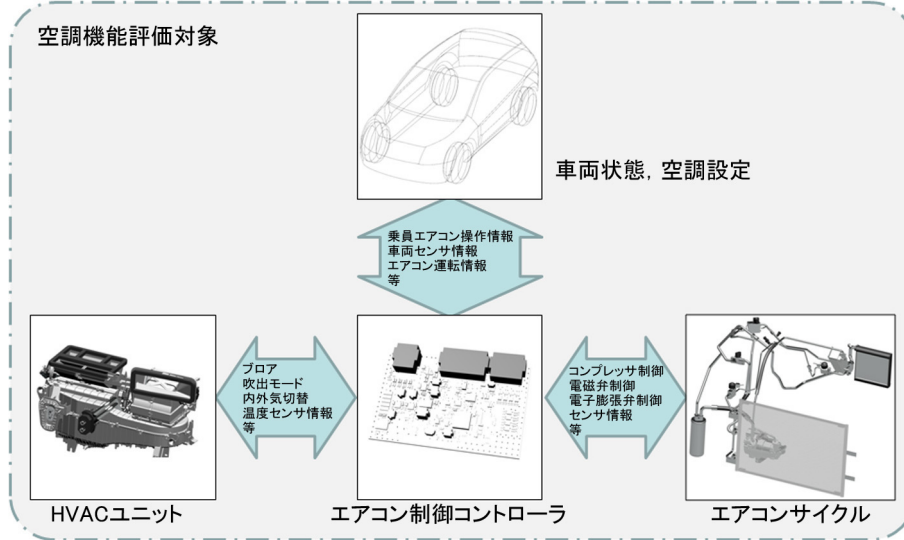


図1 車載用ヒートポンプシステム制御イメージ

計算機上の制御ロジックの具体例を図2に示す。空調制御側で HVAC ユニットの吹出モード、吹出温度調整、送風量、内外気等を、また冷媒制御側で電動コンプレッサ回転数、電磁弁動作、EXV 開度、冷却ファン等を制御している。本報では一例として EXV の制御について種々の検証を行い、システム運転状態を確認した結果を示す。計算機上にて制御ロジック及び制御パラメータの妥当性を十分に検証した後、実際に車両で運転状態を確認した。

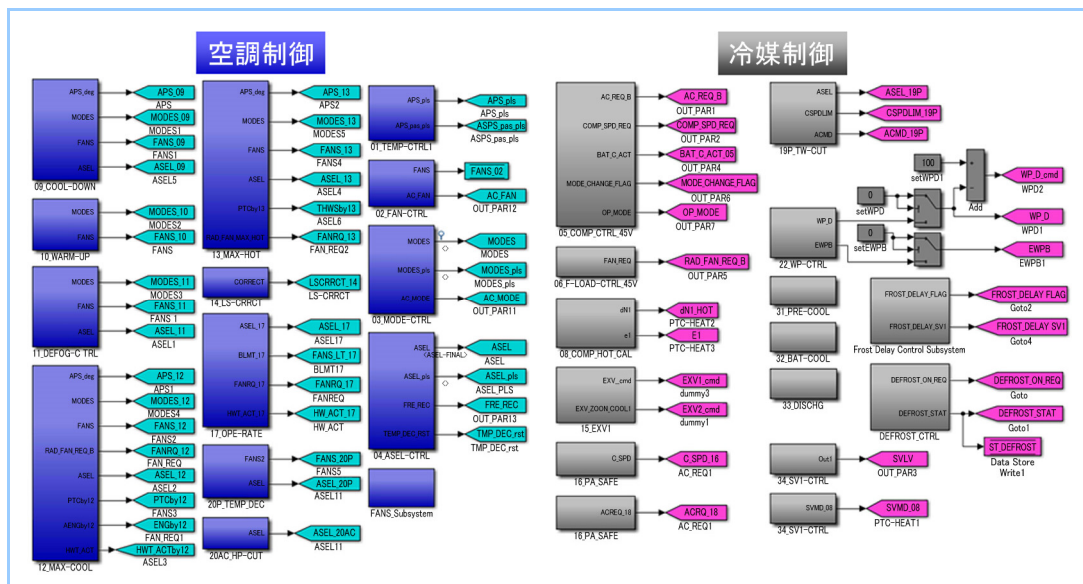


図2 制御用シミュレーションソフトウェアによる制御ロジック

3. 省動力化への対応

省動力化のためにはエアコンサイクルを適切に制御することが重要であり、空調性能に大きく影響する電動コンプレッサ回転数制御及び EXV 制御での省動力化対応について説明する。

エアコンサイクル上の各部センサで取得できる温度、圧力情報から、空調性能、効率に関わると想定される制御パラメータを選定するため、電動コンプレッサ回転数及び EXV 開度を変化させた場合のエアコン成績係数 COP(Coefficient of Performance)と吹出温度を実験により求めた。評価は、外気温度、冷却ファン、HVAC 吹出モード及び送風量を一定とし、電動コンプレッサ回転数を低速、中速、高速の3条件で実施した。一例として暖房運転時の EXV 開度による COP, 吹出温度の変化を図3(a)に示す。コンプレッサ回転数毎に COP, 吹出温度が最大となる EXV 開度が異なるため、制御パラメータ A, Bを用いて実験結果を再整理した。その結果を図3(b), (c)に示す。制御パラメータ Aでは電動コンプレッサ回転数が低速、中速、高速に関わらず COP が最大となる制御パラメータが比較的広範囲に存在するのに対し、制御パラメータ Bでは COP が最大となる範囲が限定的かつ電動コンプレッサの回転数により異なる。また、吹出温度については、制御パラメータ A及び制御パラメータ B共にパラメータ値の増加に従い上昇する傾向にある。

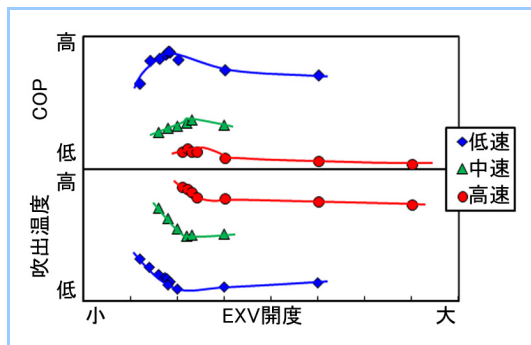


図3(a) EXV 開度による COP, 吹出温度の変化

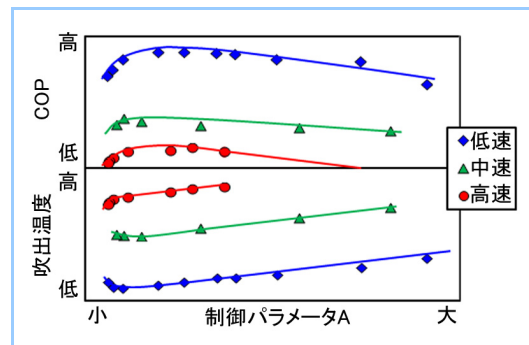


図3(b) 制御パラメータAによる COP, 吹出温度の関係

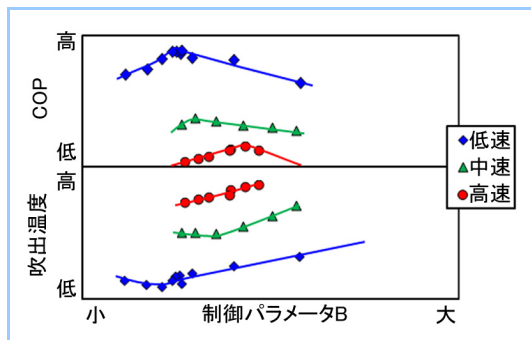


図3(c) 制御パラメータBによる COP, 吹出温度の関係

以上から、省動力化及び所定の空調性能・吹出温度を実現するためには適切な制御パラメータを用いた EXV 制御が必要であることが分かる。

4. 除湿暖房への対応

電動車用ヒートポンプシステムの必要機能として車内の窓曇り防止のため、ある外気温度の範囲において HVAC 内エバポレータで除湿しながら、吹出空気を暖める除湿暖房がある。空気が HVAC 内エバポレータを通過することで冷却され除湿し、更にヒータを通過することで再加熱(リヒート)され、車内に比較的高温の空気が送風されることで除湿暖房が成立する。

外気温度、乗員設定温度等により必要な除湿量及び再加熱量は変化するため、電動コンプレッサ回転数とともに EXV 開度制御による蒸発温度、冷媒流量制御が必要になる。あらかじめ計算機上でエアコンサイクル特性及び複数の制御ロジック案を構築し、シミュレーションを行い、除湿暖房機能の実現性を事前検討して効果を確認した。

図4にシミュレーション結果の代表例を示す。外気温度、車速一定の条件で、空調操作は Auto 設定とした。FOOT(足元)吹出温度、車内代表温度、HVAC 内エバポレータ出口温度の時間に

対する推移を示しており、制御案Ⅰでは HVAC 内エバポレータ出口温度が外気温度より低く除湿が機能しており、また吹出温度も安定している。一方、制御案Ⅱでは除湿は機能しているが吹出温度が不安定となった。

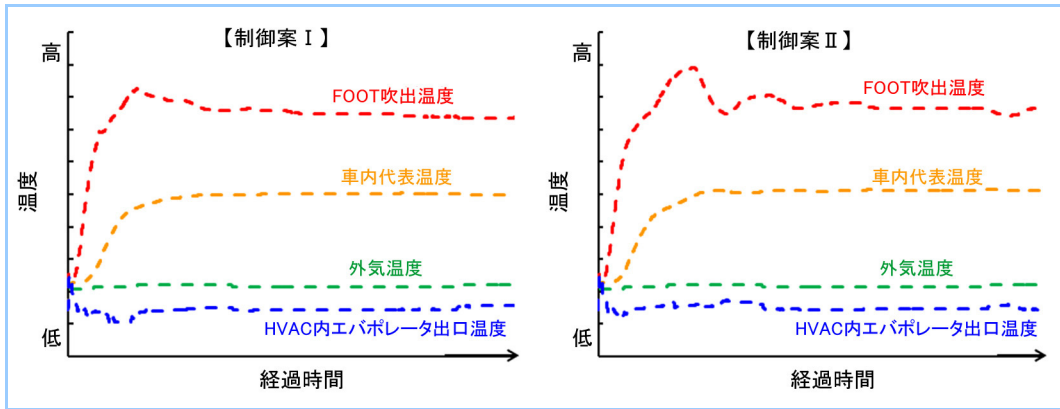


図4 制御案Ⅰ、Ⅱのシミュレーション結果

シミュレーション上で良好な制御性が確認された制御案Ⅰにて、実際の車両での制御性を確認した。確認結果を図5に示す。実車両での試験条件はシミュレーションで設定した条件と同一とした。除湿暖房が機能し、吹出温度が安定して制御できており、実車両での試験結果とシミュレーション結果がよく一致していることを確認した。

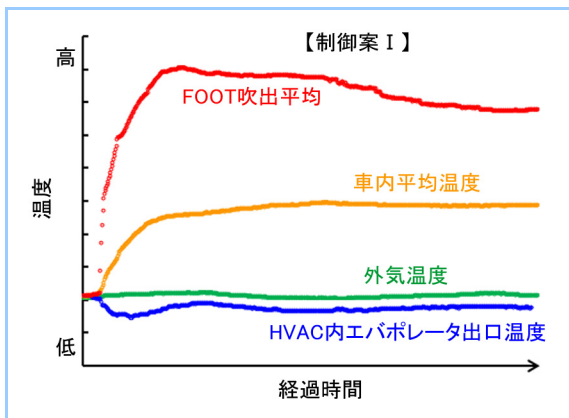


図5 制御案Ⅰの実車両での除湿暖房試験結果

さらに制御案Ⅰの広範囲な運転条件での制御性を確認するため、空調 Auto 設定にて、外気温度及び乗員設定温度が変化した場合の制御性についても確認した。結果を図6に示す。外気温度が異なる条件で、乗員設定温度を上げた場合及び下げた場合においても、車内平均温度は設定温度に追従し良好な空調制御性が得られている。

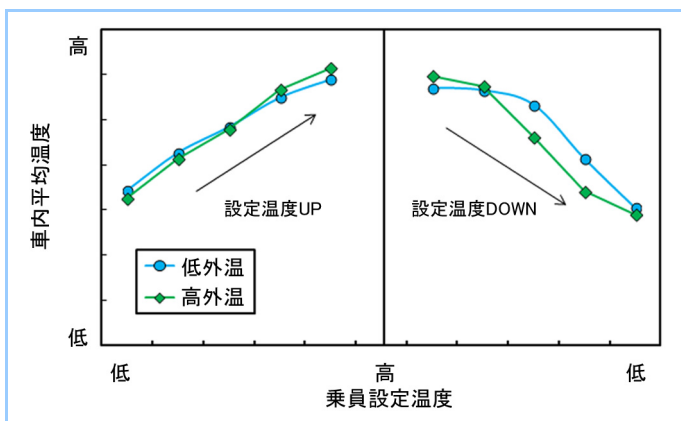


図6 乗員設定温度が変化した場合での制御性

5. まとめ

空調省動力化と乗員の安全性、快適性確保を両立するため、電動車用ヒートポンプシステムを構成する各機器を統合的に制御するシステム開発ツールとして制御用シミュレーションソフトウェアを用い、計算機上でモデル化しシステム制御検討と実車両での検証を行った。

電動車用ヒートポンプシステムの開発において、電動コンプレッサ回転数や EXV 開度及び HVAC を制御するパラメータを適切に設定、制御することで高効率化と除湿暖房機能を実現した。

今後、更なる高効率化、乗員快適性の向上のみならず、寒冷地向けを含めた大能力化を目指して開発を進めていくことで、電動車用ヒートポンプシステムの商品性を向上しつつ電力使用量低減により CO₂ 排出量を削減し、持続可能な社会の発展に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 夏目明典ほか、信頼性の高い製品を支える制御ソフトウェア検証技術、三菱重工技報 Vol.43 No.2 (2006) p.20～24
- (2) 片山康雄ほか、プラグインハイブリッド車用ヒートポンプシステムの開発、三菱重工技報 Vol.54 No.2 (2017) p.63～65