

電気自動車の熱エネルギーマネージメントに関する研究*

坂田 知浩¹⁾ 加賀田 誠²⁾

Research on heat energy management in electric vehicles

Tomohiro Sakata Makoto Kagata

Electric vehicles (EVs) have no heat source like internal combustion engines, and heating is a problem for use in the winter. If drive power is used for heating, there is said to be a major decrease in range. This study investigated power usage, range and other factors when heating was used while driving an EV through urban areas in the winter. It was also investigated whether traveling EVs have high temperature points to serve as heat sources for heating. It was found that range with heating was roughly half that without heating.

KEY WORDS: EV and HV systems, Air conditioner, Heat management, Heater, Thermal storage (A3)

1. ま え が き

内燃機関を搭載した車両では、暖房はエンジンの廃熱を利用している。しかし熱源を持たない電気自動車においては熱源を別に用意する必要があり、一般的には走行用バッテリーを電源とするヒータ、ヒートポンプ等が用いられる。走行用バッテリーの電力を暖房用の電力に使用した場合、航続距離を大きく減少することとなり、特に寒冷地での電気自動車普及の足かせとなっている。

一方、電気自動車にはHVバッテリー、インバータ、駆動用モータなどの高電圧電力機器が搭載されており、そこではある程度の廃熱の発生が期待できる。⁽¹⁾

本研究では、電気自動車の廃熱を暖房に利用すべく、車内に利用可能な高温部分があるかを調べ、また暖房使用時における航続距離についても調査したので報告する。

2. 実 験 方 法

2.1. 供試車両

電気自動車である日産リーフを実走行させ、車体各部の温度変化を測定、車両部品の電力消費を調べた。表1.に車両諸元を示す。

走行条件として二人乗車し、暖房使用時での設定は、エアコンをOnにし、温度設定を32℃、ブローファンを最強にした。また、冬期間に通常使用されるシートヒーターを、運転席、助手席ともにLo設定にし、走行を行った。

暖房非使用時は、エアコン、シートヒーター共にOffとした。車両は走行直前まで充電し、満充電状態から測定を行った。

供試車両である初期型の日産リーフは暖房の熱源としてPTCヒータを採用している。

PTC (Positive Temperature Coefficient) ヒータは電流を流すと発熱するが、ある温度で抵抗が急激に増加するため、電流量が制御され一定の発熱量を保つ。日産リーフでは、このPTCヒータの電源は走行用のHVバッテリーであり、PWM方式でヒータに通電、ヒータフルードを加熱、ラジエータ状のヒータコアで室内の空気を温めている。

Table1 リーフ主要諸元

全長	4445mm
全幅	1770mm
全高	1545mm
ホイールベース	2700mm
車重	1520kg
タイヤサイズ	205/55R16
バッテリー種類	リチウムイオン電池
総電力量	24kWh
モータ形式	EM61
定格出力	80kW/6150rpm
JC08 モード 充電走行距離	200km

*2016年8月4日受理。第48回全国自動車短期大学協会において発表。

1)・2) 北海道科学大学短期大学部(006-8585 北海道札幌市手稲区前田7条15丁目4-1)

走行コースは冬期間の市街地走行を想定し、北海道科学大学を出発し、下手稲通り－国道337号線－道道225号線－国道5号線を小樽・余市方面に向かい、HV バッテリー残量が50%程度に減少した時点で折り返し同じ経路を戻ってくるというコースとした。図1に走行コースを示す。



Fig. 1 走行コース

2.2. 測定装置

測定には日産のOBD IIシステム、CONSULT-III Plusを使用した。CONSULT-III Plusは、車両のOBD端子に接続するインターフェース機器と、それと無線接続されるPCから成っている。図2に外観を示す。

車両のECUでは、制御のため大量のデータを処理しており、その大部分はCONSULT-III Plusのような外部診断機システムでモニターすることができる。CONSULT-III Plusでは、車両と有線接続されたインターフェース機器を仮想的なデータレコーダとして設定し、データを蓄積後にPCに転送するモードとリアルタイムでPCと通信し、PC側でデータをモニター、また保存するモード両方を備えている。



Fig. 2 CONSULT-III Plus

本研究ではこのシステムを用いて車両各部の温度等を測定、記録した。以下に測定項目の詳細を記す。⁽²⁾

HV バッテリー温度 1～4

日産リーフではバッテリーパックは床下に配置され、4つの温度センサが取り付けられている。温度センサは温度上昇に伴い抵抗が小さくなるサーミスタが用いられている。

モータ温度/インバータ温度

駆動モータ内部のステータの温度、インバータ内部の温度も車両 ECU は測定しており、高温状態では出力制限などを行う。

冷却水温度

モータ/インバータの高電圧回路は水冷を行っている。電動ウォーターポンプ、ラジエータ、電動ファンからなるシステムで、ラジエータ部分の水温をサーミスタにより検出している。

1 2V バッテリー温度

補機用の1 2V バッテリーはマイナス端子に電流センサが取り付けられており、充放電状態を監視している。この電流センサにもサーミスタを用いた電流センサが内蔵されており、バッテリー付近の雰囲気温度を測定している。

外気温度/内気温度

エアコンシステムで利用するため、サーミスタを用いた内気センサ/外気センサが取り付けられている。

ヒータフルード温度

PTC ヒータにより温められたヒータフルードの温度をサーミスタにより測定している。

温度以外ではモータ出力、PTC ヒータ出力、HV バッテリー残量(%, Wh)、車速、HV バッテリー電流量などを記録した。

2.3. 表面温度の測定

モータールーム(エンジンルーム)内や車体の温度上昇を測定するため、ポータブル・タイプの赤外線サーモグラフィ(testo882)を使用し、表面温度の測定を行った。保存、解析には付属のソフトウェア IRSoft を使用した。表2に諸元を示す。

Table 2 サーモグラフィ諸元

温度測定範囲	レンジ1: -20~100℃
精度	±2℃または測定値の±2% (どちらか大きい方)
反射温度補正	反射温度をマニュアル入力
放射率(ε)補正	0.01~1.00

3. 実験結果および考察

3.1. 暖房使用時の航続距離

日産リーフを実走行させ、暖房を使用した時としないときの実際の走行距離を調べた。いずれも12時間以上充電し、満充電状態から実際に走行した距離である。

走行前の航続可能距離の予測値は、暖房使用時が100kmであり、暖房非使用時が162kmと表示されていた。しかし、走行前後のトリップメータの表示から計算した実走行距離は、暖房使用時が59kmとなり、暖房非使用時が127kmとなった。

実走行距離はそれを大きく下回り、また暖房使用時は、走行距離は半分になった。CONSULT-III Plusで記録したデータから電力使用の内訳をたどると、暖房使用時は前記59kmの走行に際し17.4kWhのバッテリーからの電力を消費したが、そのうち8.4kWhがPTCヒーターで消費されており、バッテリー電力量の半分しか走行に使えていないことが分かった。

図3は暖房を使用した場合、しなかった場合の走行した距離とHVバッテリー残量の変化を表わしている。暖房を使用しなかった場合は、実走行時間がデータ取得時間である3時間を超えたため、途中で走行データが打ち切られているが、トリップメータの表示では127km走行している。図からも、暖房にバッテリーの電力を使用することにより、大きく走行距離が減少することが確認できた。

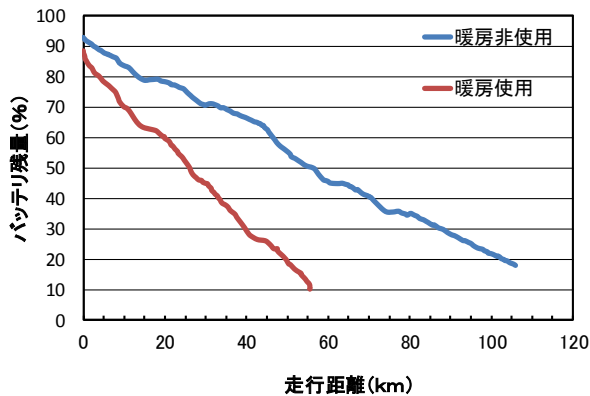


Fig. 3 HVバッテリーの残量推移

3.2. 車体各部の温度変化

暖房非使用時の車両を実走行させたときの高電圧機器の温度変化を図4に示す。12Vバッテリーは走行中に温度減少しており、図5からもほぼ雰囲気温度であると考えられる。

ヒーターフルード温度は走行15分ほどで62°Cまで急激に上昇している。その後緩やかな温度変化となっている。これは水冷式のPTCヒーターのため一度フルード温度が上昇すると少ない電力量で温度維持できると考えられる。走行するとともにモータ温度は上昇している。しかし、モータをはじめとする高電圧機器を冷却している冷却水温は、モータールームの

雰囲気温度であろう。12Vバッテリー温度と比べて若干の上昇しか見られない。冷却システムは冷却水温、車速、エアコンからの要求に基づき、ラジエータの電動ファンや電動ウォーターポンプを多段階制御し、冷却水温制御を行っている。冷却水温が大きく上昇しないのは冷却がうまくいっている証拠ではあるが、熱源として用いるためには、ここでの熱収支を精査し、冷却システムの制御に割り込む必要がある。

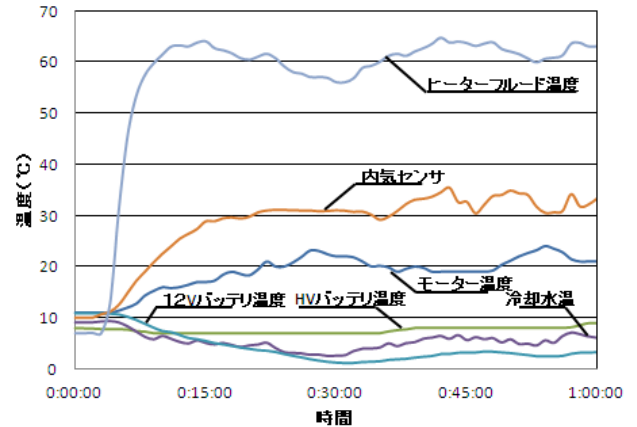


Fig. 4 暖房使用時における走行時の温度変化

3.3. モータールーム内の表面温度変化

電気自動車の廃熱を暖房に利用可能な高温部分があるかを調べるため、走行後のモータールームをサーモカメラで撮影を行った。図5にモータールームを示す。図に示すようにインバータ、駆動用モータなどは温度上昇が見られなかった。図の左側に若干の温度上昇が見られる。図6に拡大撮影したものを示す。この部品はヒューズボックスであり、通電によって温度上昇したものと考えられる。図7は暖房使用時のモータールームを撮影したものである。右上部のPTCヒーターホースに温度上昇が見られる。それ以外のインバータ部分などには温度上昇は見られず、ほぼ雰囲気温度であることがわかる。

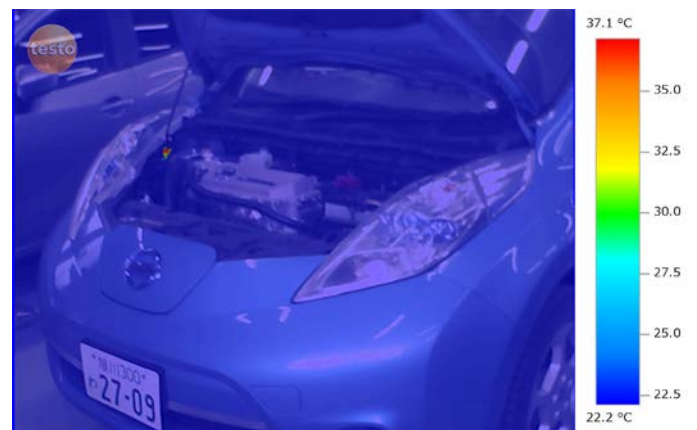


Fig. 5 モータールーム内の温度変化



Fig. 6 ヒューズボックスの温度変化

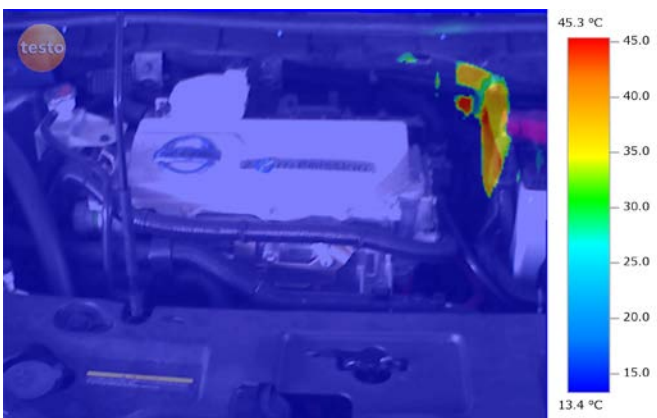


Fig. 7 暖房使用時のモータールーム温度変化

3.4. ヒータの熱源に関する考察

走行用のHVバッテリーの電力を暖房に使用した場合の走行距離の減少を、実走行により確認した。このことにより、外部から消費電力分を補うか、熱源を取り入れることで走行距離を増加できると考えられる。

現在EV用ヒータとして使用可能なヒータの評価を行った。まとめたものを表3に示す。ヒートポンプ式ヒータは家庭用エアコンと同じ構造であり、安全性等は評価できるがバッテリー電力を用いているため、航続距離への影響が大きいと考えられる。また、燃焼式ヒータは燃料を搭載するため航続距離の影響はないが、安全性、搭載スペースに課題が残る。

以上のことから、外部から熱源を取り入れる方法として、蓄熱暖房が考えられる。蓄熱方式は大別すれば、顕熱蓄熱、潜熱蓄熱、化学蓄熱などに分けられる。自動車に暖房として取り入れる場合、走行中の振動、火気の使用がない、換気の必要性などを考慮すると、顕熱蓄熱方式が良いと思われる。また、電気自動車は夜間に充電を行うことから、この充電の際に蓄熱暖房も使用することで走行時にPTCヒータの使用を減少させることで走行距離を伸ばせると考えられる。

本実験でHVバッテリーから、暖房に使われた電力は8.4kW

hであった。1Kwh=3.6MJであることから、

$$8.4 \times 3.6 = 30.24 \text{ MJ}$$

程度の熱量が必要であると思われる。

寒冷地の室内暖房に使われる電気蓄熱暖房器では、蓄熱レンガ12ヶ、86kg、52.5MJ程度である。本実験結果から考察すると7ヶ程度の蓄熱レンガでPTCヒータ分をカバーできると考えられる。

Table 3 EV用ヒータ比較

ヒータタイプ	PTCヒータ	ヒートポンプ	燃焼式ヒータ	
エネルギー源	走行用バッテリー	大気熱とバッテリー	燃料(灯油、軽油、ガソリン等)	
熱媒体	水		空気	水
搭載スペース	○	○	△	△
CO2排出	◎	◎	×	×
安全性	◎	◎	△	△
航続距離	×	△	◎	◎

4. まとめ

日産リーフを供試車両として、走行用のHVバッテリーの電力を暖房に使用された場合の走行距離の減少を、実走行により確認した。走行距離は暖房を使用しない場合に比べおよそ半分は減小し、電力消費の内訳からもそれが裏付けられた。

走行時の高電圧機器の温度上昇を測定し、それらで発生する廃熱を暖房に振り向けられるかを調べた。車両の冷却システムのおかげで温度上昇の幅は小さく、熱源として用いるためには、モータやインバータという基幹部品の冷却システムを精査する必要があることが分かった。

本稿で報告した測定はすべてCONSULT-III Plusで行った。高度に電子化された車両とCONSULT-III Plusを組み合わせれば、センサを車両にとりつける、センサからの信号をデータロガーまで配線する、などの機装等の手間をかけずに種々のパラメータの測定が可能である。

外部から熱源を取り入れる方法として、自動車に暖房として取り入れる場合、走行中の振動、火気の使用がない、換気の必要性などを考慮すると、顕熱蓄熱方式が良いと思われる。

謝辞

一般財団法人東京自動車技術普及協会の助成を頂きましたことを記し、謝意を表します。併せて、本研究に対してご指導とご助言をいただいた本学教職員も、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 大野裕之, 畠山淳, 長田光昭, 前田知広, “廃熱回収ヒートポンプの開発,” “CALSONIC KANSEI TECHNICAL REVIEW,” Vol. 11, 2014, pp. 52-57.
- (2) 日産, “LEAF 新型車解説書,” 2010
- (3) 関信弘, “蓄熱工学1 基礎編,” 1995