

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00386

研究課題名(和文) 温冷感/快適感および乗員属性を考慮した自動車空調システムに関する研究

研究課題名(英文) Study on thermal sensation/comfortable feeling and attribute of occupants for control of air conditioner in automotive

研究代表者

中村 一美 (NAKAMURA, HITOMI)

近畿大学・工学部・講師

研究者番号：10343427

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：電気自動車(EV)では冬季暖房時に空調システムが発電量の50%以上を消費すると言われている。消費電力量はEVの航続距離に影響することから、空調システムの省エネルギー化が望まれる。そこで本研究では、ヒトの温冷感/快適感特性を生体信号の計測により明らかにすることを目的としている。具体的には皮膚温度、心電図、脳波などを計測し、温冷感/快適感と生体信号との関係や外気温など外的要因による影響を検証した。将来的には経済的かつ快適に感じる自動車空調システムの構築を目指す。

研究成果の概要(英文)：It is said that the air conditioning system in electric vehicles (EV) consumes 50% or more of the electricity generation during heating in winter. Since the power consumption affects the cruising distance, energy saving of the air conditioning system is desired in EV. Therefore, the purpose of this study is to clarify the thermal sensation / comfortable sensation characteristics in human being by measuring the biological signal: skin temperature, electrocardiogram, electroencephalogram. Moreover the relation between external factor such as outside temperature and comfortable feeling were verified. In the future, we will indicate the findings to build economic and comfortable air conditioning system in automotive.

研究分野：生体工学

キーワード：快適感 温冷感 生体計測

1. 研究開始当初の背景

地球環境問題への関心の高まりから、世界各国・地域で自動車の燃費・CO2 排出量への規制が強化されている。規制数値目標を達成するために、各自動車メーカは、動力源の改良やハイブリット車 (HEV) ,電気自動車 (EV) への技術シフト、部品の軽量化、電子部品の消費電力低減などの技術革新をおこなっている。とくに、自動車に装備される機器の中でも大きなエネルギーを消費するのは空調システムであり、走行時は発電量の約 30~50%を空調システムが消費すると報告されている。プラグインハイブリット車 (P-HEV) や EV では、空調システムによる電力消費低減が航続可能距離に影響する。一方、現在の空調システムは、外気温、車室内温、日射等から車室内全体が設定温度になるように制御されている。今後は人間の温冷感にあわせて、温冷風の吹き出し口の向きや風量、温度を適切に調整することによって、現在の車室内全体に対する空調から、個々の乗員の感覚に合わせた制御による快適性の向上が重要になると考える。

2. 研究の目的

本研究では、将来的な自動車空調システムの省エネルギー化を視野に、快適性を追求するのではなく、“不快ではない”環境の構築を目指して、その指標を模索することを目的とした。具体的には季節等の外的要因による影響や乗員属性による影響を検証し、省エネルギー化に寄与する知見を得る。

3. 研究の方法

(1) 季節の違いが温冷感/快適感におよぼす影響 (実験 1)

実験参加者は健康な男子大学生 3 名である。実験内容について十分に説明 (食事統制や実験時の注意点等)をおこない、インフォームドコンセントを得た。服装は T シャツの上に、温度計測用の熱電対を取り付けた作業着を着用してもらった。なお、実験は夏季および冬季におこなっているが、冬季の実験において 3 名のうち 1 名が体調不良を訴えたため、季節が温冷感/快適感におよぼす影響を検証できたのは 2 名であった。

まず実験参加者には 25℃に設定した室内に待機してもらい、脳波、心電図、皮膚温度を計測するセンサを装着した。実際に実験参加者に温冷感/快適感の申告をおこなってもらう場所は 10℃に保たれた環境試験室内である。環境試験室内に自動車を設置し、自動車室内の温度を変化させ、実験参加者に暖房時の温冷感/快適感について申告ボックスにより Visual Analog Scale (VAS) 法で官能評価をおこなってもらった。申告ボックスには 100 mm間を移動できるレバー式のポテンシオメータを使用し、実験参加者は感じる温冷感/快適感を離散値ではなく連続値で申告した。また、同時に脳波、心電図、皮膚温度

の計測もおこなった。

実験条件は 10℃の環境試験室内における待機時間を 600s (条件 1), 1800s (条件 2) の 2 条件で、それぞれ夏季および冬季におこなった。図 1 に実験プロトコルを示す。条件 1 および条件 2 において、馴化時間の違いの他は、温度上昇期および安定期の時間、温度条件は同様である。自動車室内の温度は安定期①は 25℃, 安定期②は 28℃, 安定期③は 31℃になるように暖房をおこなった。脳波、心電図、官能評価の計測は、安定期 420s のうち終盤の 120s 間とした。実験回数はそれぞれ 2 回ずつおこなったが、冬季の条件 2 については実験参加者 2 名に対し 1 回ずつであった。

馴化時間 条件1: 600s 条件2: 1800s	温度上昇① 1200s	安定① 420s 計測 120s	温度上昇② 1200s	安定② 420s 計測 120s	温度上昇③ 1200s	安定③ 420s 計測 120s
---------------------------------	----------------	------------------------	----------------	------------------------	----------------	------------------------

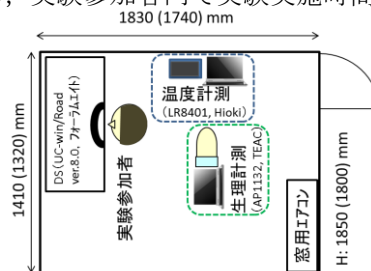
図 1 実験プロトコル (実験 1)

(2) 運転タスク時の温冷感/快適感について (実験 2)

実験参加者は 20~22 歳の普通自動車運転免許を保有している男性 10 名である。実験内容については十分説明をおこない、インフォームドコンセントを得た。実験参加者には衣服の統制をはかるため、熱電対等を貼り付けるために加工した上下スウェットを着用してもらった。

図 2 に示すように、温度管理をおこなうため、室内に設置した、大きさ 1410mm×1830mm×1850mm (内寸 1320mm×1740mm×1800mm) の簡易環境試験室内で実験を実施した。図 3 に実験プロトコルを示す。本実験では実験参加者にドライビングシミュレータ (以下 DS) による運転タスクを課した。実験準備終了後、DS の運転操作に慣れてもらうため、練習を 600s 間おこなった。なお、実験中は緩やかなカーブを含む単調なコースを 60km/h で DS を運転するよう教示した。

DS による運転操作練習後、まず実験参加者を簡易環境試験室内において、20℃, 25℃, 30℃の 3 条件の温度にそれぞれ 1800s 馴化させた。各条件で馴化させた後、室内温度を 300s で 25℃へ変化させた (25℃の条件の場合、温度変化期はない)。3 条件は別の日に実験をおこない、実験参加者により 3 条件の呈示順序はランダムとした。馴化時間 1800s と 25℃の安定期 600s について計測をおこなった。またサーカディアンリズム (日内変動) の影響を考慮し、実験参加者内で実験実施時間は統一した。



※寸法 () 内は内寸
図 2 簡易環境試験室内配置図

アンケート回答、電極貼付等 1800s	DS練習 600s	馴化時間 1800s (20, 25, 30°C) 計測	温度変化 300s ※	安定 600s 計測	電極取外等 1200s
------------------------	--------------	---------------------------------------	-------------------	------------------	----------------

※25°C条件は温度変化期なし

図3 実験プロトコル (実験2)

(3) 冬季暖房時における追加暖房の有用性の検証, および外気温と快適性の関係について (実験3)

実験参加者は21~23歳の健康な男子大学生10名である。実験参加者には温度センサを装着したスウェットの上下を着用してもらい、服装の条件を統一した。また、実験参加者には実験開始2時間前までに食事を済ませてもらうなどの説明を事前におこない、インフォームドコンセントを得た。

実験2と同様に、温度管理をおこなうため、室内に作成した簡易環境試験室で実験を実施した。実験2と異なる点は、DSによる運転操作を伴わず、窓用エアコンの他、追加暖房用の送風機 (AM04, Dyson) を設置した。追加暖房用の送風機は実験参加者の足元に配置し、平均風速0.2 m/sになるよう設定した。脳波、心電図の計測には多用途生体計測装置 (Polymate AP1132, TEAC) を用い、表面皮膚温度や外気温、官能評価の計測にはメモリハイログ (LR8401, Hioki) を用いた。表面皮膚温度は実験室内に設置した窓用エアコンの吹出し口からの風を考慮し、右半身で計測した。計測部位は上半身5箇所、下半身4箇所の計9箇所である。

実験プロトコルを図4に示す。実験参加者は実験準備および馴化のため3000s間、簡易環境試験室内の椅子に座ってもらった。計測はまず送風 (追加暖房) なし条件で600s、続けて送風 (追加暖房) あり条件で600s計測をおこなった。実験参加者はポテンショメータを用いた装置により計測時間内に快適感/温冷感を随時申告した。

簡易環境試験室内の温度条件は20°C, 25°C, 30°Cの3条件であり、実験参加者はそれぞれの条件の実験を別日におこなった。なお、温度条件の順番は実験参加者ごとにランダムであった。

計測準備、馴化時間 3000s	送風なし 600s	送風あり 600s	電極取外しなど 3000s
--------------------	--------------	--------------	------------------

図4 実験プロトコル (実験3)

4. 研究成果

(1) 季節の違いが温冷感/快適性におよぼす影響 (実験1) ~ 皮膚温度による検討 ~ 暖房時の快適性の評価実験は、本来冬季におこなうべきであるが、夏季にも実験をおこなうことを想定し、実験室環境下における適切な馴化時間の検討をおこなった。図5は全実験参加者における平均皮膚温度の範囲を示

したものである。夏季の条件1においては平均皮膚温度が高いままであるのに対し、夏季の条件2と冬季の条件1ではほぼ同じ傾向がみられた。夏季において冬季と同じ皮膚温度条件下で暖房評価実験をおこなうには1800s程度の馴化時間が必要である可能性が示唆された。

また、上述のことは部位別皮膚温度からもいえる。図6に、ある実験参加者の部位別皮膚温度 (13箇所) を示す。値は温度の安定期における平均であり、上図は夏季の条件1, 下図は冬季の条件1の結果である。ただし、夏季は温度センサの不具合があり、一部計測できていない。夏季と冬季の皮膚温度を比較すると、手背部や足尖部など末梢部位の温度変化に大きな違いがみられた。夏季では馴化時間が600sであるため、車室内温度の安定期①においても皮膚温度が高いままであることがわかる。

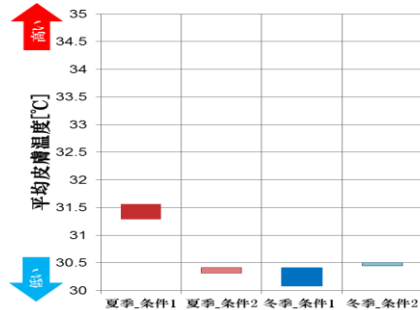


図5 馴化時間と季節による影響

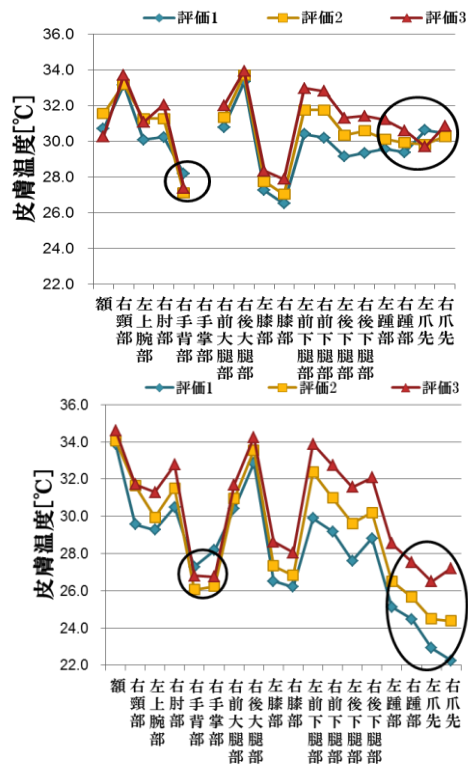


図6 各部位皮膚温度 (実験参加者A, 条件1)
上: 夏季, 下: 冬季

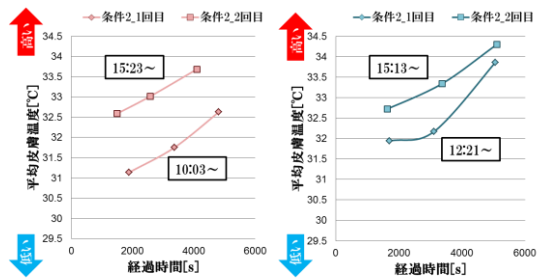


図7 実験開始時刻による影響

図7に、夏季および冬季の条件2において実験開始時刻が3時間以上違う、ある実験参加者の平均皮膚温度を示す。同じ条件下、同じ実験参加者で実験をおこなった場合、実験開始時刻が同じ場合は再現性が高かったが、図7に示すように実験開始時刻が大幅に違う場合は午前より午後の実験の方が平均皮膚温度は高い傾向がみられ、サーカディアンリズムの影響が顕著にみられた。

以上のように、馴化時間を長くすれば、夏季においても冬季環境下の実験がおこなえる可能性が示唆されたが、個人差も大きかったため、今後はヒトの身体が慣れている温度帯に即した冷暖房の実験が必要である。

(2) 運転タスク時の快適感について(実験2) 図8にある実験参加者の25°C条件の室温と快適感の関係について結果を示す。横軸は時間、縦軸の第1軸は室温、第2軸はレバー式ポテンシオメータからの出力である。ポテンシオメータからは0~5Vの出力が出るため、2.5V付近が快適と不快の中間と考えられる。作成した簡易型の環境試験室における実験であるが、室温はほぼ25°Cを保っていることがわかる。また、25°Cの環境下では快適感がおおむね2.5V以上の値を示しているため、不快と感じていないのではないかと考える。しかし、室温が大きく変化していないにもかかわらず、快適感の変動している。とくに安定期終盤において実験期間全体比較して快適感がやや下がる傾向が見られる。

また、20°Cから25°Cへ室温を変化させる条件では温度上昇とともに快適感が上がる実験参加者が多く、30°Cから25°Cへ室温を変化させる条件では、暑すぎると感じる実験参加者が多かった。

ただし、上述の実験結果は実験参加者の温冷感に対する嗜好が反映されている可能性が高く、実験参加者のグループ分けが必要であると考えられる。とくに今回は運転タスクを課しており、DS操作に対する習熟度も影響したことが考えられる。

さらに、同じ温度帯においても経過時間とともに実験参加者の快適感が増していることから、皮膚温度の他、心電図や脳波などをセンシングすることにより、室内の最適な温度を探り、“不快ではない”温度制御をおこなうことが必要と考える。

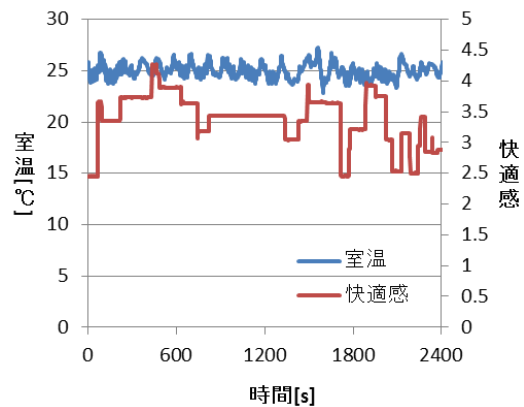


図8 室温と快適感の関係 (25°C)

(3) 冬季暖房時における外気温と快適性の関係および追加暖房の有用性の検証(実験3) 図9に追加暖房なし(送風なし)条件下における外気温と快適感の関係を示す。外気温は10°C未満の場合と10°C以上の場合に分け、各条件下の実験参加者数の平均値を示している。快適感の実験2と同様に、レバー式ポテンシオメータからの出力を示す。外気温が10°C未満の場合、30°Cの室温時の快適感が高くなり、外気温が10°C以上の場合25°Cの室温時の快適感が高くなる。

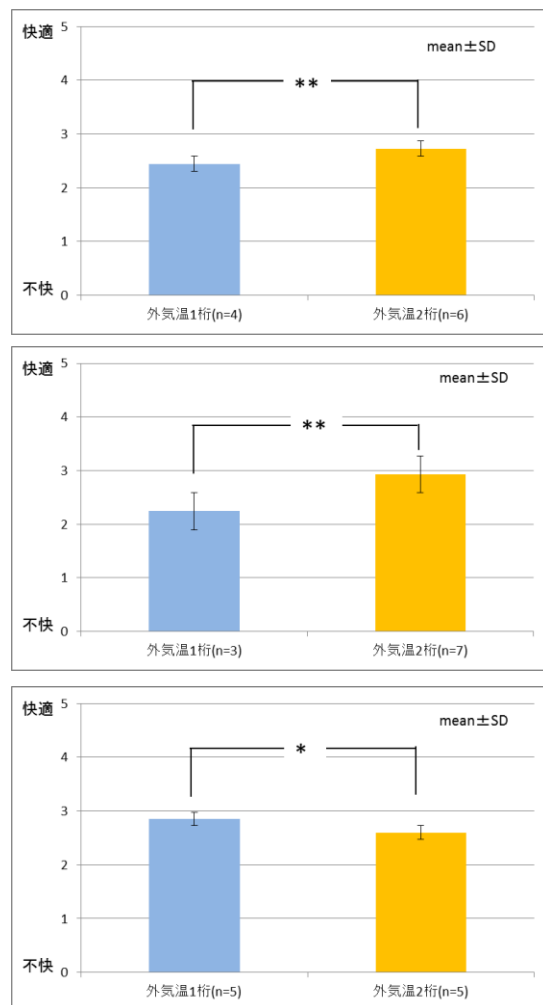


図9 快適感と外気温の関係(送風なし) 上:20°C, 中:25°C, 下:30°C

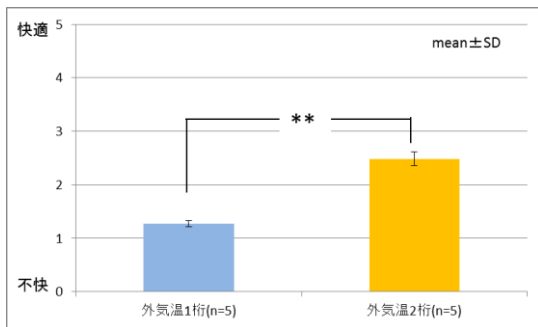
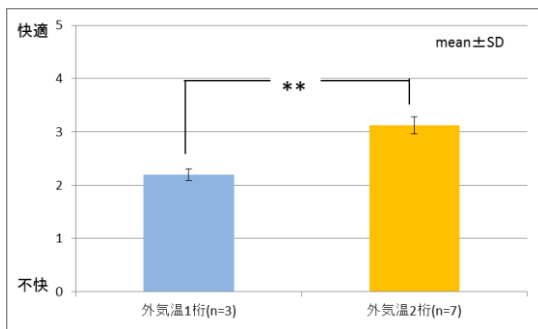
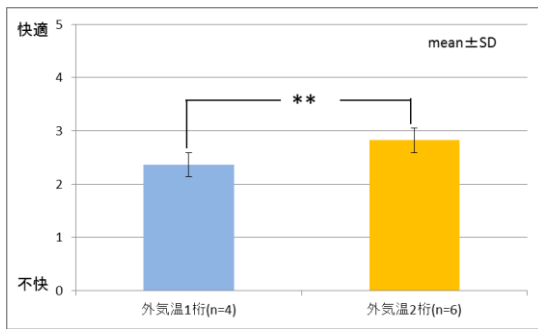


図 10 快適感と外気温の関係 (送風あり)
上 : 20°C, 中 : 25°C, 下 : 30°C

図 10 に追加暖房あり (送風あり) 条件下における外気温と快適感の関係を示す。図 9 と同様に、外気温は 10°C未満の場合と 10°C以上の場合で分け、各条件下の実験参加者数の平均値を示している。快適感レバー式ポテンシオメータからの出力値を示す。

外気温が 10°C未満の場合、室温が高くなるにつれ快適感が低くなる傾向が見られた。送風あり条件は送風なし条件の後に引き続いて実施したことから、送風なし条件で十分快適感を得られ、送風あり条件では暖房を過剰と感じている可能性が示唆された。外気温 10°C 以上の場合は送風なし条件と同様に室温 25°C の条件において快適感が高かった。ヒトは絶対的な温度ではなく相対的な温度差で温冷感や快適感を感じている可能性が示唆された。また、前述のように同じ温度条件下でも時間経過により快適感が変動する可能性があり、本実験においても時間経過の影響が送風有無の違いよりも大きかった可能性もある。

以上のことから、従来のように絶対的な設定温度に近づける制御ではなく、相対的な設定温度や時間的に変化がある温度/風量制御

を検討することにより、効率的な、すなわち省エネルギーかつ“不快ではない”空調システムの構築が可能であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 5 件)

① 中村一美, 濱田勇輝, 岡田悠吾, 樹野淳也, 竹原伸, 冬季暖房時における外気温と快適性の関係, 日本人間工学会第 59 回大会, 2018 年.

② 中村一美, 樹野淳也, 竹原伸, 自動車空調システムにおける補助暖房の有用性の検討, 第 13 回日本感性工学会春季大会, 2018 年.

③ 中村一美, 林克政, 樹野淳也, 竹原伸, 温冷感/快適感における季節の影響, 第 18 回日本感性工学会大会, 2016 年.

④ 中村一美, 樹野淳也, 竹原伸, ヒトの温冷感/快適感と生理指標に関する基礎研究, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2015, 2015 年.

⑤ 中村一美, 産学官連携による研究事例, 第 17 回日本感性工学会大会, 2015 年.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 一美 (NAKAMURA, Hitomi)

近畿大学・工学部・講師

研究者番号 : 10343427

(2) 研究分担者

なし