

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 31 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650470

研究課題名(和文) 省エネと快適性を両立する室内環境：生理指標を用いた輻射式冷暖房システムの最適化

研究課題名(英文) Achieving both energy saving and thermal comfort in indoor environment: optimization of radiant heating and cooling system using physiological parameters

研究代表者

岡本 剛 (Okamoto, Tsuyoshi)

九州大学・基幹教育院・准教授

研究者番号：90432913

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ヒトの生理心理状態を計測し、エアコンと輻射式冷暖房システムの快適性の違いを評価した。まず、冷房に関する実験を実施した結果、主に知覚時間と脳波振幅(主にβ波とγ波)に関する指標について、エアコン群と輻射式冷暖房システム群間で有意差を認めた。次に、暖房に関する同様の実験を実施した結果、プレリミナリーではあるが、脳波振幅(特にα波)で有意差を認めた。以上より、冷房、暖房の双方で本研究の有効性およびエアコンと輻射式冷暖房システムの快適性の違いを示すことができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we recorded psychophysiological responses of human to evaluate the differences of thermal comfort in different indoor thermal environments: a household air conditioner versus a radiant heating and cooling system. First, we conducted an experiment on cooling. There were significant differences in perception time and brain wave amplitude (especially beta and gamma waves) between those two systems. Second, we conducted an experiment on heating. There were also significant differences in brain wave amplitude (especially alpha wave). From these results, we showed the psychophysiological differences of comfort between those systems about both cooling and heating.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：住環境 省エネ 快適性評価 輻射式冷暖房 生理心理

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災以降、電力不足の状態が続いている。特に、冷暖房が必要となる季節における電力不足は深刻である。そのため、省エネルギー（省エネ）は我が国の緊急かつ重要な課題の一つとなっている。

我が国で最も普及している空調システムはエアコンであり、家庭内の電力消費でも大きな割合を占める（資源エネルギー庁 平成16年度「電力需給の概要」では家庭における消費電力の25%がエアコン）。一方で、エアコンの風を苦手とする人は多く、冷風によって自律神経機能を乱したり、温風によって空気が乾燥し喉を痛めたりする事が、しばしばその理由として挙げられる。しかし、異常気象が常態化する昨今、空調を使わずに我慢していると、熱中症などさらに重大な健康被害に繋がる可能性もある。

省エネと快適性を両立できる可能性がある冷暖房方式の一つに、輻射熱の自然対流で室内の温度を調節する輻射式冷暖房システムがある。このシステムでは、低電力で24時間熱源を運転し、冷温や温水を循環させてじっくり室内の温度調節を行うため、大電力でヒートポンプとファンを動かす、急激に室内の温度調節をはかるエアコンよりも消費電力が少ない。また、構造的に風を出さないため、生体への負荷が少なく快適性が高いと言われている。

しかしながら、熱的快適性に関しては、生理指標を用いた客観的な科学的エビデンスが乏しいのが現状である。これまで数多くの熱的快適性指標（不快指数、体感温度など）が提案されてきたが、それらはみな、物理的パラメータ（気温、湿度、気流など）と主観評価との対応を調べて考案されたものであった。省エネと快適性を両立するには、まず快適性に関する客観的評価方法を確立する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、個人毎に最適化を行い省エネと快適性を両立する室内環境をテラーメイド的に実現することを目指し、以下の事柄を研究の目的とした。

(1) ヒトの生理心理学的応答を計測し、客観的に熱的快適性評価を行うための手法を確立すること。

(2) (1)の手法により、エアコンと輻射式冷暖房システムの快適性の違いを定量的かつ客観的に評価すること。これにより熱的快適性の科学的エビデンスを創出するとともに、室内環境が作業へ及ぼす影響も検討する。

(3) 冷房（夏）および暖房（冬）のそれぞれの環境下で(2)の検討を行い、冷暖房における快適性の違いを評価すること。

3. 研究の方法

(1) 研究体制

研究代表者が計画した研究を遂行するため、研究代表者の他に研究協力者を複数名置いた。具体的な協力内容は、実験環境となる輻射式冷暖房システムを備えた施設の無償貸与（アニーグループ、福岡市）および実験補助（アニーグループ社員等）であった。

(2) 実験実施時期

冷房に関する実験は平成24年8月～9月に、暖房に関する実験は平成26年1月に、いずれも福岡県内にあるマンションのモデルルームを用いて実施した。

(3) 実験方法

被験者

冷房、暖房の各実験において、健常な中年（40～60歳代）の男女計12名を被験者として募集した。全ての被験者からインフォームドコンセントを得た（実験前に書面および口頭で実験内容を説明し、同意書に署名を得た）。本研究で計画した全ての実験は、九州大学基幹教育院倫理委員会の承認を得て実施した。

実験環境

エアコン（MSZ-GM560S、三菱電機）と輻射式冷暖房システム（光冷暖、アニーグループ）の両方を備えたモデルルームを利用した（図1）。室温調整には、エアコンか輻射式冷暖房のどちらか一方を使用し、室温を一定温度（冷房条件では24℃、暖房条件では26℃）に保つように設定した。順序効果を避けるため、実験実施順は被験者毎に入れ替え、実験開始前から終了後まで、室内の温度、湿度、風速等の物理データを記録した。

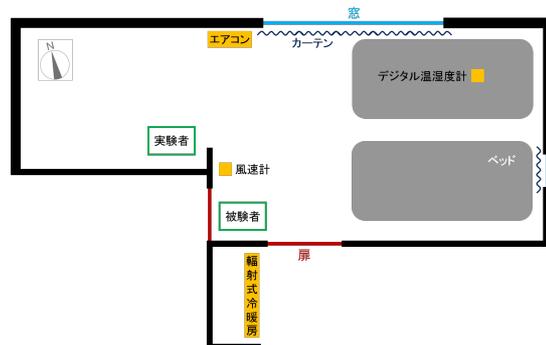


図1 実験施設の間取り図（夏期冷房実験）

心理課題

被験者に行ってもらった課題の手順を説明する。1回の試行では、まず目を閉じて安静にし（20秒間）、次に目を閉じたまま時間知覚課題（詳細は後述）を行い（約1分間）、それが終わると目を開けて安静に保つ（20秒間）ことを行ってもらった。時間知覚課題では、声を出さずに10秒を数えて、心理課題測定用のボタンを押すことを1試行あたり計

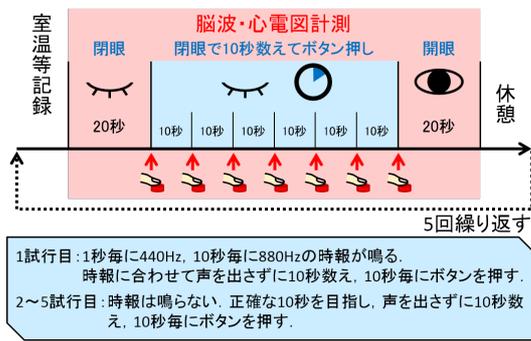


図 2 実験の流れ

6 回行ってもらった(図 2)。1 試行目は 1 秒毎に 440Hz、10 秒毎に 880Hz の時報をノート PC のスピーカーから鳴らし、時報に合わせてボタンを押すこととした。2 試行目から 5 試行目までは、時報を鳴らさずに、正確な 10 秒を目指して同様にボタン押しをすることを求めた。

生理計測

ポリメイト II (AP-216、デジテックス研究所) を用いて脳波 (EEG)、心電図 (ECG) を計測した。脳波電極はアクティブ電極 (電極接触インピーダンスに左右されにくく、コードのゆるむような装着環境下でも高精度の測定が可能) を用い、国際 10-20 法に基づく Fz、Cz、Pz、Oz (O1 と O2 の中間)、T3、C3、C4、T4 に設置し、両耳朶 (A1、A2) 基準で導出した (図 3)。

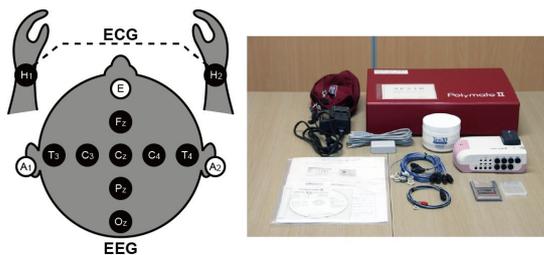


図 3 電極配置とポリメイト II

(4) データ解析

数値計算言語 MATLAB (MathWorks) を用いて独自の解析プログラムを開発し、データ解析を行った。心理指標 (知覚時間) 生理指標 (心電図は CVR-R、HF、LF/HF、脳波は波、波、波、波、波の各帯域における平均振幅) を求めた。

これらの指標に関し、統計解析ソフトウェア JMP (SAS) を用いて統計処理を行った。まず、多変量相関を用いた外れ値分析 (ジャックナイフ法) によって外れ値を除いた後、反復測定データの多変量分散分析を行い、空調方式の違いと、上記の心理、生理指標の経時変化パターンが有意に異なるか否かを調べた。

4. 研究成果

(1) 夏期冷房実験

課題中では、知覚時間、脳波振幅 (波、波、波) に関する指標の経時変化と冷暖房方式に関する交互作用に有意差が認められた (表 1)。個別に指標を見てみると、輻射式冷暖房システムの方が、知覚時間が長く、波振幅が小さいという結果が得られた (図 4)。これらは、輻射式冷暖房システムがストレスを軽減させる効果が高い可能性があることを示している。

表 1 検定結果

	知覚時間	心電図			脳波振幅				
		CV _{R-R}	HF	LF/HF	δ波	θ波	α波	β波	γ波
課題前 閉眼	NS	NS	NS	0.0034	0.032	8.1×10^{-5}	8.5×10^{-4}	0.0025	
課題中 閉眼	0.022	NS	NS	0.013	NS	NS	1.1×10^{-4}	0.0013	
課題後 閉眼	NS	NS	0.044	3.1×10^{-5}	2.0×10^{-4}	1.1×10^{-7}	0.0026	2.8×10^{-4}	

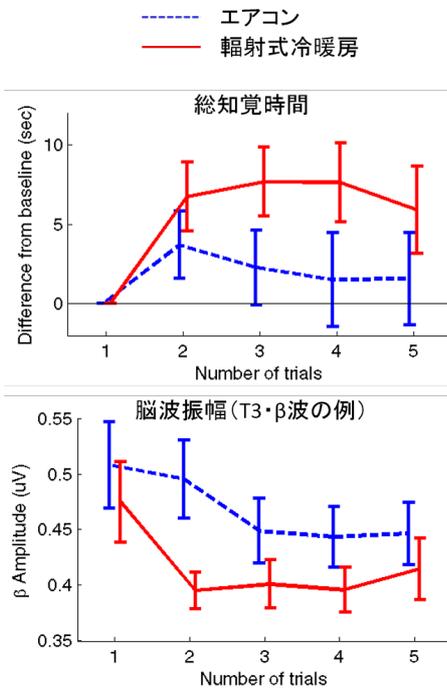


図 4 夏期冷房実験結果の一例

(2) 冬期暖房実験

プレリミナリーではあるが、脳波振幅 (特に波) で有意差が認められた。

(3) 成果のまとめ

以上の結果から、下記の成果を得ることができた。

本研究の手法が「熱的快適性の客観的評価に有効である」ことを示せた。

輻射式冷暖房システムの熱的快適性について、科学的エビデンスを創出することができた。

上記成果を、冷房、暖房の双方で示すことができた。

今後は、被験者を増やしたり、実験環境を変えたりするなどし、省エネと快適性を両立する室内環境を実現したい。

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2件)

T. OKAMOTO, N. MIYAMOTO, T. FUTAEDA: Electrophysiological response to the thermal environment in human brain varies with season. Neuroscience 2014 Abst. (受理済)(査読無)

T. OKAMOTO, S. TANAKA, T. FUTAEDA: Evaluating human comfort using electrophysiological responses in different indoor thermal environments. Neuroscience 2013 Abst.

<http://www.abstractsonline.com/Plan/ViewAbstract.aspx?sKey=5a546be2-a098-454a-836b-5ac0755122ff&cKey=88d1af85-7d71-4d33-94ab-a8a9e8e0b8a1&mKey=%7b8D2A5BEC-4825-4CD6-9439-B42BB151D1CF%7d>

(査読無)

[学会発表](計3件)

T. OKAMOTO, N. MIYAMOTO, T. FUTAEDA: Electrophysiological response to the thermal environment in human brain varies with season. Neuroscience 2014, the 44th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (Washington, DC, USA, Nov. 15-19, 2014) (受理済)

T. OKAMOTO, S. TANAKA, T. FUTAEDA: Evaluating human comfort using electrophysiological responses in different indoor thermal environments. Session Number: 176.05. Neuroscience 2013, the 43rd Annual Meeting of the Society for Neuroscience (San Diego, California, USA, Nov. 9-13, 2013)

岡本剛, 田中彰吾, 二枝崇治: 脳波・心電図を用いた熱的快適性の客観的評価: エアコンと輻射式冷暖房の比較. 生体医学シンポジウム 2013(JBMES2013). (福岡, 2013年9月20-21日)

[その他]

岡本剛: 光冷暖システムの快適性～脳科学的手法による客観的評価～. 第1回KFT学会(グランドプリンスホテル新高輪, 東京, 2014年2月25日)(研究成果の紹介)

岡本剛: 「人体の謎に迫る!」～脳の神秘に迫る～. 第16回サイエンスカフェ@ふくおか(福岡, 2014年1月24日)(研究内容の紹介)

6. 研究組織

(1)研究代表者

岡本 剛 (OKAMOTO, Tsuyoshi)

九州大学・基幹教育院・准教授

研究者番号: 90432913