

バーチャルな表情の提示による環境調和型行動の促進

Promoting Pro-environmental Behaviors by Displaying Virtual Facial Expressions

伊藤 寛子*・前 匡 鴻*・松橋 隆治*
Hiroko Ito Masahiro Mac Ryuji Matsuhashi

Abstract

Reducing energy consumption in offices and schools is essential to achieving carbon neutrality in Japan by 2050. Encouraging users to adopt energy conservation behaviors is crucial to facilitate this transition effectively. This paper aims to verify the effectiveness of a method for promoting pro-environmental behaviors (PEBs) in offices and schools by evoking emotional attachment by presenting the evaluation of the indoor environment and energy consumption with a virtual facial expression on a display, and by providing information on how to maintain PEBs and related indoor environments. A prototype is developed to sense the indoor environment and display evaluations using facial expressions. An experiment, including a user study conducted with the prototype, suggests that presenting virtual facial expressions enhances user understanding and fosters a sense of familiarity.

Key words : Pro-environmental behaviors, Behavior change, Indoor environment, Virtual facial expressions

1. はじめに

オフィスや学校におけるエネルギー消費の削減と、それに向けたユーザーの行動変容の促進は、地球温暖化を抑制する上で、重要であると考えられる。日本における 2020 年度のオフィス・学校などの業務他部門における最終エネルギー消費は、全体の 61.9 % を占めており、1965 年度比では全体の 2.3 倍を大きく上回る 4.8 倍となっている¹⁾。他方、日本では、2050 年カーボンニュートラルを達成するための取り組みとして「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(以下、グリーン成長戦略)が策定された²⁾。グリーン成長戦略では、産業政策・エネルギー政策の両面で成長が期待される 14 の重要分野と、それらの実行計画が定められており、家庭・オフィス関連産業としてライフスタイル関連分野も取り上げられている。ライフスタイル関連分野では、行動科学や AI に基づき、無理なく自発的な行動変容を促すことを通じて、快適かつ柔軟性がありながらもエコなライフスタイルを実現することを目指している。

このエコなライフスタイルにつながる行動に関連する語として、「環境に配慮した行動 (Pro-environmental Behaviors: PEBs)」が挙げられる。PEBs に明確な定義はないが、定義の定め方として大きく分けて「目的指向 (purpose-oriented)」と「事実指向 (fact-oriented)」の 2 種類がある。目的指向の定義を採る場合、広義では「環境への意識の涵養」、狭義では「環境保全」という 2 つの目的があり、「環境保全」の

ための行動を通して「環境への意識の涵養」という目的の達成も目指すことが可能であることから、「環境への意識の涵養」を目的とする行動は「環境保全」を目的とする行動を包含すると考えられる³⁾。一方、事実指向の定義を採る場合、健康のために車ではなく自転車を選択した場合など、環境への意識を起因としないが「環境保全」に貢献する行動や、環境への負荷を削減するための行動でも環境負荷の削減には貢献できておらず「環境への意識の涵養」のみに寄与している行動も PEBs に含まれる³⁾。

PEBs の促進手法は様々であり、それらは行動変容を促進する手法の一部として捉えることができる。関連して、Wallen らは行動変容の手法を「教育・啓発」「アウトリーチ・関係構築・信頼」「社会的影響」「ナッジ・行動洞察」に分類した⁴⁾。このうち「教育と意識向上」や「社会的影響」と捉えられる PEBs の促進手法として、Berney らは、スマートフォン上でキャラクター育成ゲームを行う中でのキャラクターに対する感情的愛着の想起や、その育成過程でのシステムに組み込まれた大規模言語モデル (Large Language Models: LLM) との PEBs に関連する内容の対話が PEBs を促進することを示した⁵⁾。この研究から、単に情報を伝えるだけではなく、感情的愛着による働きかけも行うことが PEBs に対する意識を高めることができると考えられる。

また感情的愛着を生み出す要素に関する研究としては、ロボットに表情を持たせることで、人とロボットの個体距離が縮まり、ロボットの表情の有無がロボットに対する愛着形成に影響を与えることを示唆した研究⁶⁾や、ロボットの生理現象表現や感情表現がユーザーの感情に影響し、ロボットに対する親密性・感性の印象変化につながること

* 東京大学工学部電子情報工学科
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1
E-mail: ito@enesys.t.u-tokyo.ac.jp

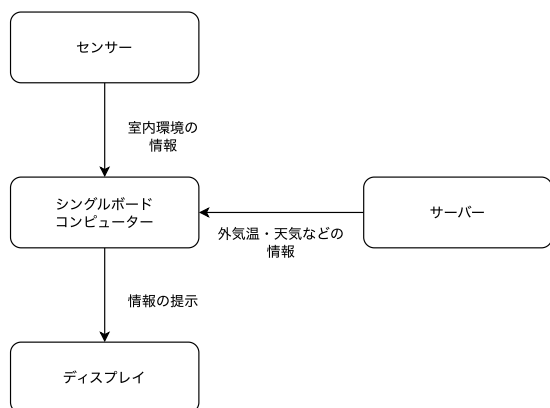


図 1 システム構成図

を示唆した研究⁷⁾がある。これらの先行研究から、感情的愛着を生み出す要素として、バーチャルな表情の提示が有効であることが示唆される。

そこで本稿では、オフィスや学校における PEBs の促進手法として、ディスプレイへのバーチャルな顔表情の提示を通じた感情的愛着による働きかけを提案し、その手法の有効性を検証する。より具体的には、センシングした室内環境やサーバーから取得した外気温などの情報から、室内環境・エネルギー消費量の評価および、PEBs や関連する室内環境の維持に取り組める方法の情報を提示するシステムを提案し、その有効性をユーザー・スタディにより検証する。これにより PEBs の中でも事実志向かつ「環境への意識の涵養」という目的志向でもある部分を促進することを目指す。

2. PEBs を促進する提案システム

2.1 概要

提案するシステムは、空気環境および、適切な空調使用によるエネルギー消費量の改善を対象として、据え置き型機器に取り付けたディスプレイに描画する表情により、室内環境の評価を示す。加えて、室内環境を改善する方法や、室内環境を保ちつつも PEBs に取り組む方法を文字情報として示す。

システムの構成を図 1 に示す。システムは、シングルボードコンピュータに接続したセンサーから室内環境のデータを、インターネットを介してサーバーから天候や外気温などのデータを取得する。その上で、取得したデータをもとに、室内環境を定量的に評価する。加えて室内環境を維持しつつ、事実志向での PEBs を実践できると考えられる状況である場合は、それを提案する。その評価を表情により可視化し、また評価結果から考えられる有効な PEBs の実践方法を文字情報として表示する。

なお評価や働きかけの対象として、空気環境および、適切な空調使用によるエネルギー消費量の改善を選定した理

表 1 建築物環境衛生管理基準における
主な空気環境の基準値⁹⁾

項目	基準値
温度	18℃～28℃
相対湿度	40%～70%
空気中の二酸化炭素の含有率	≦1000 ppm
ホルムアルデヒドの量	≦0.08 ppm

由は以下の通りである。第一に、オフィスビルにおける夏季の点灯帯(17時ごろ)の消費電力のうち48.6%が空調によるものであり、他の用途に比べ大きな割合を占めている⁸⁾。第二に、照明やパソコン、複合機といった他の上位の電力使用用途に比べ、ユーザーによる設定変更・調整が容易に行いやすいと考えられる。第三に、空気環境はセンシングが行いやすく、また同室内の場所による差異が照度などに比べて大きくなりにくい。提案するシステムにより、ユーザーに PEBs や室内環境の改善を促すことを目指す。

2.2 室内環境の評価

日本における統一的な室内環境の基準としては、店舗・事務所・学校などとして利用されている一定面積以上の建築物を対象とした「建築物環境衛生管理基準」⁹⁾や、事務作業に用いられるオフィスを対象とした「事務所衛生基準規則」¹⁰⁾、学校教育法上的一条校を対象とした「学校環境衛生基準」¹¹⁾などがある。

本稿では、室内環境の評価指標として、建築物環境衛生管理基準の空調設備を設けている場合・事務所衛生基準規則・教室等に係る学校環境衛生基準のうち、温度・相対湿度・空気中の二酸化炭素の含有率に関して最も基準値が厳しい「建築物環境衛生基準」⁹⁾に定められた温度・相対湿度・空気中の二酸化炭素の含有率に適合するか否かを用いる。なお、建築物環境衛生管理基準における空調設備を設けている場合の空気環境の基準について、代表的なものは表 1 の通りである。

2.3 エネルギー消費量の評価

空調によるエネルギー消費量の評価は、センサーで測定する室内の温度に基づいて行う。具体的には、エアコンの設定温度を1℃緩和した時の消費電力の削減率が、冷房時で約13%、暖房時で約10%であること^{12)*1}を踏まえ、エアコンの設定温度が適切であるか否かを判定する。

*1 データの出典は、財団法人省エネルギーセンターによる『「省エネライフスタイルチェック 25」の各種行動と省エネ効果に関する調査報告書』(平成17年3月)であるが、リンク切れにより参照できなかったため、環境省のHP¹²⁾に依った。

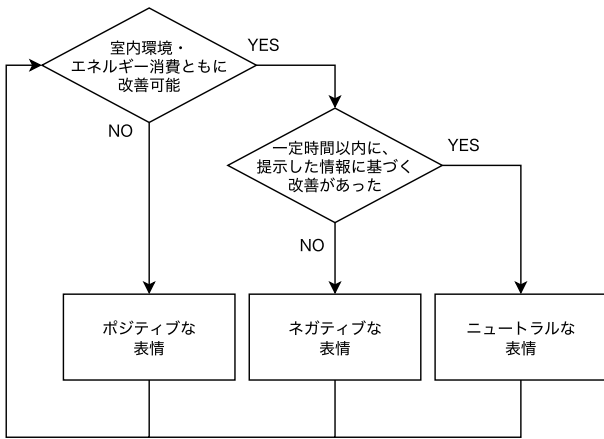


図 2 描画する表情を決定するフロー

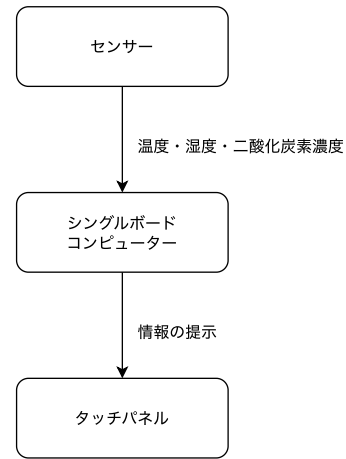


図 4 予備実験で用いるシステムの構成図

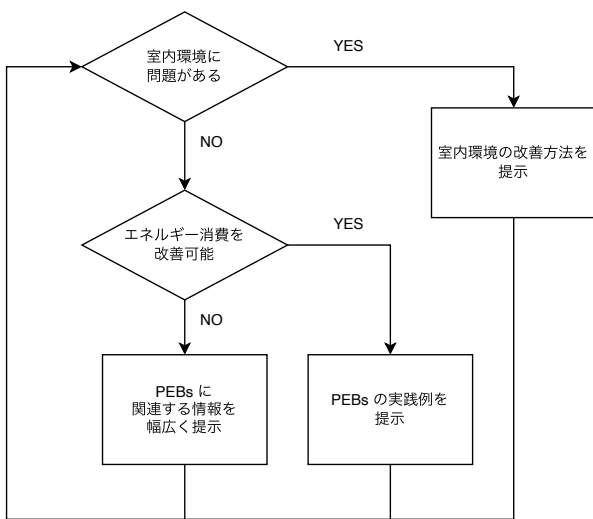


図 3 提示するメッセージ内容を決定するフロー

2.4 情報の提示手法・提示内容

情報の提示は、室内環境をディスプレイ上に描画する表情により可視化することおよび、状況に応じた PEBS に関する情報を文字で伝えることにより行う。表情の決定フローを図 2 に、提示する情報の決定フローを図 3 に示す。

3. 予備実験

提案手法のうち、室内環境の改善は、ユーザーに直接的なメリットをもたらすため、行動変容をもたらしやすいと考えられる。また設置が想定される環境における室内環境をセンシングすることは、本格的なユーザー・スタディを行う上で、設置場所の室内環境の課題などを把握する上で有用である。そこで、室内環境の問題点の把握、提案手法による情報提示の有効性および課題を検討することを目的として、室内環境の評価を提示するプロトタイプを作成し、それをを用いたユーザー・スタディを含む予備実験を行うこととした。

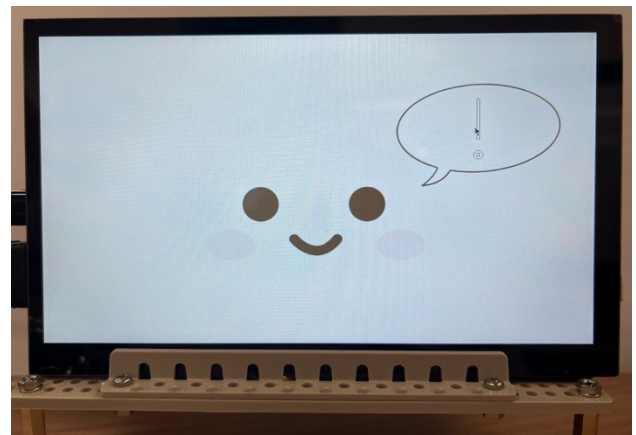


図 5 ポジティブな表情

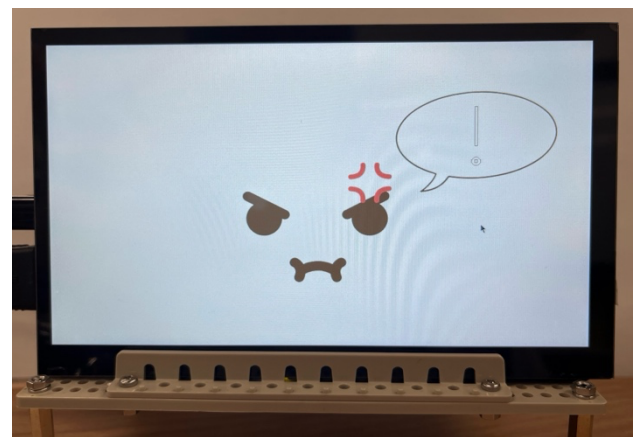


図 6 ネガティブな表情

3.1 実験方法

(1) 使用するシステムの概要

予備実験で用いるシステムの構成を図 4 に示す。システムは、センサーから取得した室内環境のデータが、建築物環境衛生管理基準における空気調和設備を設けている場合の空気環境の基準のうち、温度・相対湿度・空気中の二酸化炭素の含有率に適合するか否かを評価し、その評価を表情により可視化する。

提示する表情は、図 5 のようなポジティブな表情と図

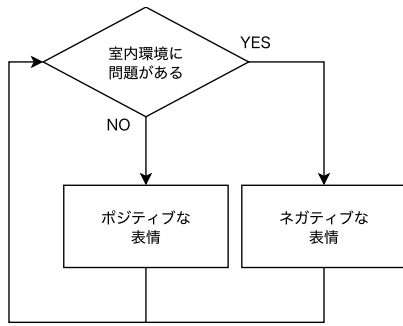


図 7 予備実験で用いるシステムの表情の決定フロー

表 2 搭載するセンサー一覧

センサー種別	メーカー 型番	測定対象
温湿度・気圧・ガス	BOSCH BME680	湿度
高精度温度	Microchip MCP9808	精密な室温
二酸化炭素・温湿度	Sensirion SCD30	二酸化炭素濃度

6 のようなネガティブな表情の 2 種類を用意し、図 7 に示すフローに従って決定する。また、表情を提示する画面にある吹き出し部をタップすることにより、室内環境の評価を文章で確認することができる。なお、室内環境の評価は 5 秒おきに行い、測定時刻、測定する室内環境の各値、提示する表情、吹き出し部をタップした際に提示される文章のログをシングルボードコンピュータ上に保存する。ただし、湿度は一貫して実験開始時の値を用いる。

(2) 測定する情報

室内環境の評価手法とエネルギー消費量の評価手法を踏まえ、測定する情報を決定し、機器に搭載するセンサーを選定した。搭載するセンサー一覧を表 2 に示す。なお、一部のセンサーモジュールには搭載機能に重複があるが、これは分解能や誤差などを考慮して選定した結果である。

(3) ユーザーへの質問紙調査

予備実験時間中に当該居室に滞在する協力者 4 名を対象として、オンラインフォームを用いた質問紙調査を行った。質問内容は、以下の通りである。

Q1 以下の室内環境がどれくらい良いと思うか、主観的に評価してください。(温度: 21.1 °C, 湿度: 44.0 %, 二酸化炭素濃度: 562.4 ppm) (5 段階評価)

Q2 今日の研究室の室内環境がどれくらい良いと思うか、主観的に評価してください。(5 段階評価)

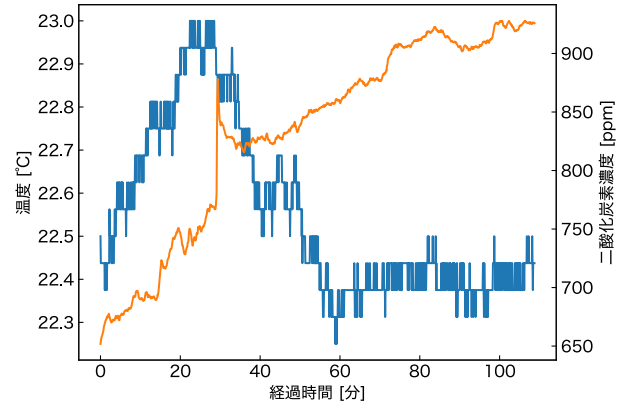


図 8 予備実験中の室内環境

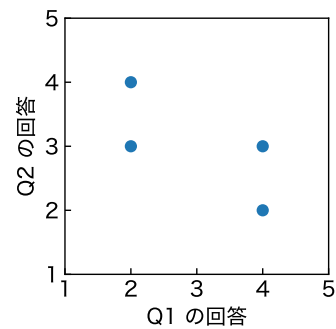


図 9 Q1 の回答と Q2 の回答の比較

Q3 室内環境の評価の表情による提示はどれくらいわかりやすいものでしたか? (5 段階評価)

Q4 システムに関して、印象や改善してほしいことなどを自由に書いてください。(自由記述)

Q1 と Q2 は、同じ室内環境について、ユーザーの室内環境評価の体感と数値による違いを調査するために設定した。なお Q1 で評価を求めた室内環境は、予備実験を行った日の 12 時 25 分から 12 時 34 分の間、設置場所の室内環境を提案するシステムで用いているセンサーにより測定した結果の平均値である。また、Q3 と Q4 は、提案手法の有効性を調査するために設定した。

3.2 結果

(1) 設置場所の環境

プロトタイプは、東京大学工学部の研究室の一角に 17 時 20 分から 19 時 14 分まで設置した。室内では冷暖房は使用していなかったが、途中から窓を閉め、加湿器を使用していた。また実験前の 2 時間、室内は無人であった。

室内環境に関しては、図 8 に示すように、予備実験の間中は、温度・二酸化炭素濃度ともに基準値内に収まっていた。しかしながら、二酸化炭素濃度は、最低時と最高時の差が 276.03 ppm あり、また予備実験中の最大値が 927.89

ppm と基準値上限の 1000 ppm に近い値が観測されていることから、基準値を超える可能性が大いにありと考えられる。

なお、実験中、室内環境の評価としては、一貫してネガティブな表情が提示されていた。これは、湿度について、初回測定時の値が下限を下回っていたためである。

(2) 質問紙調査の結果

Q1・Q2 の回答結果は図 9 に示す通りであった。また Q3 の回答は、4 を選択したのが 2 名、5 を選択したのが 2 名で、平均値は 4.5 であった。また Q4 に対する回答としては「ディスプレイに映っているキャラクターに名前を付けたい」「室内環境を改善するための具体的なアクションのヒントがほしい」「室内環境の問題点を、表情と共にアイコンで示せないか」「現在の測定値と目標値が分かると、環境をどの程度変える必要があるのかがわかり、対応しやすい」(一部抜粋・文言は本文に合わせて変更を加えている)などの意見が得られた。

3.3 考察

Q1 で提示した値は、実験日の設置場所の室内環境の代表値とも捉えられることを踏まえると、サンプル数が少ないため確かではないものの、Q1・Q2 の結果から、測定値の提示のみでは、ユーザーが室内環境を正確に評価することが難しいことが示唆される。ただし、Q2 の回答は、回答時の室内環境の印象が回答に影響している可能性がある点に留意が必要である。

また、提案するシステムに関しては、Q3・Q4 の結果から、表情による提示はわかりやすさや親近感をもたらすと考えられる。一方で、Q4 に対する回答では改善点も挙げられており、提案手法をより有効にするためには、評価の詳細と改善手法の提示に関する部分を中心に、さらなる工夫が可能であると考えられる。

4. おわりに

本稿の目的は、オフィスや学校における PEBs の促進手法として、ディスプレイへのバーチャルな顔表情の提示を通じた感情的愛着による働きかけを提案し、その手法の有効性を検証することであった。提案するシステムは、センシングした室内環境やサーバから取得した外気温などの情報から、室内環境の評価を示し、それに基づいた PEBs に関する情報を提示する。本稿では、室内環境のセンシングと室内環境の提示手法に関して、プロトタイプによる予備実験を行った。

予備実験を通じて、室内環境評価のバーチャルな顔表情による提示の有効性が一定程度示された。一方で、評価の詳細

と改善手法の提示について、PEBs を促進するシステムをより有効なものとするための方法の検討が必要であることが示唆された。

今後は、大きく分けて、提案手法のうちエネルギー消費量の評価とそれに基づく PEBs を促進する機能も含めたプロトタイプの作成とそれを用いたユーザー・スタディ、情報の提示方法の改善、エネルギー消費量や室内環境の評価方法の改善の 3 点に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁; 令和 3 年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書 2022), (2022), pp.72-78.
- 2) 内閣官房, 経済産業省, 内閣府, 金融庁, 総務省, 外務省, 文部科学省, 農林水産省, 国土交通省, 環境省; 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, (2021), pp.28-29, pp.125-128.
- 3) K. Kurisu; Pro-environmental Behaviors, (2015), pp.1-26, Springer Japan.
- 4) K. E. Wallen and E. Daut; The challenge and opportunity of behaviour change methods and frameworks to reduce demand for illegal wildlife, Nature Conservation, 26 (2018), pp.55-75.
- 5) M. Berney, A. Ouazaki, V. Macko, B. Kocher, and A. Holzer; Care-based eco-feedback augmented with generative ai: Fostering pro-environmental behavior through emotional attachment, Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, (2024), pp.1-15.
- 6) 中島早織, 渡邊朗子, 遠田敦; 居住空間におけるロボットのカバーデザインの素材と表情に対する個体距離の研究, 36 (2013), 日本建築学会, pp.169-172.
- 7) 吉田直人, 米澤朋子; ユーザに対するロボットの生理的働きかけによるコンテンツ覚醒度の増幅と親密感への影響, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), 34-3 (2022), pp.579-591.
- 8) 経済産業省 資源エネルギー庁; 夏季の省エネ・節電メニュー (事業者の皆様), (2023), p.3.
- 9) 厚生労働省; <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000132645.html> (アクセス日 2024.9.24).
- 10) 厚生労働省; https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000207439_00007.html (アクセス日 2024.9.24).
- 11) 文部科学省; 学校環境衛生管理マニュアル「学校環境衛生基準」の理論と実践, (2018), pp.14-16.
- 12) 環境省; <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/kateico2tokei/energy/detail/06/> (アクセス日 2024.9.24).