

スマート空間における二酸化炭素濃度の改善による ユーザのストレスレベルに関する検証

青木 一真^{†1} 永重 俊弥^{†2} 鈴木 秀和^{†3}

名城大学理工学部^{†1} 名城大学大学院理工学研究科^{†2} 名城大学情報工学部^{†3}

1 はじめに

現在の日本における平均寿命と健康寿命の差は男性で約 8.73 年、女性で約 12.06 年であるといわれている [1]. そのため、10 年前後の期間を不健康な期間として過ごさなければいけないのが現状であり、健康寿命を延伸することが重要視されている. 筆者らは健康寿命を延ばすための要素の 1 つである居住環境に着目し、ユーザの生体情報と居住スペースの環境情報に基づいて、家電や住宅設備を制御してスマート空間を快適化することにより、ユーザのストレスレベルを改善する HEMS (Home Energy Management System) 連動型ヘルスケアシステム (以後、先行研究) を提案している [2]. 先行研究では温熱環境と湿度に着目してきたが、ヒトに影響を与える環境要因は他にも存在する.

本稿ではヒトが生活をするうえで必ず排出する二酸化炭素に着目し、この濃度を改善することによるユーザのストレスレベルの変化について検証する.

2 先行研究

先行研究では、スマート化された室内において環境センサで温度と湿度をセンシングし、ユーザにはウェアラブルデバイスを装着し心拍数をセンシングする. 心拍数からストレスレベルを推定し、ストレスレベルが高いと判定された場合は、スマートスペース内に設置されている IoT 機器やスマート家電を制御し、温度や湿度を調整することにより、空間の快適化を行う. これにより、直接的または間接的にユーザのストレス緩和を試みる.

3 二酸化炭素濃度がストレスに与える影響

3.1 概要

居住環境の快適化において考慮すべき要素として、温度や湿度だけでなく、空気質の改善も有効であり、ストレスの緩和効果があることも知られている [3]. 室内空気質に含まれる要素として、二酸化炭素、PM2.5、気流や空気清浄度、tVOC (Total Volatile Organic Compounds) などがある. 本稿ではヒトが生活する上で必ず排出する

二酸化炭素に着目し、二酸化炭素濃度の改善によるストレスレベルの改善効果を検証する.

3.2 ストレス量の推定手法

ウェアラブルデバイスを用いてユーザの心拍数を常時センシングし、15 分おきにユーザの心拍数データを用いて、RRI のデータを計算する. n 番目の RRI のデータを $RRI[n]$ として、横軸に $RRI[n]$ 、縦軸に $RRI[n+1]$ の点をプロットし、これによって生成される楕円の面積を計算する. この LP 面積が小さい時は一定量のストレスを継続的に受けていることを示し、ストレス環境下にあると考えることができる. 一方で LP 面積が大きい場合は RRI が分散しており、安静時に近い状態を示している. なお、この LP 面積は個人差が大きく、ストレスレベルを推定するための閾値を固定的に決定することは困難である.

個人差をなくす方法として、文献 [4] では個々の被験者の実験全体の LP 面積に対するパーセンタイル順位を算出し、それを 1 から減算した値をストレスレベルとして定義している. このストレスレベルは、0 に近いほどストレスの少ない環境を指し、1 に近くなるほどストレス環境下にあることを示す. しかし、特定の時間を基準にして、その時間内に含まれる個々のストレス状態を示しているため、例えば高ストレス状態の期間を基準にしてしまうと、実際は高いストレスであってもストレスレベルが低く算出されてしまう場合が考えられる. また、実生活のストレス推定に本手法を適用する場合、時間帯によってストレスレベルを算出する基準値が変動しているため、ストレスを長期的に分析することが困難である.

そのため、本稿ではストレス量 SV を式 (1) により算出する.

$$SV = 1 - \frac{S2}{S1} \quad (1)$$

ここで、 $S1$ は事前に計測する各ユーザの安静時 LP 面積、 $S2$ はストレスを評価したいある時間における LP 面積とする. これにより、LP 面積の値がもともと小さくなりやすいユーザと大きくなりやすいユーザを同一の尺度で測ることが可能となる. また、 SV は最大値が 1 の数値であり、0 以下はストレスが少ない状態、0 より大きい場合は数値が 1 に近づくほど高いストレスを受けていることを示す.

Verification of User Stress Levels by Improving CO2 Concentrations in Smart Spaces

^{†1} Kazuma Aoki, Faculty of Science and Technology, Meijo University

^{†2} Shunya Nagashige, Graduate School of Science and Technology, Meijo University

^{†3} Hidekazu Suzuki, Faculty of Information Engineering, Meijo University

表 1 不快感アンケート項目

不快レベル	不快度合い
0	不快感を感じない
1	不快感を少し感じるが気にならない
2	不快感を感じる
3	不快感をとても感じる

3.3 実験方法

本実験では二酸化炭素濃度を改善させたときのストレス量の変化との関係性について検証した。室温 21°C、湿度 30% で保たれた 7×5m の個室の換気を調節することによって実験を行った。被験者に心拍数の計測を行うためのウェアラブルデバイスとして Fitbit Charge 4 または Fitbit Charge 3 を装着させ、計測開始前に 30 分間快適な環境下で安静時の心拍数を測定し、この時の結果を S1 とした。

実験開始後、常時生体情報をセンシングし、15 分ごとに FitbitAPI を利用して心拍数を取得した。その後換気を停止し、1,400ppm 前後の二酸化炭素濃度に達した後の心拍数を 1 時間計測した後、換気を行って 600ppm 前後の環境でさらに 1 時間心拍数の測定を行った。実験時間中に測定した換気前と換気後の心拍数から S2 を算出し、SV を求めた。

また、心拍数の客観的な指標だけでなく、空間内に存在するヒトが空間に対してどのように感じるかも重要である。そのため、15 分ごとに表 1 に示す不快感について 0~3 の 4 段階の不快レベルでアンケートをとった。

なお、被験者の年齢は 20 代の男女 (A~H) で、実験中は立ち歩き等をせずに各自 PC やスマートフォンを使用してもらった。

3.4 測定結果

今回の測定では 1 日 1 回、3 日間に分けて測定を行った。図 1 に換気前後のストレス量の平均結果を示す。被験者 D を除いた 7 名の被験者について、換気前と換気後を比較して SV が低下している傾向にあった。SV の低下には個人差があり、被験者 A と被験者 F を比較すると低下の幅に大きな差があることもわかった。また、換気前後の結果に対し、有意水準 5% でウィルコクソンの符号順位検定の片側検定を行った結果、 $P = 0.0365$ となり、有意差が示された。

また、図 2 に測定中に行った不快感アンケートによる各被験者の平均不快レベルの推移を示す。主観アンケートの結果によると、換気前後を比較して不快レベルの平均値が減少していることがわかる。このため、換気によって主観的な不快感を軽減することが可能である。また、検定結果に基づくと、換気によってストレス量が低下している可能性が高い。以上の結果から、二酸化炭素濃度の改善によって主観的なストレスの改善効果と心拍数に基づくストレス量の改善効果が期待できると考えられる。

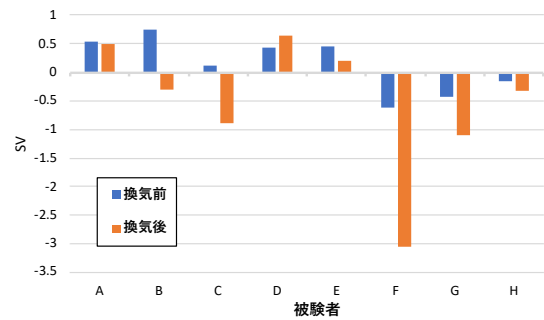


図 1 換気前後によるストレス量の変化

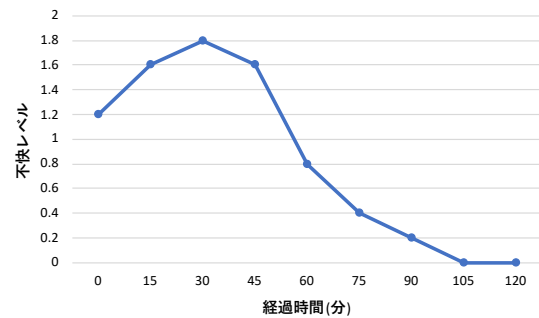


図 2 不快レベルの推移

一方で、図 1 によると、換気前の SV が 0 より小さい被験者が数名存在した。そのため、換気前の時点で安静時よりストレス負荷が少なくなっていることが考えられる。このようになった結果として、会話や作業内容などが影響していると考えられる。ストレス量の改善傾向は見られたが、基準となる安静時の LP 面積 S1 をより正確に計測する必要がある。

4 まとめ

本稿では、二酸化炭素濃度の改善によるストレスの改善効果の可能性について検証をした。実験の結果、換気による二酸化炭素濃度の改善により、ユーザのストレス改善に影響を与えている可能性があることがわかった。

ストレス量 SV の値はユーザが見てもどの程度のストレスが発生しているのか認識しにくいという課題がある。そのため、今後はストレス量が高いのか低いのかを直感的に理解するために、ストレス量を高中低のようなストレスレベルに変換し、自身のストレス量がどの程度なのかを認識しやすくする必要がある。

参考文献

- [1] 厚生労働省：令和 2 (2020) 年度 国民医療費の概況, 2022.
- [2] N. Ikeuchi, et al.: IEEE GCCE 2021, pp. 587-588, 2021.
- [3] 櫻井. 他: 日生氣誌, Vol. 59, No. 1, pp. 37-43, 2022.
- [4] 鈴木. 他: 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 69, No. 5, pp. I.857-I.867, 2013.