



気流の可視化に伴い変化する温度感の評価

金山哲也¹⁾, 間下以大¹⁾, 浦西友樹¹⁾, Photchara Ratsamee¹⁾, 竹村治雄¹⁾

1) 大阪大学 情報科学研究科 (〒 560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-32, kanayama.tetsuya@lab.ime.cmc.osaka-u.ac.jp)

概要: 視覚情報は人の知覚の大部分を占めており, もし空気の温まる様子や冷える様子を可視化できれば, エアコンの空調効果をより大きく感じられることが期待される. そこで本発表では, 空気の流れをシミュレートして光学透過型 HMD を用いた拡張現実技術により提示し, 可視化された気流を見た際にユーザが知覚する温度感の変化を評価した. 結果として, 「可視化された気流」と「可視化なし」の間で有意差が認められた.

キーワード: 可視化, 気流, 温度感, 光学透過型 HMD

1. はじめに

室内の快適さを語る上で欠かすことができないのが空気である. 空気に淀みがあれば人は息苦しさをを感じるし, 空気の温度が高いもしくは低い, すなわち室温が適切でなければ快適とは言い難い. また, 湿度の高さ低さによっても人は不快感を感じる. それらの問題を解決するため, 室内に空調器具を設置する. エアコンが温度調節し空気清浄機が空気中の埃や湿気を吸い取ることによって室内は快適に保たれている. しかしそれらの機械が正常に稼働していることを「暖かくなった」, 「涼しくなった」などとした実感や温度計の数字で確かめることはできるが, 実際に肉眼でどのように空気の変化しているのかを確かめることはできない. 冷えた空気や温められた空気がどのようにして室内を駆け巡っているのか. それらが実際に見えることでより明示的に空調機器の設置や使用が検討できるようになる.

空気は肉眼では見えないものであり, これを可視化することによる体感への影響も考えられる. 視覚情報は人が世界を捉えるに際して最も重要な情報の一つである. 産業教育機器システム便覧によると五感の中で視覚は知覚の 80% を占めると述べている [1]. よって室内を空気が流れていく様子を見ることによって, また可視化された流れに体を当てることによって温度感が変わるのではないかと考えられる. 例えば冷房によってできる空気の流れを青い流線で表した時, 実際の温度よりも涼しく感じ, 暖房によって暖められた空気をオレンジ色で示すことで実際よりも暖かく感じるのではないかと考えられる. 温度感の変化が実際に認められれば, 快適さの向上や節電にも繋がると思われる. また今まで見えなかった気流が見えることで暖かい気流のある場所, 涼しい気流のある場所に移動するという選択肢も生まれて, 快適な空間を作る手助けにもなる. 本研究では実際の室内環境の中に空気の流れを可視化して追加し, それが人の温度

感に対してどのような変化をもたらすのかを評価する.

2. 関連研究

空気の流れを可視化するシステムは既にいくつか存在している. Hosokawa らは室内の温熱環境設計のために Virtual Reality (VR) を用いた Computational Fluid Dynamics (CFD) 解析結果の 3 次元可視化を行った [2]. Hosokawa らはバーチャル空間にシミュレーション結果を表示することで, 画面に表示した場合よりも温熱環境と室内環境との関係が直感的に理解しやすいことを確認した. また, バーチャル空間内で CFD パラメータの変更と解析結果の評価を可能とし, 設計の温熱環境性能を比較しながら検討可能であることを確認した. 新菱冷熱工業株式会社と株式会社ソフトウェアアクレイドルはホログラフィックコンピュータを用いた気流シミュレーション可視化手法を開発した [3].

視覚が他の感覚に与える影響についても様々な研究が存在する. Parinya らは視覚に与える情報を変化させることで物を指で押し込んだ際の柔らかさを変化させるシステムを作成した [4]. Ho らは温度を直接手で触れて確認する時, 赤い色よりも青い色の方が温かく感じることを示した [5]. Hosokawa らは VR にて気流を確認した時, ディスプレイで確認するよりも温熱環境と室内環境との関係が理解しやすいと述べていた [2]. 本発表ではバーチャルの室内環境と温熱環境の関係ではなく, 現実の室内環境と気流の関係の理解が重要であるため, Augmented Reality (AR) を用いてシミュレーションされた空気の流れを室内へと提示する. そして提示された空気の流れに色を与えることで, 視覚に様々な刺激を与え, それによる温度感の変化を評価する.

3. 気流可視化システム

3.1 可視化方法の選択

見えないものの可視化には様々な手法があり, それぞれに可視化の機能が異なる. 可視化の種類を図 1 に示す. AR を用いた気流の可視化で必要となるのは以下の 3 点である.

Tetsuya Kanayama, Tomohiro MASHITA, Yuki URANISHI, Photchara RATSAMEE, and Haruo TAKEMURA

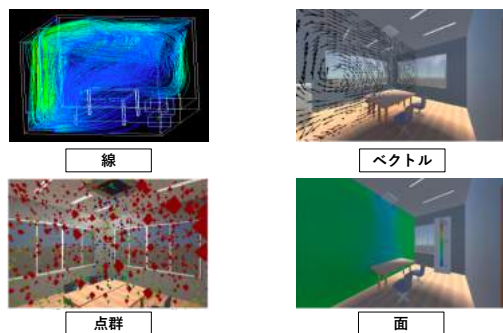


図 1: 様々な可視化手法 [2]

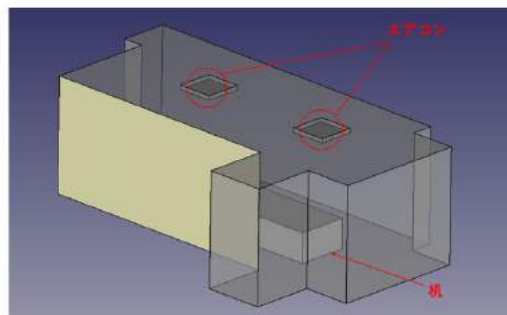


図 2: 室内形状モデル

- 気流の認識

可視化したものを気流に関する知識のない人が見た際にも、気流であると確認できる必要がある。専門的な知識がないと気流を確認できないのでは、本研究の可視化方法としては適さない。

- 三次元表示

AR で室内に投影する際に、より現実との混合性を高くするためには三次元である必要がある。AR を用いればそのユーザは周囲を見回したり、室内の中を移動して気流を確認することができる。しかし気流が平面であればその利点を生かすことができなくなる。

- 室内環境の確認

可視化した気流が視界を塞ぎ、現実の環境が見えないということにならないようにする必要がある。現実の環境が確認できないのであれば、AR にて可視化した意味がなくなってしまう。

以上の3点について考えたところ、線による可視化の場合、以下の表1のようになり、全てについて満たしていることがわかった。よって本研究では線による可視化を行うことにした。

3.2 使用機器

本研究では題の通り、気流の可視化に伴い変化する温度感の評価を行う。よってより現実との統合性がある方が望まし

表 1: 可視化手法比較表

可視化手法	気流の認識	三次元性	室内環境の確認
線	○	○	○
ベクトル	△	○	△
点群	×	○	△
平面	○	×	△

い。Optical See-Through Head-Mounted Display (OST-HMD) は現実と仮想を混ぜ合わせて表示できるデバイスで、リアルタイムに現実を確認することができる。よって気流の可視化を現実に提示する機器として適していると判断し、それを使用することとした。

4. 試作システム

可視化による温度感の変化を評価するため、試作として天井に取り付けられたエアコンから暖かい風が流れてくる様子を可視化し、OST-HMD に表示するシステムを作成した。OST-HMD としては Microsoft 社の HoloLens を使用する。

4.1 室内 3D モデルの作成、設定

流体解析を行う部屋の室内モデルを作成する。ソフトウェアは DEXCS2017 に搭載された FreeCAD を使用した。実際に作成したモデルを図 2 に示す。また、部屋のサイズは高さ 2.7 m、横 3.14 m、縦 8.56 m である。

4.2 流体解析

表 2 に解析条件を示す。解析には OpenFoam[6] を用いた。乱流モデルは $k-\epsilon$ モデルを使用し、定常で非圧縮の解析を行った。また、解析に必要なメッシュは Helyx-OS を用いて作成し、メッシュの数は 150000 (縦 100 × 横 50 × 高さ 30) とした。

4.3 位置合わせ

HoloLens に表示された気流の可視化が現実とうまく合わせるよう、位置合わせを行う。試作システムでは HoloLens がアプリケーションを起動した位置を原点とすることを利用して、起動位置の固定により位置合わせを行った。

表 2: 境界条件

部位	速度	圧力
壁, 机 (wall)	なし	なし
エアコンの流入口 (inlet)	Fixed value (0, 0, -6)	Zerogradient
エアコンの流出口 (outlet)	Zerogradient	Fixed value (0, 0, 0)



図 3: 可視化なし, 気流の可視化, 色の可視化

5. 評価実験

5.1 視覚のみによる温度感の変化

気流の可視化による温度感を評価する上で、まずは視覚のみで可視化された気流を捉えた時、暖かく感じるのか実験した。

5.1.1 実験設定

図 3 に示した可視化なしの室内画像、気流の可視化ありの室内画像、色のみを追加した室内画像をそれぞれ用意し、ディスプレイ表示してそれぞれの画像を暖かいと思う順番に並べてもらう。これによって、可視化した気流を視覚のみで感じた時、温度感にどのような影響を与えるのかを評価した。なお色のみを追加した室内画像として、Hololens によって得た室内のモデルに色をついたテクスチャを貼り付けたものを利用している。

5.1.2 結果

被験者 7 名 (男性 6 名, 女性 2 名, 平均年齢 24 歳) に対して実験を実施した。もっとも暖かいと答えた画像を 3 点とし、次に暖かいと答えた画像を 2 点, 最後の一つを 1 点とする。それによる結果の平均と標準偏差は図 4 のようになった。また、Kruskal-Wallis 検定を行い、その結果を表 3 に示す。この検定における帰無仮説を「気流の可視化, 色の可

表 3: ディスプレイ評価の検定結果

変動要因	検定統計量	p 値
可視化の種類	11.4286	0.00329851

表 4: Wilcoxon による順位和検定

比較対象	Wilcoxon
色-気流	0.2530979
色-なし	0.0050515
気流-なし	0.002214

視化画像を見ても温度感が変わらない」とし、対立仮説を「気流の可視化, 色の可視化を見たとき少なくともいずれか

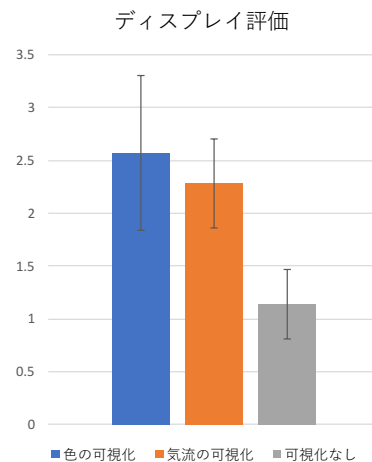


図 4: ディスプレイにおける温度感比較の平均と標準偏差

では温度感の変化がある」とする。表 3 に示す結果から、1%水準で有意差があると言える。そこで Wilcoxon による順位和検定を行なった。その結果が表 4 である。表 5 によると「色の可視化と可視化なし」の間では 1%水準で有意差が認められた。「気流の可視化と可視化なし」の間でも 1%水準で有意差が認められた。しかし、「気流の可視化と色の可視化」の間では有意差は認められなかった。

5.1.3 考察

色と気流の可視化の間で有意差は認められなかった。この理由として考えられるのは画像のパターンが一つだけだったという点、可視化した気流の影響で背景が暗い点が考えられる。より多くのパターンの画像を用意し、被験者に対してランダムな画像を見せることで、色と気流間の差異も明らかになってくるのではないと思われる。

5.2 気流の可視化に伴う温度感の評価

可視化した気流を Hololens によって提示し、それによる温度感の変化を評価する実験を行なった。

5.2.1 実験条件, 実験設定

被験者に対し試作システムを利用して可視化なし, 気流の可視化, 色の可視化 (色がついたテクスチャを室内のモデルに貼り付けたもの), のいずれかを Hololens を通して提示し、それによる温度感の変化を評価してもらう。これによって可視化によって温度感が変化するのか、またそれは気流の可視化による影響であるのかを判別する。温度感を評価してもらう上で、マグニチュード推定法を用いる。まずは基準となる部屋で Hololens を装着してもらい、その後評価を行う部屋に移動し、基準との比較で温度感を評価してもらった。基準となる部屋と評価を行う部屋は同じ体感温度となるよう調節し、被験者にはその温度設定がわからないようにした。体感温度は温度感とは違い、定量的に表せるものである。体感温度はミスナールの計算式を利用した。実験は以下の手順で行なった。

1. 基準となる部屋で Hololens を装着してもらう
2. その状態で温度に慣れるまで 30 秒間見回してもらう

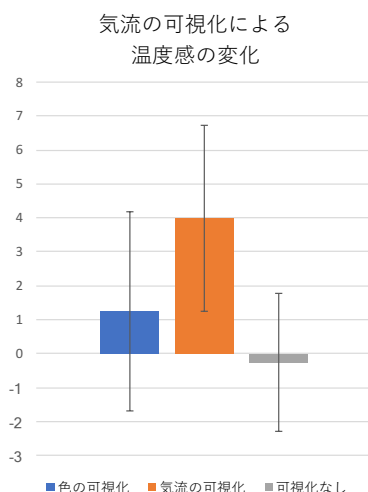


図 5: Hololens における温度感比較の平均と標準偏差

3. 部屋を移動する
4. Hololens に可視化なし, 気流の可視化, 色の可視化のいずれかを提示する
5. その状態で温度と映像に慣れるまで 60 秒間見回してもらう
6. 基準との差異を評価してもらう

運動による温度感の変化をなくすため, Hololens は椅子に座った状態で装着してもらう。Hololens に表示する可視化は図 3 に示したものである。

5.2.2 結果

被験者 12 名 (日を改めての重複あり, 男性 10 名, 女性 2 名, 平均年齢 23.5) に対して実験を実施した。エアコンなどの要因により室内の体感温度が著しく変動した場合は正しく計測できなかったものとして分析からは外した。標準偏差を求めたグラフが図 5 である。この図 5 では気流を可視化した時がもっとも暖かく感じ, 順に色, 可視化なしとなっている。さらに詳しく分析するため, 結果に対して分散分析を行った。その時, 帰無仮説を「気流, 色の AR による可視化は温度感に関係しない」とし, 対立仮説を「気流, 色の AR 可視化によって少なくともいずれかは温度感の変化に関係する」とした。分析結果を表 5 に示す。p 値を見ると 5% を超えており, 有意差は認められなかった。これにより帰無仮説は棄却されない。よってこの実験では気流の AR による可視化と温度感の関係性を認められなかった。

5.2.3 考察

図 5 を見たとき, 平均においては気流の可視化がもっとも高く, その後に色, 可視化なしと続いている。しかし標準偏

差を見るとばらつきが大きく, 色の可視化の最大が気流の可視化の平均を超えている。その結果として分散分析では有意差が認められず, 今回の実験では気流の可視化による温度感の変化は確認できなかった。ここで考えられる問題点はまず被験者の数が十分でなかったという点である。また, 使用した部屋が正確に温度を合わせられるものでなく, 体感温度に多少の変化が出てしまうという点も問題と言えた。

6. 終わりに

本研究では室内気流の可視化を行い, それによって変化する温度感の評価を行なった。Hololens を用いることでより室内環境との統合を求めた気流の可視化を行うことができ, 気流を三次元的に捉えやすくした。温度感の評価においては平均において色の可視化, 可視化なしの状態を上回ったが, 分散分析の結果では有意差を得ることができなかった。

参考文献

- [1] 教育機器編集委員会 編, “産業教育機器システム便覧”, 日科技連出版社, p. 4, 1972.
- [2] Masahiro Hosokawa, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki, Takashi Michikawa and Ali Motamedi, “INTEGRATING CFD AND VR FOR INDOOR THERMAL ENVIRONMENT DESIGN FEEDBACK,” *Proceedings of the 21th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2016)*, pp. 663–672, 2016.
- [3] 新菱冷熱工業株式会社, 株式会社ソフトウェアクレイドル, “ホログラフィックコンピュータを用いた気流シミュレーション可視化手法の開発”, <https://www.shinryo.com/news/20170720.html>, 最終アクセス 2018 年 7 月 124 日.
- [4] Punpongsanon Parinya, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato, “Softar: Visually manipulating haptic softness perception in spatial augmented reality,” *IEEE transactions on visualization and computer graphics* 21. 11, pp. 1279–1288, 2015.
- [5] Hsin-Ni Ho, Daisuke Iwai, Yuki Yoshikawa, Junji Watanabe, and Shin'ya Nishida, “Combining colour and temperature: A blue object is more likely to be judged as warm than a red object,” *Scientific reports* 4, p. 5527, 2014.
- [6] “OpenFoam”, <https://www.openfoam.com>, 最終アクセス 2018 年 7 月 24 日.

表 5: Hololens における温度感評価の分散分析結果

変動要因	自由度	p 値	F 値
可視化の種類	2	0.184386829	4.256494729