



# 空気噴流を用いたウェアラブル温度提示デバイスの開発に関する基礎研究

Basic study on development of wearable thermal display using air jet

小笠原健太郎, 坂口正道

名古屋工業大学 大学院工学研究科 電気・機械工学専攻

(〒 466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町, 30413035@stn.nitech.ac.jp, saka@nitech.ac.jp)

**概要:** 流体が物体表面に流れると強制対流熱伝達が起これ、流体と物体の間で熱の移動が生じる。本研究では、空気を皮膚表面に流すことで生じる強制対流熱伝達を利用した、新たな温度提示デバイスの開発を目標としている。本稿では、送り出す空気噴流の流速とヒトが知覚できる面積との関係について調査を行った。

**キーワード:** 温度提示, 空気噴流, 対流熱伝達

## 1. はじめに

温度は人間や生物にとって重要な環境パラメータの一つである。このため、エアコンや扇風機、ストーブなど、多くの温度制御機器が開発されている。しかし、これらは外気温を一定に保つことが目的であり、急激な温度変化や人体への直接の温度提示は想定されていない。温度感覚は、空間分解能や時間分解能はそれほど高くはないが、急激な温度変化は危険の察知にも利用されており、各種の情報提示に応用できる可能性は高い。実際に温度を提示することで快適感を変化させる研究 [1] や、音楽の情動性を拡張する研究 [2] がなされている。

温度を提示する手法として、ペルチェ素子が用いられる場合が多い。しかし、一般的なペルチェ素子は応答速度や提示面積といった点で課題が残る。また、本研究室では熱媒体として水を用いた温度提示システムの開発がなされてきた [3][4]。これまで手指や頸部、背中を対象として温度提示を行ってきたが、それ以上の面積に提示することは、大量の水を使い装置が大型になるという点から困難であった。

そこで本研究では、空気噴流を用いた温度提示システムの開発を行った。本稿では、システムの開発に先立った基礎研究として、空気噴流を用いた温度提示の特性を、噴出角度に着目して実験を行った。

## 2. システム構成

本研究では、空気噴流を温度提示手法として用いる。エアコンプレッサ (パオック社製 MD-0308, 設定圧力 0~0.7MPa) から放出された圧縮空気は、内径 4mm のポリウレタンチューブを通り、内径 2.5mm の 4 本のチューブに分岐し、先端から放出される。なお、本稿では空気噴流の温度調整は行って

おらず、コンプレッサから放出された状態のまま提示を行った。この時、コンプレッサから噴出された空気の温度は 27℃であった。図 1 および図 2 にシステムの全体像とモデル図を示す。

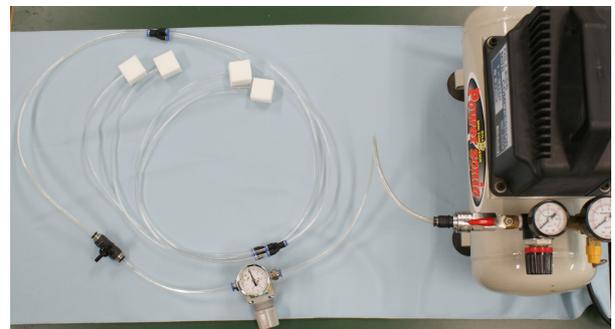


図 1: システム全体像

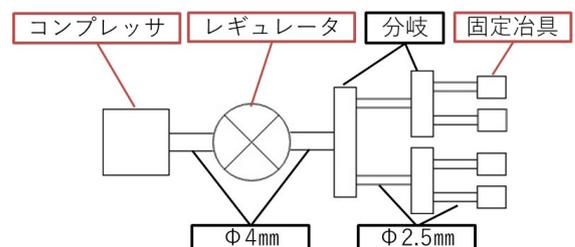


図 2: システムモデル図

## 3. 平面板への温度提示

ここでは、提示する箇所に対して、噴出する角度が小さいときは離れた位置まで広範囲に温度を変化させることができ、角度が大きいと近傍の温度を大きく変化させること

Kentaro OGASAHARA, Masamichi SAKAGUCHI

ができるという仮説を立て、サーモグラフィカメラ（FLIR C2、温度分解能 0.1℃、画素数 80 × 60）を用いて、検証実験を行った。その際に用いたチューブの固定治具を図 3 に示す。噴出口の高さは 5mm に固定し、噴出角度  $\theta$  を変化させ、実験を行った。

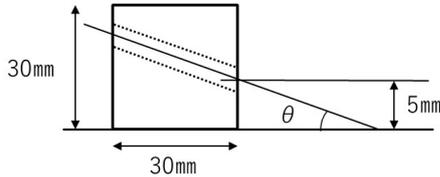


図 3: 固定治具モデル図

### 3.1 計測条件

本計測では、エアコンプレッサからの噴出圧力を 0.1MPa に固定、噴出角度  $\theta$  を複数条件用意し、温度変化の様子を計測した。噴出角度  $\theta$  は 0°、15°、30° の 3 条件とした。空気の噴出時間は約 25 秒間とし、噴出する平面の表面温度は 33℃ になるよう、ヒータを用いて統制を行った。図 4 に測定の様子を示す。300mm × 300mm、厚さ 1mm のアメゴムシートの下にヒータを設置し、図に示すように、固定治具から 6 か所の距離の温度変化を計測した。



図 4: 測定の様子（平面）

### 3.2 測定結果および考察

図 5～図 7 に各条件で測定を行った結果を示す。サーモグラフィカメラの画像は、噴流の提示終了直後（時刻 28 秒）の状態を示している。また、グラフは温度の時間変化で、各曲線は噴出口からの距離による違いを示している。

サーモグラフィカメラの画像から、噴出角度 0° では、温度が変化した領域の縦幅が大きく、噴出角度  $\theta$  を大きくすると、遠方までは変化しないが、横幅を大きくすることが可能であることが確認できた。また、0° では噴出口付近の温度が下がっていないことも確認された。これは、空気噴流が平面に接触するまでに距離を要することが原因であると考えられる。

また、グラフを見ると、0° では最も遠方である 260mm の地点でも 2 度以上温度が低下しており、十分な冷却効果

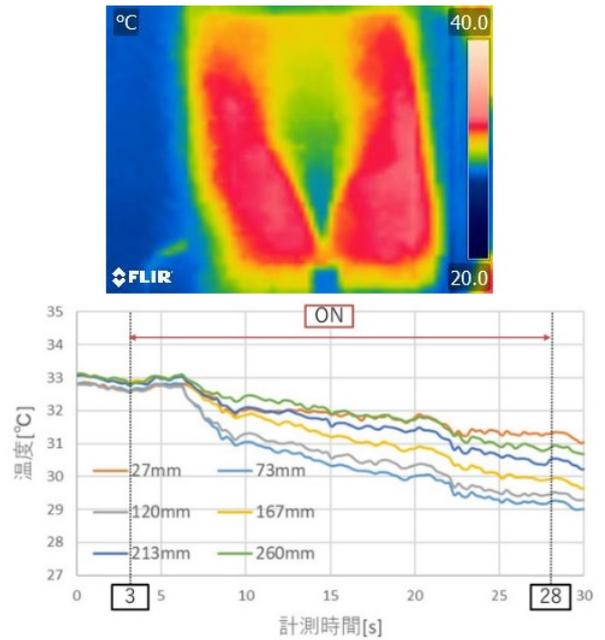


図 5: 測定結果（平面，噴出角度 0°）

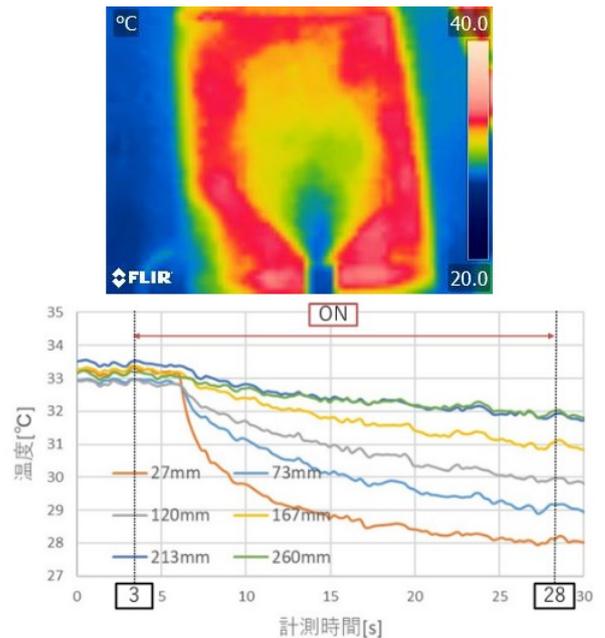


図 6: 測定結果（平面，噴出角度 15°）

が確認できた。15° や 30° では遠方の冷却効果は大きくないが、噴出口に最も近い計測点である 27mm の地点では、5 度近く温度変化が生じた。

これらのことから、噴出角度により温度変化の様子が異なることが確認できた。

## 4. ヒトへの温度提示

ここでは、作成したシステムを用いてヒトの前腕に空気噴流を提示した際の温度変化の様子を計測した。

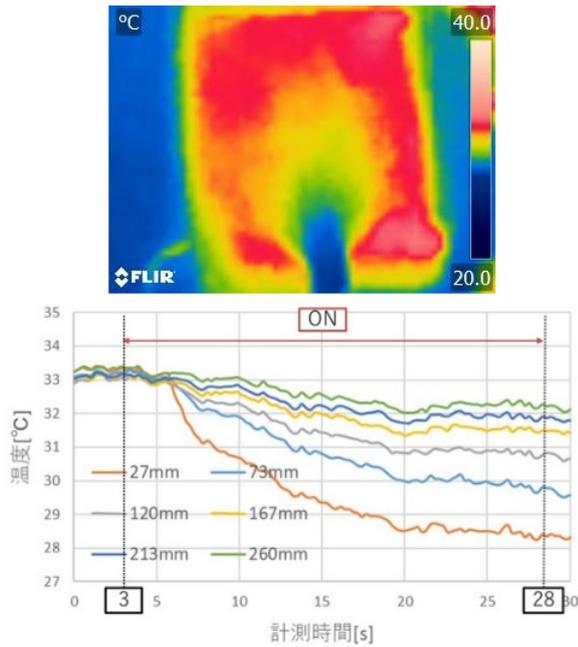


図 7: 測定結果 (平面, 噴出角度 30°)

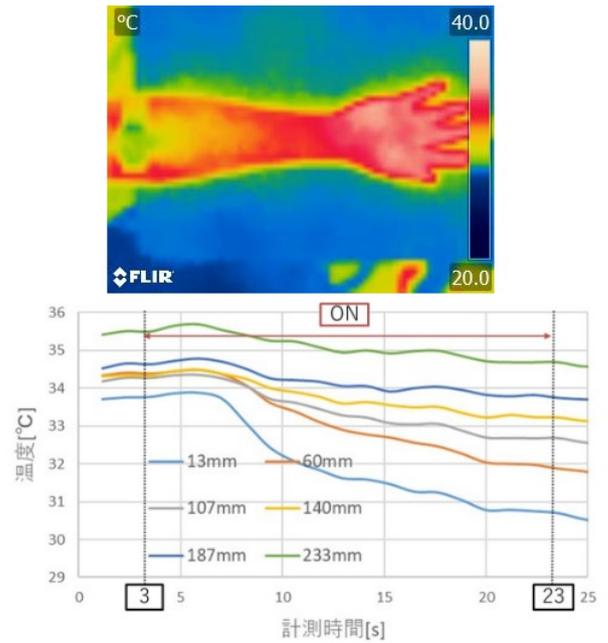


図 9: 測定結果 (前腕, 噴出角度 0°)

4.1 計測条件

平面への提示と同様、噴出圧力は 0.1MPa で固定、噴出角度条件を複数用意し、各条件につき 3 回計測を行った。噴出角度は 0°, 5°, 10°, 15° を用意した。また、空気の噴出時間は 20 秒とし、噴流の提示後は 90 秒間ヒータの上に前腕を置くことで前腕の初期温度を統制した。圧縮空気の温度は室温と同じ 27°C であった。図 8 に測定の様子を示す。計測は、図に示すように、噴出口から 6 か所の距離で行った。

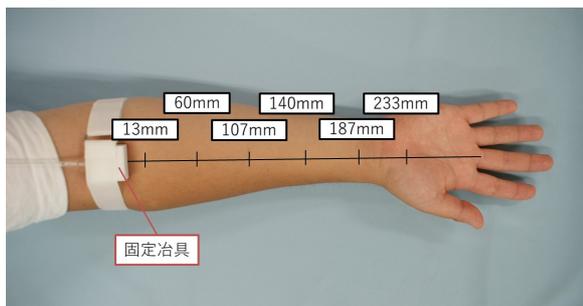


図 8: 測定の様子 (前腕)

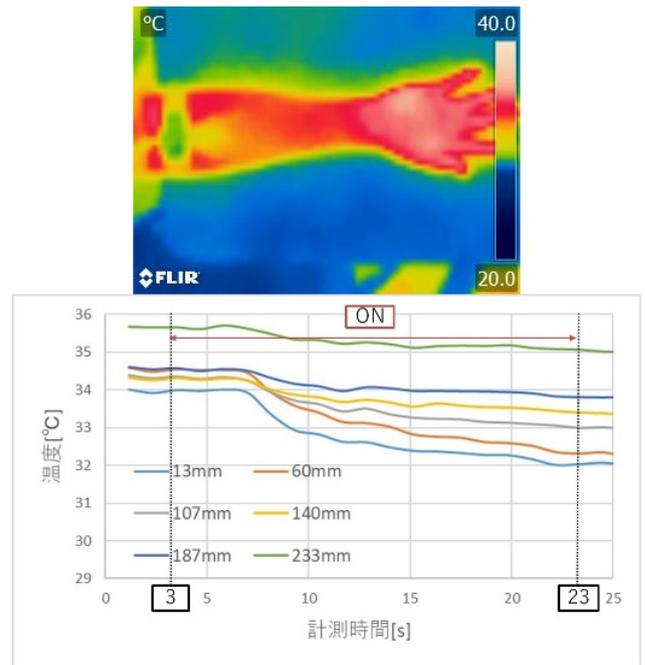


図 10: 測定結果 (前腕, 噴出角度 5°)

4.2 測定結果および考察

図 9~図 12 に各条件のもとで測定を行った結果を示す。ただし、これらの結果は同条件での 3 回の実験の平均である。

噴出角度 0° および 5° の場合では、噴出口からの距離による温度変化の差が少なく全体が均一に下がっていると言える。しかし、5° の結果は、全体で見ると温度変化量も少なく、上手く皮膚表面に空気噴流が流れていなかった可能性が考えられる。これに対し、噴出角度 0° の場合では、どの位置でも均等に温度が変化しているだけでなく、その変化量も大きい。また噴出角度 5° より大きい条件では、噴出口近傍の温度変化が顕著であり、空気噴流が局所的に強く

当たっていたと考えられる。

これらの結果から、全体に温度変化を生じさせ、広範囲で冷たく感じさせるには噴出角度の小さい 0° が適しており、局所的に温度を大きく変化させるには噴出角度は大きくしたほうが良いという知見が得られた。

5. まとめ

本研究では、空気噴流による対流熱伝達を用いた温度提示システムを提案した。その基礎研究として、本稿では噴出角度による冷却範囲や冷却の程度を、サーモグラフィカ

## 参考文献

- [1] 白井愛美, 佐藤克成: 快適と感じる腰への温度刺激の強度と面積の調査, 第18回システムインテグレーション部門講演会 (SI2017) 講演論文集, 3A5-07, pp. 2216-2219, 2017.
- [2] 秋山史門, 佐藤克成, 牧野泰才, 前野隆司: ThermOn-温冷覚呈示による音楽の情動性拡張メディアインタフェース, 情報処理学会インタラクシオン 2013, pp. 356-360, 2013
- [3] 小松祐介, 河合凌輝, 坂口正道: 水を用いた背中への大面積温度提示システムの開発, 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 1D3-04, 2017
- [4] 今井和紀, 早川恭平, 坂口正道: 頸部への温度提示が人間に与える影響に関する研究, 第19回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 450-453, 2014

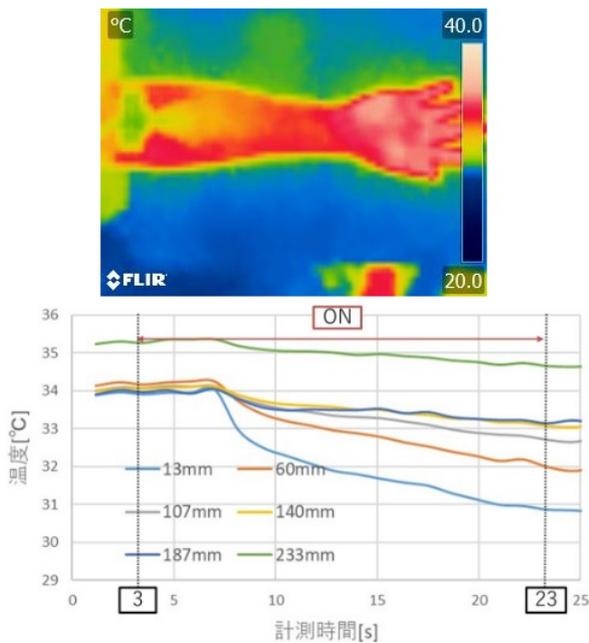


図 11: 測定結果 (前腕, 噴出角度 10°)

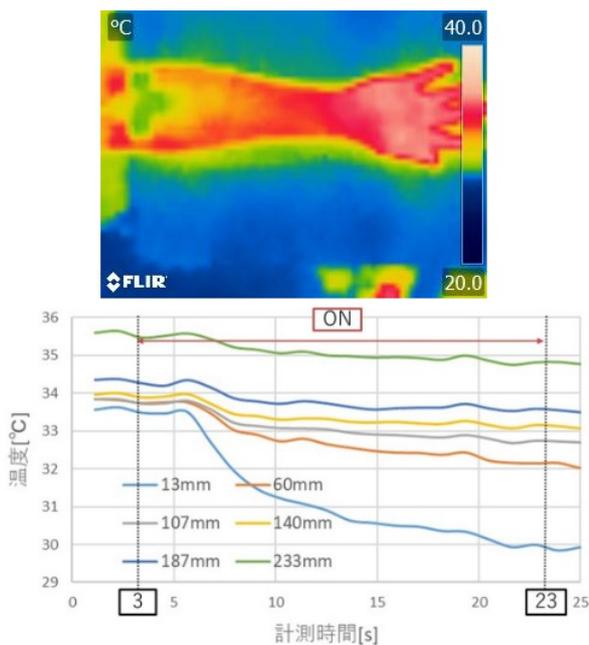


図 12: 測定結果 (前腕, 噴出角度 15°)

メラを用いることで解析を行った。その結果、角度を小さくすると遠方まで冷却することが可能となり、角度が大きくなると近傍しか冷却できないものの、温度変化は大きくなることが確認できた。この結果は平面、前腕のどちらにも空気噴流を流した際にも当てはまっており、今後のシステム開発において重要な知見になりうる。今後は、視覚刺激等、他の感覚刺激と組み合わせることにより、従来の温度提示システムにはなかった、空気噴流を用いたシステムの開発を行っていく。その際には、本稿で述べた噴出角度による温度変化の違いが活用できることが期待される。