



空中ミストの制御による遠隔冷覚提示

Remotely Displaying Cooling Sensation Controlling Mist in Midair

中島允¹⁾, 牧野泰才¹⁾, 篠田裕之¹⁾

Mitsuru NAKAJIMA, Yasutoshi MAKINO, and Hiroyuki SHINODA

1) 東京大学 新領域創成科学研究科 (〒277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5, nakajima@hapis.k.u-tokyo.ac.jp, Yasutoshi_Makino@k.u-tokyo.ac.jp, Hiroyuki_Shinoda@k.u-tokyo.ac.jp)

概要: 本研究では超音波ビームを用いてミストをユーザーの皮膚表面に空中輸送し、さらにその気化熱から冷却されることで遠隔冷覚提示手法を提案している。これまでに、ミストの代わりにドライアイスの冷気を用いて遠隔冷覚提示を提案したが、ミストを用いた場合の方が冷却効果が高いことが示された。本稿ではさらにミストによる冷却効果を高めるシステムを構築し、システムによるユーザーの皮膚表面の温度変化を測定した。

キーワード: 遠隔冷覚提示, 超音波ビーム, 音響流

1. はじめに

近年のVR技術において、視聴覚刺激に加えて触覚刺激を付与することが多くなってきている。それらの提示手法は様々なものが提案されている中、振動覚や圧覚を対象としており、バーチャルな物体の形状や機械的な特性の提示を目的としている。一方で、温冷覚を対象とした研究もいくつか提案されており[1][2]、現状提案されている大多数はペルチェ素子といった熱電式ヒートポンプを用いた接触型デバイスである[3][4]。

非接触型温冷覚提示デバイスについては、接触型デバイスと比べて少ないが、いくつか提案されている。この方法は、ユーザーの身体運動を妨げない、提示部位が幅広いという利点がある。温覚の遠隔提示においてはレーザー光を利用した手法などが提案されており、電磁波による放射熱の形で人体表面を選択的かつ局所的に加熱することができる[5]。

一方で、遠隔冷覚提示においてはボルテックスチューブから生成された冷気の流速を制御することで冷覚提示する手法が提案されている[6]。また、音響流を用いて低温の空気を皮膚表面に空中輸送することで遠隔に冷覚提示する手法が提案されている[7]。後者の手法は超音波フェーズドアレイを用いており、電子的に制御可能な超音波ビームを生成することができる。従って、狭い気流が発生する。また、超音波ビームは波長程度(8.5mm)まで絞ることができるため、装置遠方において低温の空気を連続的に空中輸送でき、さらに皮膚表面に良好な局在性を伴った冷覚提示ができる。だが、冷気源としてドライアイスの冷気を用いられており、冷気が放出される度に消耗してしまうことから、実用的な用途範囲が限られてい

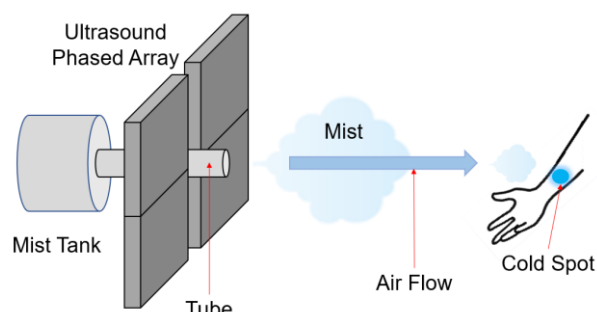


図 1: 提案システムの概略図

る。その用途範囲を拡張するためにミストの気化熱を用いた冷覚提示をする手法が提案された[8]。冷却効果についてはドライアイスとの比較実験が行われており、ミストを用いたときの方が、ドライアイスの冷気を用いたときよりも高いことが示された。

本稿では、さらにミストの生成量の制御可能なシステムを構築し(図1)、冷却効果の基礎的な実験としてユーザーの皮膚表面の温度変化について観察した結果について述べる。

2. 提案システム

2.1 超音波ビームによる気流の発生

超音波から生成される気流は、音響流と呼ばれており、非線形音響現象の一つとして知られている[9]。音源が単一周波数で正弦波振動しているとき、空気の単位体積あたりの駆動力は音響パワーに比例する[10]。従って、直線型の音響ビームは、ビームと平行な直線の気流を伴う。このよ

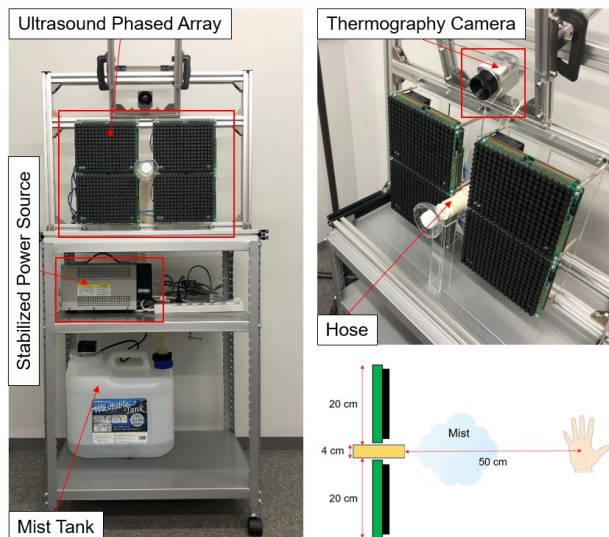


図 2: 実験のセットアップ

うな直線ビームの例として、音響ベッセルビームが挙げられ、超音波フェーズドアレイによって電子的に操作可能な方法で生成することができる[11]。実際に、その制御側に則って、冷氣やミストの空中輸送による遠隔冷覚提示が行われた[7][8]。

2.2 システムの構成

図 2 に、実際の提案システムのプロトタイプを示し、40kHz で駆動する超音波フェーズドアレイ、ミスト発生用の 1.6～1.7MHz で駆動する超音波振動子 (IM6-36D/S SEIKO GIKEN INC)、ミスト貯蔵用のポリタンク (20L) から構成されている。また、ポリタンクの中には超音波振動子と 2L の水があり、作動すると 4000ml/h のミストが生成されかつ貯蔵される。発生するミストの中心粒子径は 4～5 μm である。さらに、図 3 のように、ポリタンクには DC ファン (山洋電気製 San Ace 60W) とホースが接続されており、ファンが作動することでポリタンクの内部に送風され、ホースからミストが排出される。ファンは安定化電源と接続されており、出力を調整することでミストの排出量が調整される。ホースから排出されたミストの一部は、超音波フェーズドアレイから生成された気流によって空中輸送される。

3. 実験

3.1 実験概要

前章のシステムから、ホースから排出されたミストがフェーズドアレイの放射面付近で空中に浮遊するように安定化電源の出力を調整した (0.01A, 15.00V)。そこで浮遊したミストが気流によってユーザーの手掌部に当たるように空中輸送し、ミストによって手掌部の表面の温度が変化の様子を測定する。

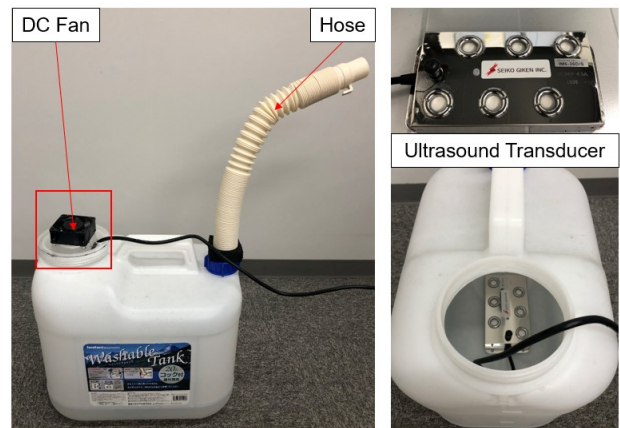


図 3: ミスト発生装置の試作システム

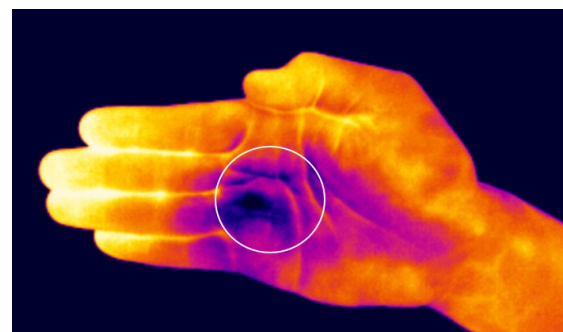


図 4: サーモグラフィーカメラで撮影した手掌部の様子及び測定対象の領域

3.2 測定方法

図 2 から、ホース口から排出されて空中に浮遊しているミストを超音波ビームから発生した気流に乗せて、ユーザーの手掌部に当てる。ここで、ビームは図 5 のように手掌部の中心に当たるように調整する。そして、サーモカメラ (OPTOI4500 29T900) で手掌部に写し出される温度変化をビデオ形式で測定する。

まず、気流発生 5 秒前にミストを発生させる。気流発生開始から 50 秒間、ミストをユーザーの手掌部への空中輸送を 50 秒間継続する。その後、超音波フェーズドアレイのスイッチを切り気流を停止させる。その 30 秒後に測定を終了する。

図 4 から、サーモグラフィーカメラ撮影された様子を示しており、温度変化の測定対象の領域は円内の部分であり、その領域における温度の最小値を測定した。

3.3 測定結果

前節の測定方法に従い、ミストがユーザーの手掌部に冷却したときの温度変化の様子を図 5 に示す。測定開始からの経過時刻を t [秒] とすると、気流が発生したのは $t = 10$ 秒である。図 5 はミストによって、 $t = 5, 15$ 秒の冷却された様子を表したものであり、気流の発生前と発生後の冷却された様子を示している。この結果から、まず、ミス

トが収束され、手掌部の表面に照射された位置にコールドスポットができていたのが見られた。

測定された手掌部の温度変化を図 6 に示す。横軸は測定開始からの経過時間、縦軸は温度を示す。気流が発生して 3 秒後に急な温度の低下が見られ、50 秒間で 4.8~5.4°C 低下している。これは、[8]で行ったミストによる冷却効果の結果より高いことが示された。本稿の設計されたシステムでは、ミストの生成量が制御でき、ホースからのミストの排出による流れの発生が抑制され、空中にある程度の浮遊ができる。従って、超音波ビームから発生した気流への相殺の影響が少なくなり、効率よくミストを空中輸送しやすく冷却がしやすいと考えられる。一方で、気流停止後については、[8]では低温状態を維持する傾向がみられたのに対し、初期温度に戻りつつあることがわかった。これは、システムの性能としてミストによる水滴が手掌部に残留することの抑制が示唆されていると考えられる。

4. おわりに

本稿では、これまでに行ったミストによる冷覚提示において、ミストの生成量が制御できるシステムを加えることで冷却効果を高めるシステムを提案した。実際にシステムのプロトタイプを試作し、そのシステムからユーザーの手掌部の温度変化を測定した。結果的に、今回設計されたシステムを用いた場合が冷却効果として高いことが示された。また、気流停止後に低温状態を維持して初期温度に復帰しにくかったときの改良が見られた。

今後の課題は、主にミストによる冷覚提示によって「冷たさ」が感じられるときの心理物理実験を行う。また、ミストの発生量と超音波ビームの強度に対する相互関係からの冷却効果との定量的関係についての解明する研究を行う。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 16H06303 と JST CREST JPMJCR18A2 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] R. Wettach, C. Behrens, A. Danielsson, and T. Ness, "A thermal information display for mobile application," Proc. In in MobileHCI '07, pp. 182-185, 2007.
- [2] G. G. Yang, K. Kyung, M. A. Srinivasan, and D. Kwon, "Quantitative tactile device with pin-array type tactile feedback and thermal feedback," Proc. IEEE ICRA '06, pp. 39173922, 2006.
- [3] K. Sato, and T. Maeno, "Presentation of Rapid Temperature Change Using Spatially Divided Hot and Cold Stimuli," J. Robotics and Mechatronics, vol. 25, no. (3), pp. 497-505, 2013.
- [4] K. Sato, "Augmentation of Thermal Sensation on Finger Pad using Stimuli for Finger Side," EuroHaptics2016, pp. 371379, 2016.

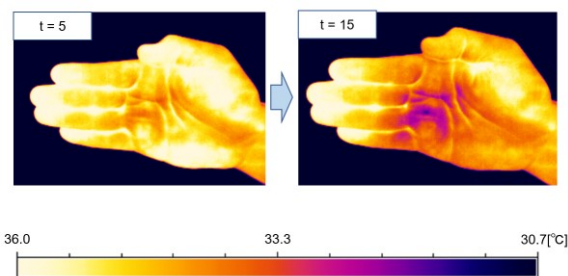


図 5: サーモグラフィーカメラで撮影した手掌部の温度変化の様子

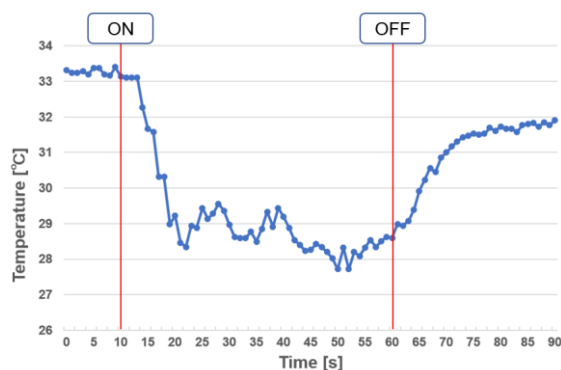


図 6: 手掌部での温度変化

- [5] S. Saga, "Thermal-Radiation-Based Haptic Display - Laser-Emission-Based Radiation System -," Asia Haptics 2018, Live Demo Presentation, Incheon, Korea, Nov. 14-16, 2018.
- [6] J. Xu, Y. Kuroda, S. Yoshimoto, O. Oshiro, "Non-contact Cold Thermal Display by Controlling Low-temperature Air Flow Generated with Vortex Tube" IEEE World Haptics Conference 2019, Technical Papers, Oral session 1B (TP1B.23), Tokyo, Japan, Jul. 9-12, 2019.
- [7] Mitsuru Nakajima, Keisuke Hasegawa, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda: Remotely Displaying Cooling Sensation via Ultrasound-Driven Air Flow, IEEE Haptics Symposium 2018, pp.340-343, Oral Session 7B (Technical Papers), 25-28 March, San Francisco, California, USA, 2018.
- [8] Mitsuru Nakajima, Keisuke Hasegawa, Yasutoshi Makino and Hiroyuki Shinoda: Remotely Displaying Cooling Sensation Using Ultrasound Mist Beam, Asia Haptics 2018, Live Demo Presentation, Incheon, Korea, Nov. 14-16, 2018.
- [9] M. F. Hamilton and D. T. Blackstock, Nonlinear Acoustics. Academic Press, San Diego, 1998.
- [10] S. Nomura, K. Murakami, and Y. Sasaki, "Streaming Induced by Ultrasonic Vibration in a Water Vessel induced by ultrasonic vibration in a water vessel," Jpn. J. Appl. Phys. Volume vol. 39, Part no. 1 (, Number 6A), pp. 3636-3640, 2000.

[11] K. Hasegawa, L. Qiu, A. Noda, S. Inoue, and H. Shinoda,
“Electronically Steerable Ultrasound-Driven Long
Narrow Air Stream steerable ultrasound-driven long
narrow air stream”, Applied Appl. Physics Phys. Letters.,

vol. 111, no. Issue 7, Vol. 111, pp. 064104, 2017.