



非接触な冷覚刺激による注意喚起システム

Alert System by Noncontact Cold Tactile Stimulation

小丹枝涼哉¹⁾, 中島允¹⁾, 神垣貴晶¹⁾, 水谷沙耶²⁾, 藤原正浩^{1,2)}, 牧野泰才^{1,2)}, 篠田裕之^{1,2)}

Ryoya ONISHI, Mitsuru NAKAJIMA, Takaaki KAMIGAKI, Saya MIZUTANI, Masahiro FUJIWARA,

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, onishi@hapis.k.u-tokyo.ac.jp)

2) 東京大学 情報理工学系研究科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

概要: 人に注意喚起する際は視聴覚が用いられることが多い。しかし、感知できない状況も少なからず存在する。本稿では、そのような状況でも有効な触覚による注意喚起システムを提案する。このシステムは2つの段階で構成される。まず、空中超音波とミストを用いて、顔面に非接触で冷覚を提示することで注意喚起する。次に、移動する冷点に追従するよう顔の向きを変えさせ、注意物体を認識させる。

キーワード: 冷覚, 空中超音波, 注意喚起

1. はじめに

危険な状況にいる人への注意喚起は事故防止に必要な不可欠である。例えば、歩行者に線路や工事現場などの立ち入り禁止区域の存在を知らせたり、車のドライバーに歩行者や道路標識を認識させることで事故を未然に防ぐことができる。また、VR空間に没入している人に現実世界の危険を伝えることも必要となっている。これまでの注意喚起は、標識や警報など視聴覚を用いた方法が主であったが、これらの方法では注意喚起が困難なケースが存在する。例えば、標識が視界の外にある場合や、イヤホンの装着や騒がしい環境が原因で警報が聞こえない場合である。また、視覚や聴覚に障害を持った人への効果的な注意喚起の手法も求められている。

視聴覚以外の注意喚起を行う方法として、触覚を用いた手法がある。例えば、リストバンド型デバイスを用いて手首に触覚を与えたり [1]、ヘッドマウントディスプレイに搭載した振動子により触覚を付与する手法が提案されている [2]。これらの手法は、視聴覚による注意喚起の課題を解決できるが、ユーザーはデバイスを装着する必要がある。

非接触な触覚刺激 [3][4] であれば、ユーザがデバイスを装着することなく、不特定多数の人に対して注意喚起が可能である。ただし、非接触型デバイスによる提示力は一般的に上記接触型デバイスに比べて小さく、服などの遮蔽物越しに触覚提示を行うことは困難である。そのため、肌の露出部、例えば、額や眉間などの顔面が刺激部位に適している。

顔面へ非接触で触覚提示を行う手法はこれまでに幾つか提案されており [5][6]、最も実用的な手法に空中超音波を用いた手法がある。空中超音波を顔面に照射し、振動覚を提示することで、注意喚起できること [7] や左右方向を知覚させられること [8] がこれまでの研究で確認されている。

本研究ではこれとは異なる刺激、すなわち、空中超音波を用いた冷覚提示により注意喚起する手法を提案する。また、これまでの研究では注意喚起させたい方向に顔を向けさせることは行われていなかったが、本研究では、触覚刺激点を移動させることで所望の方向に顔を向けさせる手法についても提案する。これにより注意物体を認識させることが可能となると考える。

2. 提案手法

本研究では、空中超音波およびミストを用いて、額に冷覚を提示して注意喚起する手法を提案する。提案システムは図1のように空中超音波フェーズドアレイ (Airborne Ultrasound Phased Array : AUPA) およびミスト放射口により構成さ

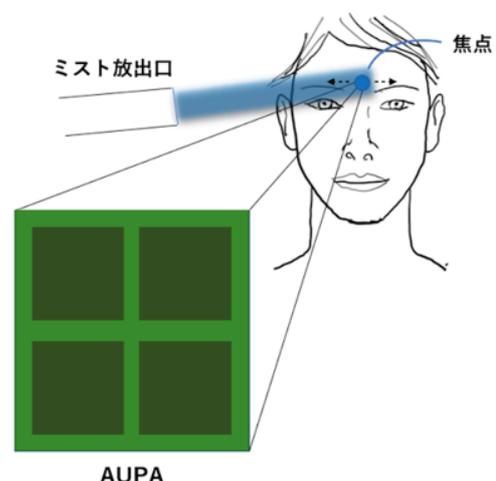


図 1: 冷覚の提示方法

れる。AUPA は、各振動子の適切な制御により空間中の任意の位置に焦点を形成でき、高い時間分解能で移動させることができる。AUPA の生成する焦点での音響放射圧により振動覚を提示したり [4]、焦点位置のミストを気化し気化熱を奪うことで冷覚を提示することができる [9]。変調方法やミストの濃度を変えることで額の上に様々な振動覚や冷覚を提示することで注意喚起を行う。また、移動する触覚刺激点を額中心に置き続けるよう追従させることで顔の向きを変えさせることが可能となる。

3. 実験

実験システムは図 2 のように 40 kHz の超音波振動子 (TA4010A1, NIPPON CERAMIC CO., LTD.)249 個から構成される AUPA[10]4 台と、ミスト放射口、目盛りにより構成されている。なお、目盛りは中心を 0 とし、右方向を正として 5 cm 間隔で記してある。被験者は安全のため保護メガネとヘッドフォンを装着した。顔面には 200 Hz 程度の周波数の振動をよく知覚するパチニ小体が存在せず、10～50 Hz の周波数の振動をよく知覚するマイスナー小体が存在する [11]。そこで本実験では 40 Hz で振幅変調した超音波を振動覚刺激として用いた。また冷覚刺激については最も急峻に温度を下げるのが可能である無変調超音波を用いた [9]。AUPA と焦点間の距離は 45 cm に設定した。

3.1 反応時間の比較

3.1.1 手順

まず、振動覚と冷覚それぞれの刺激への反応時間を比較することにより、注意喚起としての有効性について調べる。被験者は、26～28 歳の男性 3 名であり、全員が本稿の著者に含まれている。まず、AUPA やミスト発生装置の駆動音が聞こえないようにヘッドフォンからホワイトノイズを流した。注意喚起が必要な場面では、人は何かに集中していることが多い。そこで、その状況に近づけるために被験者には N バックタスクを課した [12](N=2)。今回は 2 つ前の画面に表示された記号の個数を回答するというタスクを選んだ。タスクをはじめて 15 秒以上経過したのちに、ランダムな時間間隔で額に触覚を提示し、触覚を感じたらキーを入力してもらった。振動覚と冷覚を用いて、それぞれ 5 回ず

つ上記の試行を行った。本実験では、刺激が提示された瞬間から被験者がキー入力するまでの時間を反応時間として計測した。

3.1.2 結果

振動覚と冷覚に対する平均反応時間はそれぞれ (694.5, 575.6) ms であった (図 3)。また図中のエラーバーはそれぞれの標準偏差 (192.8, 143.3) ms を表している。得られた結果を Welch の t 検定を用いて比較した。2 つの反応時間に有意差はみられなかったが ($p = 0.075$)、冷覚の方が反応時間が短い傾向にあることが確かめられた。本実験では被験者の刺激検出率は 100 % であった。また実験を通して、最も遅い反応時間は振動覚で 1154 ms、冷覚で 962 ms であった。

3.1.3 考察

タスク中の刺激検出率が 100 % であったことから、振動覚だけでなく冷覚も注意喚起として有効に働くと考えられる。次に冷覚の反応時間について考察する。例えば、運転中のドライバーがクラクションに反応しブレーキペダルを踏むまでの時間の中央値が 660 ms であることが確かめられている [13]。タスク中の冷覚の反応時間の中央値が 553 ms であったことから、聴覚刺激では注意喚起が間に合わない場合でも冷覚刺激により事故を防ぐことができる可能性がある。また、振動覚と冷覚で反応時間にわずかな差がみられたのは、それぞれの知覚特性が異なることに起因すると考えられる。寒い部屋では冷覚が感じにくくなるなど、室温などの環境条件によって反応時間が左右されることも考えられる。本実験の結果には被験者数が少ないために個人差が大きく影響してしまっている可能性がある。そこでより確かな知覚傾向を得るため、今後被験者数を十分に増やして検証する必要がある。

3.2 顔の方向誘導

3.2.1 手順

次に、振動覚と冷覚により顔の方向を誘導できるかを確認する。被験者は実験 3.1 と同様である。まず額中心に振動覚と冷覚の焦点を提示し、視界中心の目盛りの値が 0 となるように顔の初期位置を指定した。ランダムに設定した時間が経過した後に、焦点位置を左右方向に移動させた。焦

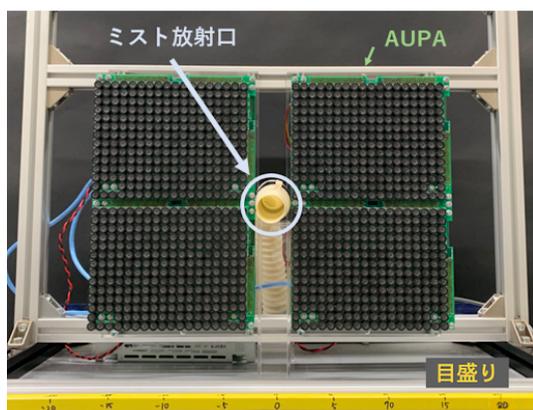


図 2: 実験セットアップ

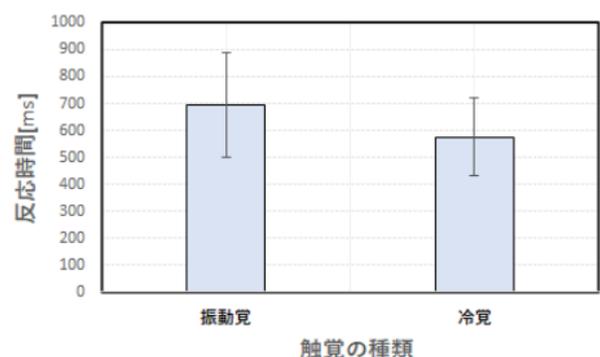


図 3: 反応時間の比較

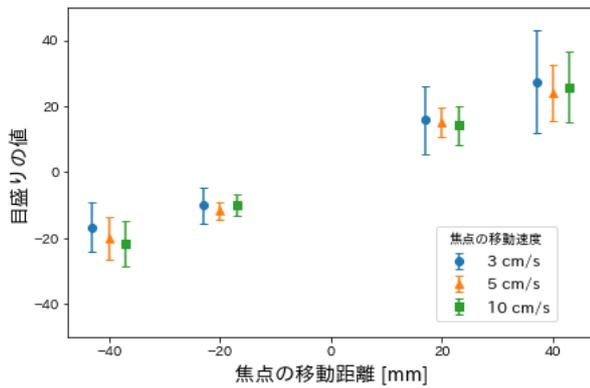


図 4: 振動覚の結果

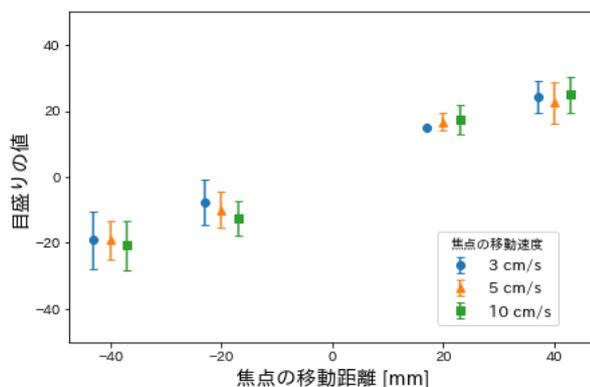


図 5: 冷覚の結果

点が顔中心に位置し続けるよう追従することで、顔の向きを変えてもらった。被験者は焦点の移動が止まったところで正面にある目盛りの値を回答した。振動覚と冷覚それぞれにおいて、焦点を速度 (3, 5, 10) cm/s, 距離 (-4, -2, +2, +4) cm で移動させた。つまり、それぞれ合計 12 パターンの移動する触覚刺激をランダムに提示した。この試行を各被験者 2 回ずつ行った。

3.2.2 結果

振動覚を用いた結果を図 4 に示し、冷覚を用いた結果を図 5 に示す。刺激の種類、速度にかかわらず概ね所望の方向を向かせることができていることがわかる。どちらの刺激の場合でも、焦点の移動距離に対して、左側より右側の方が顔の向きの変化が大きいことも確かめられた。また速度ごとの目盛りの平均値がほとんど変わらないため、速度による追従能力の差がないことがわかる。振動覚では焦点の移動距離の絶対値が大きくなるほど、標準偏差が大きくなる傾向がみられた。データ点数が不十分なため検定による評価はできないが、傾向として冷覚の方がばらつきが小さいと言える。

3.2.3 考察

結果より、振動覚や冷覚により注意物体のおよその方向を示すことが可能であると考えられる。今後はどの程度の速さまで追従できるかや、顔の向きをどの程度正確に誘導

できるかを調査する。また、追従能力の左右差に関しては、焦点と目盛りの相対位置関係に数 mm の誤差があったことが要因の一つと考えられる。そこで、実験設計を改めて、本当に左右で異なる特性があるかどうかを検証する必要がある。また、振動覚よりも冷覚の方がばらつきが小さいことから、触覚の種類によって追従のしやすさが異なることが想定されるため、顔の向きの誘導に最適な触覚を探すことも課題となる。

4. まとめ

本稿ではミストと空中超音波を用いた非接触な冷覚刺激による注意喚起の手法を提案した。実験により、冷覚は振動覚と同様もしくはそれ以上に機能することが示唆された。そこで、2 つの異なる触覚により注意レベルを変化させたり、環境に合わせた適切な注意喚起が可能であると考えられる。また注意物体を認識させるために顔の向きを所望の方向へ向かせることが可能であることも確かめられた。今後は被験者数を増やし、様々な条件下での反応時間や追従能力を比較することで冷覚刺激の注意喚起としての有効性を検証する。本システムの実用化として、歩行者や車の運転手への注意喚起のほかにも、VR 空間に没入している人へ現実世界の危険を伝える手段などが考えられる。

参考文献

- [1] Lee, Seungyon Claire, and Thad Starner. "BuzzWear: alert perception in wearable tactile displays on the wrist." *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. 2010.
- [2] Kaul, Oliver Beren, and Michael Rohs. "Haptiched: 3d guidance and target acquisition through a vibrotactile grid." *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. 2016.
- [3] Gupta, Sidhant, et al. "AirWave: non-contact haptic feedback using air vortex rings." *Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing*. 2013.
- [4] Hoshi, Takayuki, et al. "Noncontact tactile display based on radiation pressure of airborne ultrasound." *IEEE Transactions on Haptics* 3.3 (2010): 155-165.
- [5] Sato, Yuka, and Ryoko Ueoka. "Investigating Haptic Perception of and Physiological Responses to Air Vortex Rings on a User's Cheek." *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2017.
- [6] Rietzler, Michael, et al. "VaiR: Simulating 3D Airflows in virtual reality." *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2017.
- [7] Mizutani, Saya, et al. "Thresholds of Haptic and Auditory Perception in Midair Facial Stimulation."

2019 IEEE International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE).
IEEE, 2019.

- [8] Gil, Hyunjae, et al. “Whiskers: Exploring the use of ultrasonic haptic cues on the face.” *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2018.
- [9] 中島 允, 長谷川 圭介, 牧野 泰才, 篠田 裕之, “収束焦点を用いた遠隔冷覚提示,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 論文集, No20-2, 2P1-M03(1)-(3), 金沢, May 27-30, 2020.
- [10] Inoue, Seki, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda. “Scalable architecture for airborne ultrasound tactile display.” *International AsiaHaptics conference*. Springer, Singapore, 2016.
- [11] Siemionow, Maria Z., Bahar Bassiri Gharb, and Antonio Rampazzo. “The face as a sensory organ.” *The Know-How of Face Transplantation*. Springer, London, 2011. 11-23.
- [12] J. D. Cohen, W. M. Perlstein, T. S. Braver, L. E. Nystrom, D. C. Noll, J. Jonides, and E. E. Smith, “Temporal dynamics of brain activation during a working memory task,” *Nature*, vol. 386, pp. 604–608, 10 April 1997.
- [13] Johansson, Gunnar, and Kåre Rumar. “Drivers’ brake reaction times.” *Human factors* 13.1 (1971): 23-27.