

疑似痛覚を用いた身体機能拡張に関する研究

A study on the expansion of physical functions using pain-illusion

岸 大貴[†]
Hiroki Kishiピトヨ ハルトノ[†]
Pitoyo Hartono

1. はじめに

本研究は疑似痛覚を用いて遠隔地での空間の状況を感知するための身体拡張インターフェースの開発を目的とする。

近年 Virtual Reality (VR)技術が盛んに研究され、実応用の例も増えてきた。VR 技術では人間の五感に刺激を与え、仮想的な臨場感を生成し、人間の物理的な状況と異なる現実を作り出す。VR でよく用いられるのは触覚インターフェースであり、研究も盛んに行われている。しかし人間の皮膚感覚には、機械的変形を伝える触覚、温度感覚、その一種ともいえる痛覚で構成されており[1]、温度感覚や痛覚に関しての研究は必ずしも多くはなく、VR や新しい Human Machine Interface(HMI)においては多くの可能性をもつ。

温度感覚に関してこれまでの研究では、小野ら[2]は、首へのペルチェ素子による熱刺激で、VR 体験者に仮想空間上で方向の提示を行った。従来の VR 環境は視覚・聴覚のみであったが、それに加え新しい感覚を取り入れることで、体感する臨場感の向上を目的とした。この研究では VR 空間内で視認したオブジェクトと対応した首の部分を加熱させることにより、高い臨場感を生成できたことが報告された。

現実空間に仮想空間を実時間で融合する Mixed Reality (MR)技術の分野では、橋口ら[3]は、MR 型視覚刺激に同期して温度刺激を提示することで、知覚位置や知覚幅への影響に関する検証を行った。MR 型視覚刺激の提示位置と温冷覚刺激の提示位置に差が生じた場合、MR 型視覚刺激の提示位置に温冷覚の知覚位置が引きずられてしまう錯覚が生じたことが報告された。また MR 型視覚刺激の幅を変化させると、実際に提示する温冷覚の幅は変化していないにもかかわらず、知覚の幅が視覚刺激と同様に変化するような錯覚が生じたことが報告された。

人のリラクゼーションのための研究に温度感覚を与える研究もある。小林ら[4]は、ぬいぐるみに装着するタイプのロボットスーツを開発し、そのリラクゼーション効果の検証を行った。この研究では、ペルチェ素子により生物の持つぬくもりや温かさを提示できる温感機能を搭載したロボットスーツを、既存のぬいぐるみに装着し被験者に抱かせることにより、高いリラクゼーション効果をもたらしたことが報告された。

温度感覚を用いて痛覚を生起する錯覚現象である、サーマルグリル錯覚を用いた研究として吉田ら[5]は、辛味の提示に関する検証を行った。辛味の刺激には体内の中樞神経の働きを高め、食欲増進効果等の健康面における効果があるが、香辛料の過剰摂取は味覚障害や生活習慣病を引き起

こしやすくするため、香辛料を用いず辛味を提示する必要がある。この研究では、辛味が知覚神経によって熱刺激として知覚されていることに着目し、温冷刺激によるサーマルグリル錯覚を舌に生起させることで辛味が知覚されることが報告された。

本研究でも温度感覚によるサーマルグリル錯覚を利用し、それを用いた疑似痛覚によるインターフェースの開発をする。人間は痛みを感じることで危機を察知し、回避する習性をもつ。本研究では、遠隔地の状況を痛みとして伝えることで、本来人間には備わっていない遠隔地での危機感知機能を生成し、人間の身体機能を拡張することができると考えた。

本研究では仮想空間と物理空間において、痛覚を通じ空間の状況を把握できるための身体機能の拡張を目的とし、従来の研究とは異なる。ここでは、痛覚の提示を実現するための温度刺激による痛覚刺激を与えるデバイスを構築し、サイバー空間上と実環境上の両環境において初期的な実験を行い、その結果を本論文で報告する。

2. サーマルグリル錯覚(Thermal grill illusion)

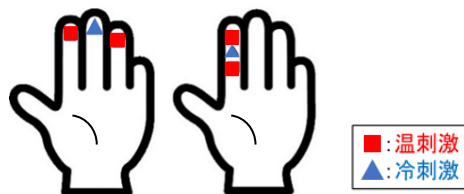


図 1 サーマルグリル錯覚のイメージ図

本研究では、疑似痛覚の生起をするためにサーマルグリル錯覚(Thermal grill illusion)と呼ばれる現象を利用する。サーマルグリル錯覚とは、図 1 に示すように温刺激と冷刺激を皮膚上の近傍へ同時に提示した際に、冷刺激部分に痛覚や灼熱感を提示することができる[6][7]錯覚現象である。この現象を利用することで、皮膚に損傷を与えない刺激温度でも痛覚の生起が可能となる。この現象を生起するための温度刺激の提示として、本研究では温度を電気制御することができる、ペルチェ素子(Peltier device)を用いる。ペルチェ素子は金属間の熱移動を利用した板状の半導体素子であり、電流を流すことで板の面の加熱と吸熱が可能となる。本研究では複数のペルチェ素子を組み合わせることでサーマルグリル錯覚を生成することができる。

3. システム概要

図 2 に示すペルチェ素子とヒートシンクから構成される痛覚提示装置を作成した。本提示装置は、ペルチェ素子を用いてマイコンによる電気制御で温度を提示する。ペルチ

[†] 中京大学 大学院工学研究科電気電子工学専攻
Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Graduate
School of Engineering, Chukyo University

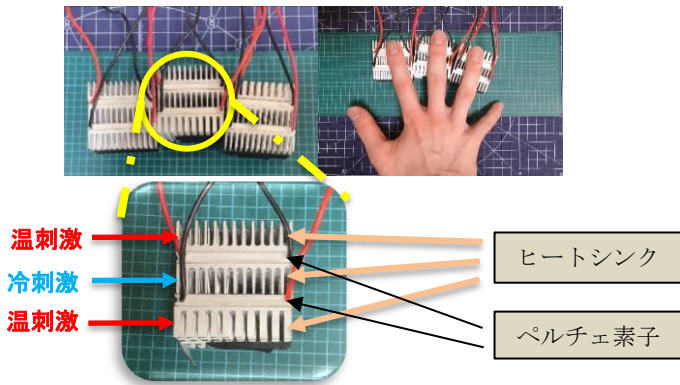


図 2 痛覚提示装置

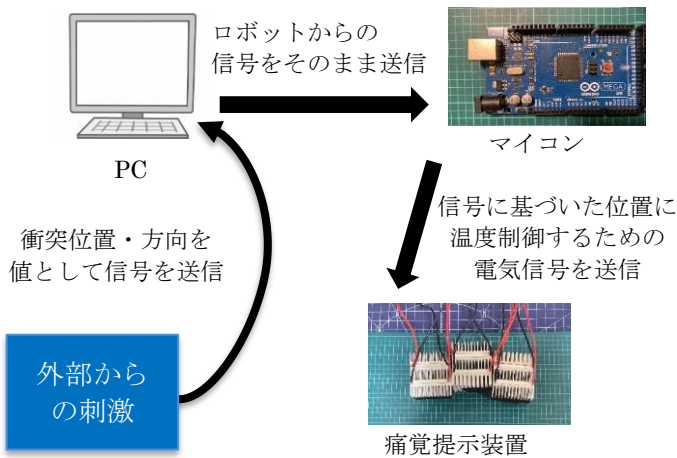


図 3 システムの概要図

ペルチェ素子から出力された温度がヒートシンクに伝わり、温刺激と冷刺激を交互に与えることによって、サーマルグリル錯覚を生起する。図 2 に示すように被験者が装置の上に指を乗せることで、サーマルグリル錯覚による疑似痛覚を提示することができる。また、ヒートシンクに熱刺激を与え続けると温度が高くなり、錯覚による痛みではなく熱傷の原因となる可能性がある。それを避けるために痛覚提示装置の上部からファンを回して風を当てることにより放熱を行う。

システムの概要を図 3 に示す。サイバー空間と実環境の両環境からの外部刺激を検知し、PC を介してマイコンに信号を送信する。受信した信号に基づいてマイコンから痛覚提示装置へ電気信号を送信する。受信した電気信号によりペルチェ素子が温度制御され、サーマルグリル錯覚を生起し、図 2 のように被験者が指を乗せることにより痛みを伝える。このシステムにより衝突した位置や方向を痛みとして伝えることができる。

4. 実験

4.1 シミュレーションによる実験

サイバー空間内の障害物を、痛覚を通じて物理空間にいる人間が感知できるかに関しての実験を行った。

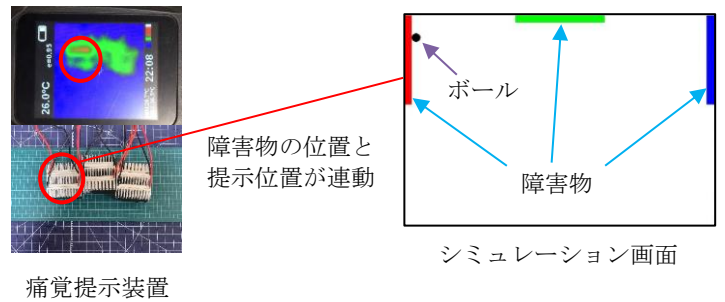


図 4 シミュレーションの様子

本実験では、図 4 に示すサイバー空間内にボール 1 つと 3 つの障害物を配置し、ボールをランダムウォークさせ、特定の障害物に衝突した際、その障害物の位置に対応した指に痛覚を生起する。実験方法は、まず被験者が図 2 に示す痛覚提示装置に指を乗せ、シミュレーションの映像を見ながらボールと衝突した障害物の位置と痛みの位置関係を関連付ける学習をする。このとき障害物の位置と痛覚提示装置から生起される痛みの提示位置が連動していることは伝えない。被験者に学習してもらったのち、シミュレーションの映像を被験者に提示せず、痛覚提示装置からの痛みで正しい衝突位置を知覚できるかに関する検証を行う。

本実験では、痛覚提示装置の立ち上がり時間を考慮し、痛みの提示は 8 秒間で行い、その間ボールは移動せず一時停止をする。被験者は約 2 分間学習を行った後、5 回の衝突位置の知覚判定を行う。本実験では 3 人の被験者に対し実験を行った。

表 1 に実験結果を示す。シミュレーションの映像を提示せずに正しく衝突位置を知覚することができた。このことからサイバー空間において、映像を見せながら衝突位置と痛覚位置の対応関係を学習することにより、映像がなくても衝突位置の把握が可能である。

表 1 シミュレーション実験の結果

障害物の衝突位置	知覚率[%]
左	100
上	100
右	100



図 5 ロボットと障害物の配置

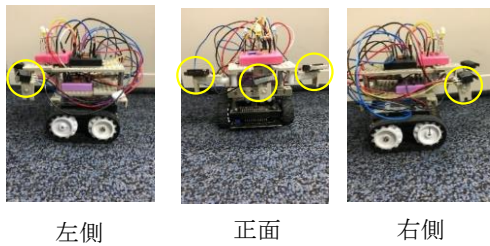


図 6 ロボットのマイクロスイッチの位置

4.2 ロボット実験

ここでは遠隔地にあるロボットが感知した障害物を疑似痛覚として伝える。それにより被験者にロボットを体の一部として錯覚させ、身体機能の拡張が実現できるかの確認を行う。

本実験では図 5 に示す障害物が配置された環境で、回避行動をとりながらロボットを走らせる。ロボットには図 6 に示すマイクロスイッチが左側、正面、右側の 3 箇所に搭載され、これにより障害物との衝突を検知できる。そのとき離れた場所にいながら Web カメラで撮影したロボットの状態を見る被験者に、ロボットが障害物に衝突した際、その衝突箇所に対応した指に痛みを発生させ、その対応関係を被験者に学習させる。シミュレーションによる実験と同様、被験者には衝突位置と痛覚提示装置から生じられる痛みの提示位置の連動性は伝えない。被験者に学習してもらったのち Web カメラの映像を提示せず、痛覚提示装置からの痛みで正しくロボットの衝突方向を知覚できるかに関する検証を行う。

ロボットは障害物に右方で衝突した場合は左回りに、左方で衝突した場合は右回りに、前方で衝突した場合には左右ランダムに回り回避行動をとる。また、この実験でも痛みの提示は痛覚提示装置の立ち上がり時間を考慮した 8 秒間で行い、その間ロボットは移動せず一時停止をする。被験者は約 5 分間学習を行った後、5 回の衝突方向の知覚判定を行う。本実験では 2 人の被験者に対し実験を行った。

表 2 に実験結果を示す。ロボットの状態を提示せずに正しく衝突方向を知覚することができた。このことからシミュレーション実験と同様に、ロボットの状態を見せながら衝突方向と痛覚位置の対応関係を学習することにより、映像がなくとも衝突位置の把握が可能である。また、シミュレーション実験よりも実験時間が長く、その間提示装置に指を乗せることにより、人によっては痛みの慣れが生じ、初期よりも痛覚が弱く感じてしまう場合があることが確認された。

表 2 ロボット実験の結果

障害物の衝突方向	知覚率[%]
左	100
正面	100
右	100

5. 結論と今後の課題と展望

本研究では、温度刺激による錯覚現象であるサーマルグリル錯覚を用いた疑似痛覚を生起し、人間の習性を利用した新しいインターフェースの開発をした。シミュレーションによる実験においては、痛みを与えることでボールの衝突位置を把握することができた。実環境においては遠隔地にあるロボットを体の一部として知覚させることに成功した。このことから、サイバー空間、実環境とどちらの環境においても、本来人間には備わっていない遠隔地での危機感知機能を生成し、人間の身体機能を拡張することができた。

今後の課題として、本研究では痛覚提示装置が設置型であったが、持ち運びできるような実用性のある装置の改良を行い、実社会でも導入可能となるようなシステムを検討している。

本研究で開発した身体機能拡張システムを用いることで遠隔操作ロボット、医療シミュレーションなどの新しいヒューマンマシンインターフェースの提案と、痛みと行動における生物学、認知科学、エンターテインメントに対し新しい知見の創発を目指す。

参考文献

- [1] 渡辺亮, "温度感覚がもたらす運動・感覚作用の医療福祉への応用", 電気通信大学大学院情報理工学研究科修士論文, (2017)
- [2] 小野龍一, 伊藤亘輝, 羽田久一, "首への熱刺激による VR 被験者への方向提示の提案", エンタテインメントコンピューティングシンポジウム, pp.220-223, (2018)
- [3] 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子, "複合現実型視覚刺激が温冷覚に与える知覚位置・知覚幅に与える影響", 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol.21, No.3, pp.503-511, (2016)
- [4] 小林真由, 岡本華奈, 大川茂樹, "温感機能及び呼吸誘導機能を搭載したぬいぐるみ装着型リラクゼーションロボットスーツの開発と評価", 千葉工業大学研究報告, No.62, pp.61-68, (2015)
- [5] 吉田圭佑, 小川剛史, "サーマルグリル錯覚を用いた辛味提示手法に関する検討", 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol.23, No.3, pp.189-196, (2018)
- [6] Craig A D, and Bushnell M C, "The thermal grill illusion: Unmasking the burn of cold pain", Science, 265, pp.252-255, (1994).
- [7] Lindstedt F, Johansson B, Martinsen S, Kosek E, Fransson P, et al. (2011) Evidence for Thalamic Involvement in the Thermal Grill Illusion: An fMRI Study. PLOS ONE 6(11): e27075. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027075>