

温冷感で情動制御を目指すゲームコントローラの作成

水口 充^{1,a)}

概要: 身体的な変化の知覚が情動となるというソマティック説, あるいは中核的關係主題は身体的反応を通じて評価されるとする身体的評価説に基づけば, 温冷感の呈示により体験者の興奮状態や安静状態を引き起こし, コンテンツ本体と連動することで様々な情動の誘発を支援できると予想する. 我々はこれまでにゲーム状況に応じて温冷感を呈示する実験を行い, 情動の変化を誘発する可能性, および温冷感呈示を扱う上での課題点を調査してきた. より詳細な評価実験を行い応用を探索するために, 呈示温度を動的かつ微細に変更できるゲームコントローラを制作し, 連動するコンテンツを試作したので報告する.

1. はじめに

多くのエンタテインメントコンテンツでは主に視覚と聴覚を通じて体験者の情動を引き起こしている. 一方で近年の Virtual Reality 技術の進展により力触覚を始め様々な感覚の利用が実用化され, 応用事例も増えてきている. 力触覚表現で最も普及しているものに振動がある. 匂いは, 要素的な匂いは不明であるため任意の匂いを任意のタイミングで合成するには至っていないが, 予め作成した匂いを視聴覚コンテンツに合わせて流すことは可能であり, 4DX 映画館など身近な存在となってきた. 味覚は様々な手法による技術が提案されてきており, 実用化が期待されている.

このように様々な感覚を扱う技術が開発・応用されているが, 温冷感に関しては実用化された事例は多くはない. 触れた物体の温度を感じさせることによって産み出される体験が現時点ではあまり見いだされていないことは一因として考えられるが, 様々なコンテンツの試行を通じて今後活用される可能性はある. また, サーマルグリル錯覚を利用して痛覚刺激として利用する応用も模索されている.

一方で, 身体的な変化の知覚が情動となるというソマティック説, あるいは中核的關係主題は身体的反応を通じて評価されるとする身体的評価説に基づけば, 温冷感の呈示により体験者の興奮状態や安静状態を引き起こし, コンテンツ本体と連動することで様々な情動の誘発を支援できると予想する. 我々はこれまでにペルチェ素子を用い, ゲーム状況に応じて温冷感を呈示する実験を行い, 情動の変化を誘発する可能性, および温冷感呈示を扱う上での課題点を調査してきた.

これまでの調査は可能性を探索するために予備実験的に行ってきたが, 定量的な評価実験を行う必要がある. また実用的なシステムを構築し応用を探索する必要もある. この目的のために, 呈示温度を動的かつ微細に変更できるゲームコントローラ*1システムを制作し, 連動するコンテンツを試作したので報告する.

2. 温冷感呈示と情動

情動と身体の関係においては様々な説があるが, ジェームズとランゲによるソマティック説においては「悲しいから泣くのではない, 泣くから悲しいのだ」というように, 身体状態を知覚することで情動となるとしている. 更にプリンツは身体的評価説において, 中核的關係主題は身体的反応を通じて評価される, すなわち知覚対象の表面的な特徴により特定の身体状態を発生させるが, その身体状態を通して本質的な関係を捉える心的状態が情動であるとしている.

これらの説に基づけば, 身体的反応を引き起こす外部からの刺激によって情動を制御できる可能性がある. 温冷感に関しては皮膚温が情動と関連していることが知られている. 情動ストレスに応じて自律神経系活動によって血流量が変化するためであり, 特に鼻部皮膚温度に顕著に現れることが知られている. 渡邊らは鼻部皮膚への温度刺激を通じて緊張感を制御し作業能率の向上効果を検証している [1].

また, 従来の各種感覚を扱う技術においては, 実際に知覚される感覚を正確に再現することを目指しているものが多いが, 一方で情動の制御のためには表象, すなわち過去

¹ 京都産業大学情報理工学部

a) mmina@acm.org

*1 最近ではパッドと呼ばれるようになってきたが, 本稿ではコントローラと表記する.

の経験あるいは想起される感覚の象徴として扱うことも有効である。例えばゲームコントローラの振動機能は手先へ刺激を与えるが、ゲーム内キャラクターが足に打撃を受けた際に掌に振動を感じるといったようにコンテンツの内容と乖離していることも少なくない。しかしプレイヤーが一種のリアリティを感じるのは表象の効果であると考えられる [2]。温冷覚刺激においても、例えば「手に汗握る」「背筋が凍る」といった表現から体験者が想起することで、現実的には生じない温度変化であっても情動に影響する可能性がある。

我々はこれまで、温冷覚刺激による情動制御手法について提案し、効果を検証してきた。まず、スロットゲームと連動して当たりそうな状態の時に温感呈示するシステムを試作し、情動制御の可能性を模索した [3]。また、ゲーム映像に合わせて温感呈示を行い、楽しさ、面白さ、緊張に関して効果があることを確認した [4]。冷感による情動制御については、「だるまさんが転んだ」をモチーフにした緊張感や驚きを含むホラーチックなゲームを制作し、ゲームの時間経過に応じて冷感呈示を行うことで、温感呈示に比べて焦りや緊張感が増すことを確認した（未発表）。

このように温冷覚刺激により情動を制御できることを検証したが、これまでの研究で次のような課題が明らかになった。

コンテンツと動的に連動する温度制御 これまでの実験では温冷感呈示の効果を検証するために呈示温度の制御を固定的に行った。動画などの受動的に視聴する固定的なコンテンツと連動する際には温度変化パターンを事前に設計することができるが、ゲームなどの能動的に関わる動的なコンテンツの場合、ゲーム内の状況に合わせて温度制御する必要がある。

微細な温度制御 これまでの実験を通じて、温冷感の感じ方は個人差が大きいことが分かった。加えて使用時の室温、使用に伴う馴れなどの要因にも対応する必要がある。また、先行研究では呈示温度を確実に感じられる程度に設定しているものが多いが、知覚しにくい程度の温度の効果や、呈示温度の高低による効果の違いについて検証する必要がある。

実利用環境に近いデバイス 情動による温度変化が顕著であるとされる鼻部への温冷感呈示が効果的と考えられるが、貼付や着用の手間や重量による疲労の問題がある。マウスやゲームコントローラなどの操作デバイスに温冷感呈示機能を組み込みたい。

3. 関連研究

馬場らはペルチェ素子を組み込んだゲームコントローラを作成した [5]。温冷感を感じるまでの時間を検証し、温冷感呈示のタイミングに合わせたペルチェ素子駆動のタイミングの指針を示した。また、温感呈示を手がかりとする

ゲームなどを試作し、ユーザを観察して有効性を確認した。

櫻井は温感と水蒸気を呈示することで擬似的に「手に汗を握る」状態を作り出す Emotional Controller を開発した [6]。生理的刺激を通じて情動を制御するコンセプトは本研究と共通している。

宗森らは市販のゲームパッドにペルチェ素子とヒートシンクを貼り付けたサーモアクターを作成し、これを利用した温度刺激と表情アイコンで感情を伝達するシステム Ther:com を開発した [7]。この研究は温冷覚をコミュニケーション手段として扱っている点が特徴的である。

4. ゲームコントローラシステムの実装

前述の課題に対応するために、次の方針で温冷感呈示機能を有するゲームコントローラを作成することにした。

1. PC から指定した温度に制御可能
2. できるだけ細かな温度設定が可能
3. PC および市販ゲーム機に接続可能

1と2に対応するためには、温度計測をし目標温度に近づけるよう H ブリッジ回路で PID 制御すればよい。このためにクラッグ電子社製ペルチェコントローラ PLC-24V10AL を使用した。この製品は 0.1℃単位で目標温度を設定することができ、シリアル通信で PC と接続可能である。

3に対応するために、温冷感呈示デバイスを市販のゲームコントローラに外付けする構造とした。この方法はゲームコントローラの改造や分解・再構成の手間が不要であるメリットがある。重さや大きさが嵩むという問題があるので、サードパーティ製の小型のものを使用することにした。

図 1~4 は作成したゲームコントローラシステムの概観および内部構造である。この図では市販のゲームコントローラとして 8BitDo Lite 2 を使用している。ケース上部のアタッチメントを変更することで他のゲームコントローラにも対応可能である。温冷感呈示デバイスの大きさは幅 150mm、奥行き 50mm、高さ 23mm である。温冷感呈示デバイスとゲームコントローラを合わせた重量は約 190g であり一般的なゲームコントローラと比較しても重くない*2。なお、重量は使用する主にゲームコントローラ、銅板の大きさと厚み（現在は 6mm のものを使用）により変動する。

ペルチェ素子はジーマックス社製 FPH1-3106N を使用した。底面の銅板は温冷感呈示デバイスを把持したときに両手の薬指と小指が自然に触れる位置に配した。馬場は冷覚を感じやすい手掌部に接するよう両側面にペルチェ素子を配している [5]。我々は構造を単純とし温度制御しやすいよう単一のペルチェ素子を底面に配することにした。呈示温度に応じた必要熱量や熱伝導の遅延に問題がなければ銅板を側面まで伸ばして配置することも考えられる。

図 5 は温度制御時の温度変化の例である。クラッグ電子

*2 Nintendo Switch Pro コントローラは約 246g、PS5 DualSense は約 280g、Xbox Elite Controller 2 は約 340g。



図 1 温冷感呈示機能を有するゲームコントローラシステム。

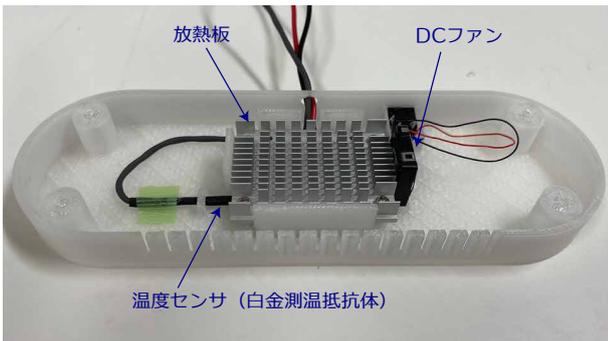


図 2 温冷感呈示デバイスの内部。放熱板の下に熱伝導ゴムを挟んでペルチェ素子が配置されている。この上に市販ゲームコントローラを取り付けるアダプタを被せる。

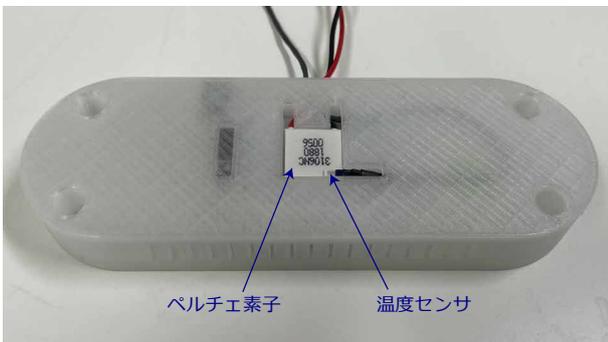


図 3 温冷感呈示デバイスの下側の構造。

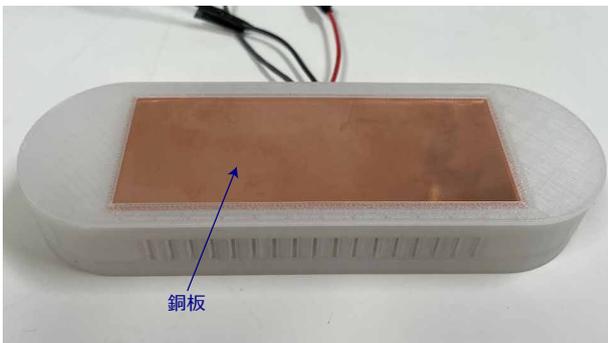


図 4 温冷感呈示デバイスの下側。ペルチェ素子に熱伝導ゴムを挟み銅板を貼り付けカバーを被せた。

社製制御用ソフトウェアを使用し、適宜設定温度を手動で変更した。図中、赤色の線は設定温度、緑色の線は測定温度である。室温 25℃ の環境で一定時間ゲームコントローラを把持した 33.6℃ の状態から温度制御を開始し、34℃～37℃ の範囲の設定温度を変動させた。ペルチェ素子の印加電圧は 1.5V とし、この例では現在温度と設定温度の差が最大の時に 500mA 程度の電流が流れた。図からも分かるように設定温度変更時に、現在の温度から設定温度までの温度差の 1 割程度手前の温度まで瞬時に近づき、その後数十秒程度かけて設定温度となる。図 3 のように温度センサはペルチェ素子表面に配置しており、実際に指が触れる位置が設定温度に達するまでには銅板の熱伝導率や熱容量に応じた遅延が発生する。このため、瞬間的な温冷感呈示には対応できないが、マクロ的なゲーム状況の変化に応じた温冷感呈示といった目的であれば十分速やかに追従できる。

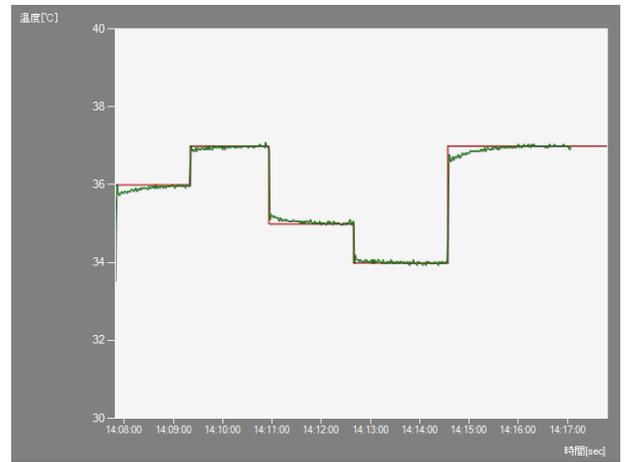


図 5 温度制御時の温度変化の例。

5. アプリケーションソフトウェアの実装

本研究の当初の目的である、定量的な評価実験に使用するためのアプリケーションソフトウェアを作成している。

コンテンツとしては体験者が能動的に関わるものとしてゲームを扱うことにした。プレイヤースキルが過度にばらつかず、プレイ中に緊張と緩和が入り交じり、瞬間的にゲーム状況が変化するのではなく一定時間持続する内容を検討し、障害物に触れないように自機をゴールまで移動させるゲーム*3を題材とした。このゲームを Processing で、Game Control Plus ライブラリを使用して開発している。

図 6 はゲーム画面例である。中央の大きな円がスタート地点、中央下の大きな円がゴール地点で、一本道の経路で結ばれている。プレイヤーはアナログスティックを操作して自機（小さな色付きの点で表示される）を移動させる。アナログスティックの傾き量に応じた自機の移動速度はゲームコントローラ上部の左右ボタンで 4 段階に増減できる。

*3 イライラ棒やバズワイヤーという名称で知られているゲーム。

現在の移動速度は自機の色および画面左上の表示で確認できる。経路の途中には移動する障害物が設置されている箇所がある。壁や障害物に自機が触れた場合はペナルティとして、直前のブレイクポイントまで自機が戻され5秒間操作不能になる。

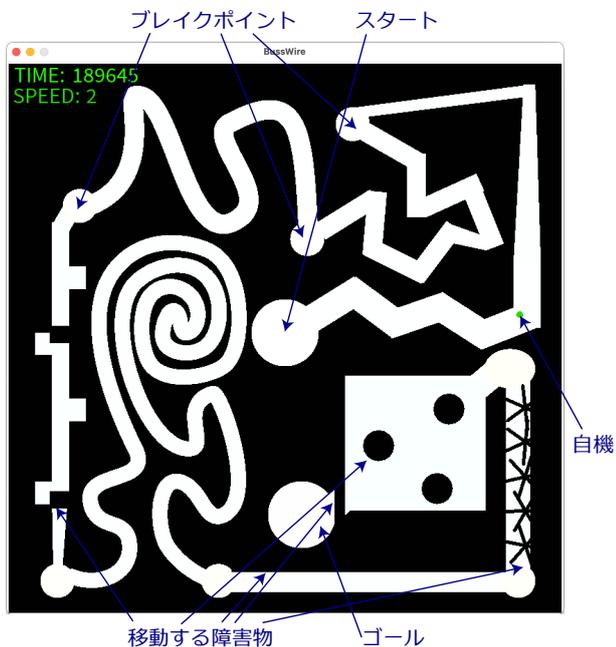


図 6 ゲーム画面.

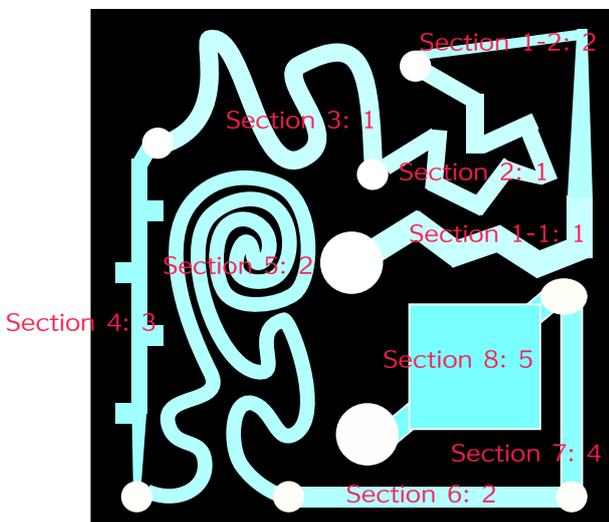


図 7 難易度設定. 図中のラベルの : の左側は区間番号、右側は難易度 (大きいほど難しい). 区間 1 のみブレイクポイントを挟まずに難易度の異なる区間として設定した.

著者を含めた数名でプレイテストを行い、持ち時間と区間ごとの難易度を設定した。持ち時間が0になるとゲームオーバーである。図7に区間ごとの難易度を示す。この図では各区間の難易度ごとの色を差異が分かる程度に強調して描いているが、実際には識別できない程度の色の違い (RGB の B の値で 254~250) としている。自機の位置の

カラー情報に応じて呈示温度を変更するようにしている。例えば難度が高いほど呈示温度を高くする条件であれば、B の値に応じて呈示温度を上昇させる。呈示温度の条件としては、難度に応じて上昇あるいは下降、経過時間に応じて上昇あるいは下降、一定間隔でランダムに変化、を検討している。

ところで本研究の目的からは逸れるが、温冷感呈示機能があればゲーム内の温度を感じさせる用途を期待されることが容易に想像できる。そこで、ゲーム内の状況を認識し呈示温度に反映させる手法 [8] を使用した簡易デモンストレーションを作成した。図8は「ゼルダの伝説 ティアーズ オブ ザ キングダム」のゲーム画面を認識して温度制御する例である。このゲームでは主人公のいる場所の気温が温度計アイコンで表示されている。この部分をカメラで撮影し OpenCV で二値化した後ハフ変換で温度計の針の部分を検出として検出し、線分の角度に応じて呈示温度を設定する。簡易的な実装であるため、ゲーム内シーンの明るさや色調の影響で針の検出が不安定になる場面があるが (図9)、機械学習など精度良く検出する手法を使えばよいだろう。

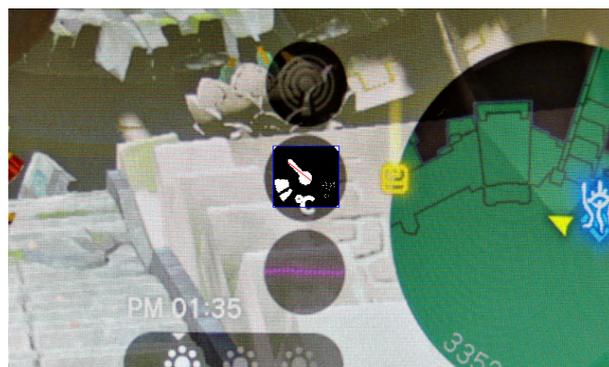


図 8 画面中の温度計の認識例. 中央の矩形内は二値処理をし、赤色の線が針の認識結果である.

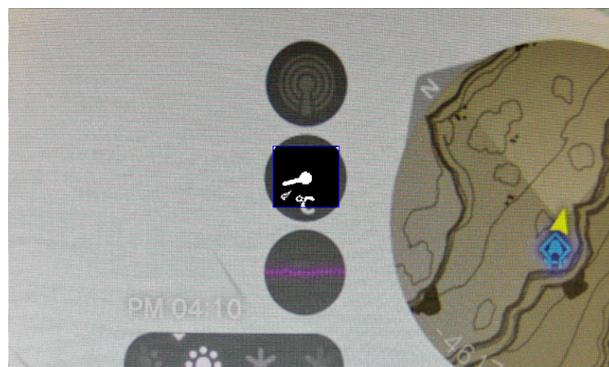


図 9 温度計の認識に失敗した例.

呈示温度は必ずしもゲーム内の温度をそのまま呈示する必要はなく、伊原らが報告したように [2] プレイヤの表象能力を活用すれば若干の温度変化でも没入感のある体験を

提供できると考えている。また、例えば制限時間表示や格闘ゲームの体力ゲージの残量などを認識して呈示温度を変化させることで、既存のゲームを使用して温冷感呈示による情動制御の効果を実験することも可能である。

6. まとめ

本稿では、温冷感呈示により情動を制御する手法の効果検証のために作成した、呈示温度を動的に変更できるゲームコントローラシステムおよび実験用ゲームについて報告した。今後、これらを利用して定量的実験を行い結果を分析する予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 23K11385 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 渡邊達也, 藤嶋英治, 森万由花, 中野拓哉, 柳田康幸. 鼻部皮膚温度刺激を介した緊張感制御による作業能率向上手法の効果検証. 第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3C1-1, 2022.
- [2] 伊原泰孝, 水口充. 振動によるゲーム体験向上の仕組みの調査. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2023 論文集, pp. 1-9, 2023.
- [3] 牛尾大翔, 水口充. 温度提示による情動制御手法の提案. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2020 論文集, pp. 99-102, 2020.
- [4] 牛尾大翔, 黒田千晶, 水口充. 温度呈示による情動制御手法の効果の検証. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2022 論文集, pp. 102-105, 2022.
- [5] 馬場哲晃, 笠松慶子, 土井幸輝, 串山久美子. 温冷呈示を利用したビデオゲームインタラクションにおける手法の検討と開発. 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 3, pp. 1082-1091, 2012.
- [6] Sho Sakurai, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose. A Proposal of a Game Controller for Evoking Emotion by Creating an Illusion of Perception of One's Bodily Response around Hand. In Proceeding of Asiagraph2015, pp. 15-19, 2015.
- [7] 宗森純, 木村鷹, 伊藤淳子. 温度刺激と表情アイコンを持ち共鳴機能を備えた対戦ゲーム場面での感情伝達システム「Ther:com」の開発. 情報処理学会論文誌, Vol. 58, No. 1, pp. 176-188, 2017.
- [8] 牛尾大翔, 水口充. 既存のゲームシステムを温冷覚での情動変化で支援するシステムの開発. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2021 論文集, pp. 379-380, 2021.