

## ペルチェ素子を用いたゲーム向け 温度知覚インターフェース

木村鷹<sup>†1</sup> 伊藤淳子<sup>†2</sup> 宗森純<sup>†2</sup>

人と PC とのインタラクティブに重要な役割を果たすものの一つに臨場感があり, 臨場感を高めるために触覚情報を伝えることが考えられる. 本研究では触覚の特に温度感覚に注目し, 温度刺激を用いた温度知覚インターフェース「ペルチェ素子システム」を提案することにより臨場感の向上を図ることを目指した. 評価実験としてアクションゲームの「アイテムゲット」という状況に対してさまざまな刺激を提示し, 比較評価を行った. 結果として温度刺激によるゲームの臨場感の向上に期待できることがわかった. また温度刺激の評価の平均値は高い値であったがばらつきが大きいことがわかった.

### The Temperature Consciousness Interface for Games Using a Peltier Device

TAKA KIMURA<sup>†1</sup> JUNKO ITOU<sup>†2</sup> JUN MUNEMORI<sup>†2</sup>

#### 1. はじめに

人と PC とのインタラクティブに重要な役割を果たすものの一つに臨場感がある. PC とのインタラクティブの際, 実際その場に身を置いているかのような感覚を得ることでコンテンツの楽しさや没入感を高めること, 遠隔地の情報を詳細に知ることができること, 遠方の人とのコミュニケーションをより円滑にすることなどが考えられる. 臨場感を高める研究にはマルチモーダル, ハプティクス, タンジブル・インターフェース[1]などが挙げられる. これらの研究から PC とのインタラクティブで臨場感を高めるには五感や触覚情報を共有することが重要であると考えられる. 本研究では触覚の特に温度感覚に注目し, 温度刺激を用いた温度知覚インターフェースを提案することにより臨場感の向上を図ることを目指す.

臨場感が必要であると考えられるコンテンツにゲームがある. ゲームのインターフェースにおいて臨場感を高める機能にフォースフィードバックがある. これはゲームのコントローラーなどに対するユーザーからの入力に反応して振動や力を手に加える機能である.

2012年の家庭用ゲームのユーザーは2910万人(日本人全体の25.9%)と推計されている[2]. ゲームの入出力インターフェースは次々に新しいものが開発され, 非常に多くのユーザーに利用されている. 例えば最近では3軸加速度センサー, ジャイロセンサーなどが内蔵された Wii リモコン[3]

や RGB カメラ, 深度センサーなどを搭載した Kinect[4]などの新しいインターフェースが登場し幅広く使用されている. そのためユーザーは新たに開発されたインターフェースでゲームをプレイすることにある程度慣れており, 新たなインターフェースの効果を十分に引き出すためのゲームの仕掛けや利用方法についてのアイデアも豊富なのではないかと考えられる. こうした背景から本研究で提案したインターフェースの検証にもゲームが適しているのではないかと考えた.

本研究ではゲームの状況に応じて, 利用者に対してペルチェ素子を用いて「熱さ」や「冷たさ」を提示できる「ペルチェ素子システム」を開発した. 温度刺激は既存のインターフェースに用いられる刺激と異なり, 温度刺激が人に与える効果など十分な知見が蓄えられているとは言い難い. そこで, 温度刺激の特性を明らかにし, その特性に合わせユーザーに温度刺激を提示することで効果的に臨場感を高めることに繋がるのではないかと考え, 本研究を行った.

#### 2. 関連研究

##### 2.1 ペルチェ素子について

ペルチェ効果という異なる金属の間に電流を流すと片面が発熱し, もう一方が吸熱する反応がある. このペルチェ効果を簡単に起こすことができるモジュールとしてペルチェ素子がある. これを図1に示す. 本研究ではこのペルチェ素子を用いた温度刺激による温度知覚インターフェースを提案する.

<sup>†1</sup> 和歌山大学大学院システム工学研究科  
Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

<sup>†2</sup> 和歌山大学システム工学部  
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

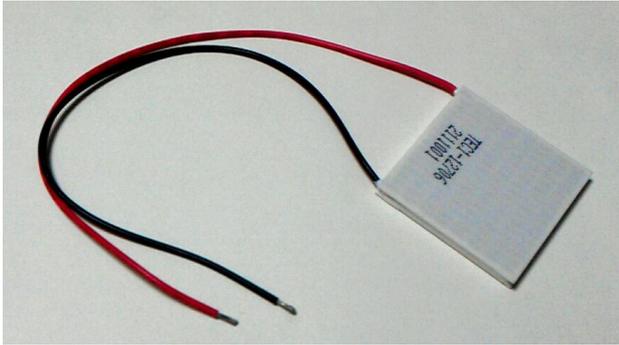


図 1: ペルチェ素子

## 2.2 関連研究

温度刺激を使用したインターフェースを遠隔地コミュニケーションに用いた研究に藤田らの Lovelet: 気温データの常時伝達による思いやり通信メディアがある[5]. 遠隔地間における親しい者同士が現在居る環境の気温情報を常時伝え合えることや、タッチセンサを触ることにより相手が寒いところに居る場合にあたかも手を握って温めてあげるような行為を擬似的に実行可能とし、これによって自然に「思いやる気持ち」を伝達できるというものである. 評価実験において温度情報を用いた遠隔地コミュニケーションは相手を身近に感じることや思いやりの気持ちの伝達に有効であると述べている. 温度刺激を使ったインターフェースにより臨場感や存在感を増すことはできているが、本研究は人と PC のインタラクティブを対象とし、温度刺激の特性を検証することが目的であるため、この研究とは異なる.

温度刺激を使用したインターフェースをビデオゲームに用いた研究に馬場らの温冷提示を利用したビデオゲームインタラクションにおけるその手法の検討と開発がある[6]. ペルチェ素子の出力条件とユーザーの反応時間の関連の調査や、ビデオゲームシステムを製作しユーザーからの意見や様子をまとめている.

特定のゲームに限らず、さまざまなコンテンツに対して温度刺激を提示し効果的に臨場感を高めるには温度刺激の特性を明らかにし、それに適した形でユーザーに温度刺激のフィードバックを行わなければならない. 温度刺激の特性を明らかにするためには、「熱さ」と「冷たさ」の違いによる人の感じ方の違いや、他の刺激と比較し温度刺激にどのような特性があるのか検討する必要があると考える.

## 3. ペルチェ素子システムについて

### 3.1 システム概要

#### 3.1.1 システム構成

本研究では温度刺激を提示するためのハードウェアとして「ペルチェ素子システム」を開発した. また、ソフトウェアとして PC とハードウェアの通信を行うためのシリアル通信ダイアログ、そしてペルチェ素子システムに対応し

たゲームを開発し、上記の3つで構成する.

#### 3.1.2 ペルチェ素子システム

ペルチェ素子システムを図2に示す. 中央の白い正方形の板状のものがペルチェ素子である. 本システムのペルチェ素子に手で触れることで温度刺激を受けることができる. ペルチェ素子やハードウェアの制御には PIC マイコン (PIC16F688) を使用した. ペルチェ素子の ON/OFF の指示はゲームプログラムが状況に応じてシリアル通信で行う. またペルチェ素子が熱を持ち違和感を覚えないように放熱対策としてペルチェ素子に対して放熱効果の高い銅版を付けた. その左にある黄色の小さな箱は比較実験用の振動インターフェースである.

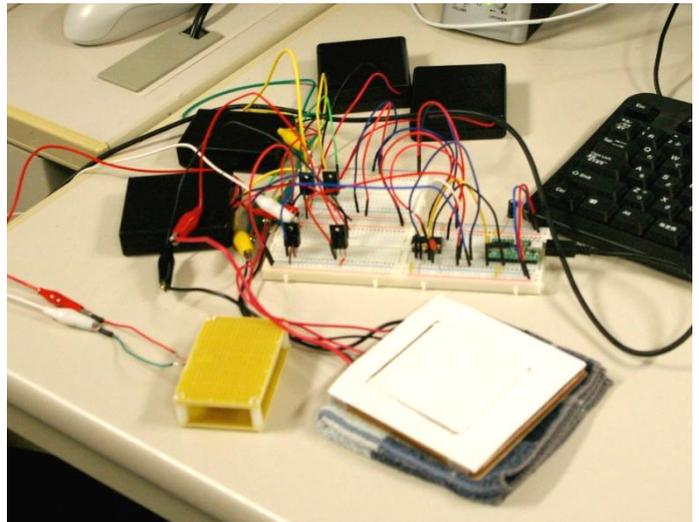


図 2: ペルチェ素子システム

#### 3.1.3 シリアル通信ダイアログとゲーム

シリアル通信ダイアログを図3に示す. 通信ダイアログとゲームはプログラミング言語として Java を使用し、Eclipse 上で作成した. シリアル通信ライブラリとして RXTX ライブラリを使用した. ゲームの詳細については後述する4章と6章で述べる.

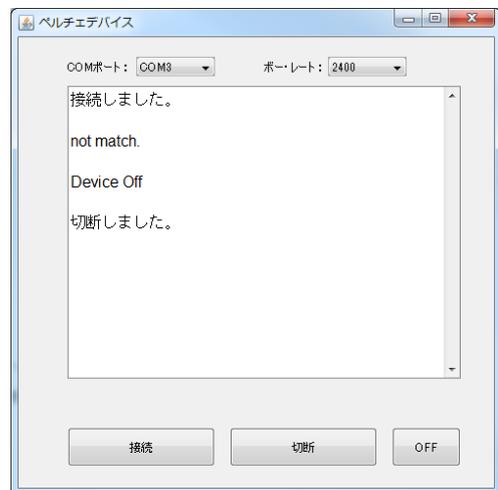


図 3; シリアル通信ダイアログ

### 3.1.4 使用の手順

本システムを利用する手順を説明する。まずゲームを起動し、シリアル通信ダイアログにてポート名とボーレートを指定する。その後、PCとペルチェ素子システムを接続する接続ボタンを押す。

接続が成功した後、ペルチェ素子システムに触れながらゲームをプレイすると使用者は「アイテムをゲットする」や「宝に近づく」などゲームの状況に合わせて「熱さ」や「冷たさ」といった温度刺激を受けることができる。

### 3.2 ペルチェ素子の性能

本研究で使用するペルチェ素子とその性能について記述する。ペルチェ素子はTEC1-12730(62×62mm)を使用した。

#### 3.2.1 計測環境

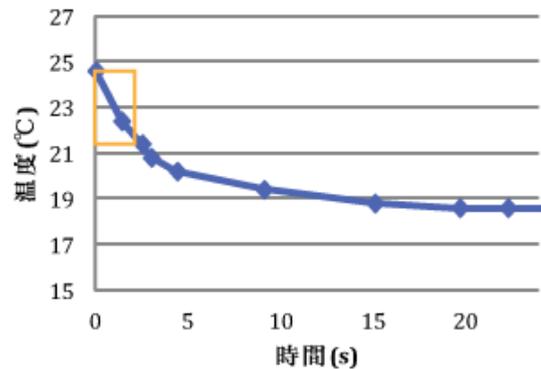
測定環境について電源として単三電池4本を利用し、電圧6V、電流3.4A、電力20.4Wである。温度の計測器としてOHMの赤外線温度計TN006を使用し、精度は表示値の±2.5%である。

#### 3.2.2 ペルチェ素子の温度変化

ペルチェ素子の温度変化の様子について計測した結果を図4に示す。常温から「冷たさ」を提示する場合を上グラフに、常温から「熱さ」を提示する場合を下グラフに示す。グラフの横軸が時間(秒)、縦軸が温度(°C)となっている。

温度刺激の提示を知覚させるためには約2秒の出力が必要であるという馬場らの報告がある[6]。図4の黄色の枠で囲った部分が2秒間の温度変化であり2秒間で約3°C、5秒間で約5°Cとなっている。本システムでは温度刺激が強くなり不快感を覚えないうよう、10秒以上連続で動作した場合に一定時間休止時間を作って温度変化の強さを制限している。

#### 常温→冷たさ



#### 常温→熱さ

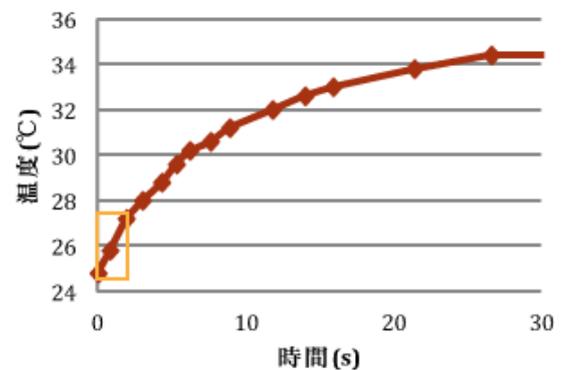


図 4: ペルチェ素子の温度変化

## 4. ウォークゲームによる比較実験

### 4.1 実験目的

視覚的に感じる温度情報と本システムを用いた温度刺激の関係について検証する。視覚通りの温度を提示した時と視覚とは逆の温度を提示した時の評価を比較する。

### 4.2 実験概要

本実験の被験者は20代の和歌山大学学生10名である。1回の実験にかかった時間は約10分程度である。この実験ではペルチェ素子システムに対応して動作するように開発した「ウォークゲーム」をプレイしてもらい、アンケートを実施した。

「ウォークゲーム」はキーボードのカーソルキーでキャラクターを移動させることができ、「火のエリア(図5)や「雪のエリア(図6)」に移動すると本システムから温度刺激を提示するという体感ゲームである。操作方法については左手で本システムを触りながら、右手でカーソルキーによりゲームの操作を行う。

ステージ1では視覚通りに「火のエリア」に入ると「熱さ」、「雪のエリア」に入ると「冷たさ」を提示し、ステージ2では視覚とは逆に「火のエリア」に入ると「冷たさ」、「雪のエリア」に入ると「熱さ」を提示した。2ステージ

でそれぞれの温度刺激を体験してもらい、その後アンケートに回答してもらった。

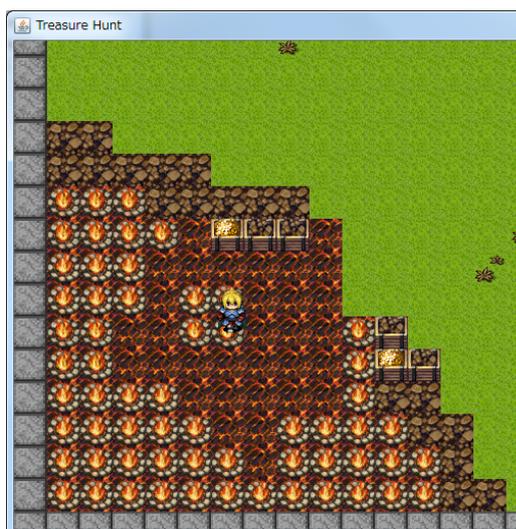


図 5: 「火のエリア」の画面

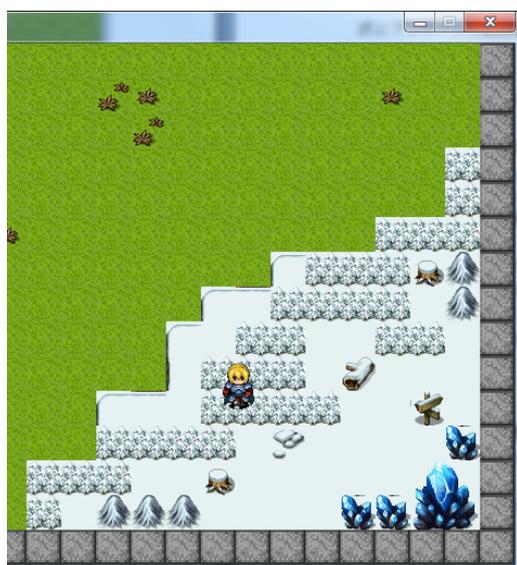


図 6: 「雪のエリア」の画面

### 4.3 実験結果

本実験のアンケート結果を表 1 と表 2 に示す。5 段階評価の結果は表の左側が質問内容である。視覚通りに「火のエリア」に入ると「熱さ」、「雪のエリア」に入ると「冷たさ」を提示した時を【視覚通り】、視覚とは逆に「火のエリア」に入ると「冷たさ」、「雪のエリア」に入ると「熱さ」を提示した時を【視覚とは逆】と表現する。

表の右側がそれぞれの評価の被験者 10 名の平均値である。5 段階評価は、1 が「ぜんぜん良くない」、3 が「どちらでもない」、5 が「すごく良かった」である。

表 1; ゲーム画面から感じる視覚的温度情報

質問項目	火のエリア (図 4.15)	雪のエリア (図 4.16)
ゲーム画面を一見してどの程度の温度だと感じましたか? (1:とても冷たそう, 3:どちらでもない, 5:とても熱そう)	4.7	1.8

表 2: 5 段階評価のアンケート

質問項目	視覚通り	視覚とは逆
ゲーム画面と出力された温度刺激は合っていると感じましたか?	4.3	1.6
ゲームを体感しているという気が増しましたか?	4.1	2.5
違和感や不快感はありませんでしたか?	4.5	1.6
この場合、温度刺激はあった方がいいですか?	4.5	1.6

次にアンケートの記述部分の質問と回答を示す。「この実験をやってみて画面を見て感じた温度と温度刺激の関係について感じたことがあれば書いてください」という質問を行った。以下はその回答である

○実験についての記述

- 「視覚通り」の時ではゲームを体感できて新鮮に感じた
- 熱そうなフィールドには熱い刺激（逆も）が適していると感じた
- 視覚情報と刺激が違ふとやはりゲームとして強く違和感を覚えた

○温度刺激についての記述

- 画面で感じるほどの熱さや冷たさはなかった
- 雪のステージの方は調度良かったが炎のステージのほうは灼熱の絵だったのでもっと熱くてもよかった

### 4.4 考察

(1) 5 段階評価について

ゲーム画面から感じる視覚的温度について「1:とても冷たそう, 3:どちらでもない, 5:とても熱そう」とすると「火のエリア」が 4.7, 「雪のエリア」が 1.8 となった。これは「火のエリアはとても熱い」と「雪のエリアは冷たい」という温度のイメージを視覚的に感じていることがわかる。

視覚通りに温度刺激を提示した場合は全て 4 以上と高い評価となった。状況に対して期待通りの適切な温度刺激を提示すると高い評価が得られた。「ゲームを体感しているという気が増しましたか?」が 4.1 と臨場感の向上も見られた。これに対し視覚とは逆の温度刺激を提示した場合は強

く違和感を覚え、この場合温度刺激がない方がいいという結果になった。

## (2)記述アンケートについて

「視覚情報と刺激が違ふとやはりゲームとして強く違和感を覚えた」という記述のように視覚的な温度情報は温度刺激を利用する上で注目すべき要素である。「画面で感じるほどの熱さや冷たさはなかった」や「雪のステージの方は調度良かったが炎のステージのほうは灼熱の絵だったのでもっと熱くてもよかった」のように画面から感じる温度刺激を提示するだけでなく、刺激の強さも表現して欲しいという意見があった。温度刺激の段階的な制御についても可能になると今後ゲームへの温度刺激の利用がさらに期待できるのではないかと考えられる。

## 5. 状況と温度刺激についてのアンケート

4章では明らかに熱く見える画面と冷たく見える画面とを扱ったが、ゲームに適用する場合、様々な状況が熱さと合っているのか、冷たさに合っているのか検討する必要がある。

### 5.1 アンケート目標

ある状況に対してどういった理由で「熱さ」や「冷たさ」といった温度情報を期待するのかを明らかにする。またゲームで利用できそうな状況に対してどういった温度刺激を提示してほしいのかを調査する。

### 5.2 アンケート概要

アンケートは20代の和歌山大学学生11名に対して実施した。質問する状況については「感情」「ゲームイベント」「キャラクターの行動」の3つのカテゴリから25項目の状況について質問を行った。質問項目についてはアンケート結果にて共に記述する。ある状況で「熱い」「冷たい」「どちらでもいい」の3つの中からどの温度刺激を期待するか回答してもらい「熱い」か「冷たい」を選んだ場合、なぜそう思ったか理由やイメージについて記述してもらった。アンケートの回答時間は約20分である。

### 5.3 アンケート結果

アンケート結果を表3に示す。表の左側に温度モデルの分類項目、右側に分類された状況を示す。

11人のうち7人以上が同じ意見の場合【熱い】または【冷たい】、7人以上が「熱い」と「どちらでもいい」または、「冷たい」と「どちらでもいい」に意見が偏っている場合は【どちらかという熱い】もしくは【どちらかという冷たい】、意見が「熱い」と「冷たい」に分かれている場合は【人により異なる】に分類する。

表 3; アンケート結果

温度モデル	状況
熱い	嬉しい, 興奮, 怒り, 好き クリア, 勝利, ハイスコア更新 成功, 握手する, 運動する
冷たい	悲しい, 嫌い, ゲームオーバー 敗北, 失敗, 泳ぐ
どちらかといえば熱い	肯定される, 攻撃する ダメージを受ける アイテムゲット, 協力する
どちらかといえば冷たい	否定される
人により異なる	焦り, 緊張, 回復する

### 5.4 考察

状況に対してどのような温度刺激が期待されているのかをアンケートにより分類した。「熱い」と「冷たい」に分類された状況は期待する温度刺激が1つに決まっている。「どちらかといえば熱い」「どちらかといえば冷たい」「人により異なる」に分類された状況は期待する温度刺激が1つに決まっていない。25個の状況の中でもっとも温度的にニュートラルな状況は「アイテムゲット」である。「アイテムゲット」は「どちらかといえば熱い」に分類されており、回答の詳細は「熱い」が4人、「冷たい」が1人、「どちらでもよい」が6人であった。

アンケートの回答に対しての理由についての記述を見ると、ある状況に対して期待する温度情報を決める時その状況が正負、明るい暗い、プラスマイナスのイメージでプラスイメージなら「熱さ」、マイナスイメージなら「冷たさ」という基準を作っている人が多くいた。また状況から「冷や汗をかく」や「頭に血が上る」といった慣用表現を思い浮かべて温度情報を感じるという記述もいくつかあった。また、温度刺激の利用には今まで相乗効果を狙ったものを思い浮かべていたが、「興奮した時は熱くなっているのに逆にシステムで手を冷やしてほしい」という抑制効果を狙った利用を望む記述も少しだけ見られた。

## 6. アクションゲームによる比較実験

### 6.1 実験目的

本実験の目的として温度刺激がゲームに及ぼす影響を評価することである。温度刺激の中でも「熱さ」と「冷たさ」の間で臨場感などの項目にどの程度の評価の差が見られるかを確認することや、振動や音といった既存のインターフェースの刺激と比較評価することで刺激としての温度刺激の位置づけや特性の検証を行う。

### 6.2 実験概要

本実験の被験者は20代の和歌山大学学生10名である。

1回の実験にかかった時間は約20分程度である。実験の様子は図7に示す。

この実験ではペルチェ素子システムに対応して動作するように開発した「アクションゲーム」を使用し「アイテムゲットした」という状況に対して刺激なし(画像のみ)、音、振動、熱さ、冷たさの5つの刺激の環境をそれぞれ順番に単独で提示してアンケートに回答してもらった。

今回、刺激を付加する状況に「アイテムゲット」を選択した。これは5章のアンケートにより温度的にニュートラルに近い状況であり、他の刺激と温度刺激を比較するにあたり、なるべく純粋な刺激として評価を行えるよう選択した。

操作方法については左手でペルチェ素子システムを触りながら、右手でキーボードのカーソルキーによりゲームの操作を行う。プレイヤーは操作するキャラクターでアイテムブロックをジャンプして叩きアイテムを出す。そして出現したアイテムにキャラクターが触れることで「アイテムゲットした」という状況になり各刺激を提示する(図8)。音に関してはスピーカーで提示し、振動と温度刺激に関しては本システムを通して左手に提示した。

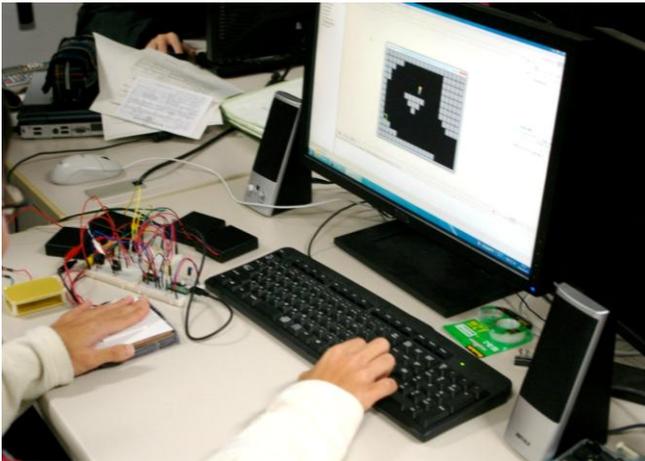


図 7: 実験風景



図 8: アクションゲームの画面

### 6.3 実験結果

本実験のアンケート結果を表4に示す。表の左側が質問内容、表の右側がそれぞれの刺激の被験者10名の5段階評価の平均値である。5段階評価について、1は「ぜんぜん良くない」、3は「どちらでもない」、5は「すごく良かった」である。ノンパラメトリック検定であるマンホイットニー検定を行い刺激なしと5%の有意差が認められた項目に「\*」をつけている。

表 4; 実験結果

質問内容	刺激なし (画像のみ)	振動	冷たさ	熱さ	音
ゲームの楽しさ	2.2	2.8*	3.3	3.4	4.3*
プレイ意欲	2.1	3.1*	3.3	3.6	4.2*
「アイテムゲットした」という感覚	2.7	3.1	3.9	3.9	4.3*
アイテムゲットして嬉しい気持ち	2.4	3.1*	3.6	3.7	4.2*
ゲームの臨場感	2.2	3.3*	3.2*	3.5	4.3*

### 6.4 考察

#### 6.4.1 温度刺激の評価について

ここでは温度刺激の評価に何が影響したのか検定を行い、検討する。5段階評価の結果についてそれぞれの項目の平均値を比べるとおおよそ音>熱さ>冷たさ>振動>刺激なしという評価となっている。温度刺激に注目すると「熱さ」は一般的な触覚インターフェースとして使われている振動より全ての項目で高い評価であり、「冷たさ」でも臨場感以外の項目で振動より高い評価が得られていることがわかる。一見すると振動より温度刺激の方が高い評価を得られたように見える。しかし、マンホイットニー検定を行ったところ刺激なしと有意差が認められた項目は表1で「\*」を付けた振動4項目、冷たさ1項目、音5項目となり、振動よりも評価の高い項目が多かった「熱さ」と「冷たさ」よりも振動の方が多くの項目で有意差が認められた。

こうした結果が出た理由を検討するため、各項目の被験者それぞれの5段階評価の結果について調べると「熱さ」と「冷たさ」の各項目の評価でばらつきが大きいことがわかった。例えば「冷たさ」の『「アイテムゲット」した感覚』の項目では1をつける回答もあれば、5をつける回答も見られた。それに比べ振動の評価は比較的ばらつきが小さかった。

そこで被験者の各刺激の評価について比べてみると同

じ温度刺激である「熱さ」と「冷たさ」の間に評価の差が見られることがわかった。本実験の記述アンケートでは「冷たさより熱さの方が合っていると思った」や「冷たさは心地いい刺激だったが、熱さは心地よくなかった」という意見が見られた。こういった意見から本実験で「熱さ」と「冷たさ」の評価を行う際に個人の温度刺激の嗜好が影響していることがわかった。

本研究の他の実験(大学祭で行った)において一般の方42名を対象に「熱さと冷たさのどちらが良かったですか?」という温度刺激の嗜好についてのアンケートを行ったところ「熱さ」と回答した人が16名(31%),「冷たさ」と回答した人が26名(69%)であった。この結果を見ると本実験の5段階評価でも被験者の嗜好が影響し「熱さ」と「冷たさ」の評価にばらつきが生じ、評価の平均値は高い値を得たが有意差は認められないという結果になったと考えられる。一般のシステムではインターフェースにおいて人により評価が大きく異なることは望ましくないため、評価のばらつきを抑える対策を行うことで安定した評価を得る必要がある。しかし、ゲームではこの人によるばらつきをパラメータのひとつにすることも考えられる。

#### 6.4.2 臨場感について

ここで温度刺激によりゲームの臨場感は向上できたのか検討する。人間の五感による知覚の割合は視覚83%、聴覚11%、嗅覚3.5%、触覚1.5%、味覚が1.0%である[7]という報告がある。触覚が知覚に占める割合が小さく、温度刺激の評価にばらつきが大きいにも関わらず「冷たさ」の臨場感の項目で有意差が認められた。これは温度刺激の臨場感を高める効果が高いためではないかと考えられる。例えばステージをクリアした時に「熱さ」を提示したり、ゲームに敗北した時に「冷たさ」を提示するなど他の状況で温度刺激を付加することでさらに臨場感の向上を期待できると考えられる。

### 7. おわりに

本研究ではペルチェ素子を用いた温度知覚インターフェース「ペルチェ素子システム」を開発し、ゲームに適用し、ゲームの臨場感向上を目標とした。

評価実験としてアクションゲームの「アイテムゲット」という状況にたいして刺激なし、振動、冷たさ、熱さ、音の5つの刺激を提示し、比較評価を行った。結果として「冷たさ」の臨場感の項目で有意差が認められ、温度刺激によりゲームの臨場感を向上することができた。

また、温度刺激は「冷たさ」の臨場感以外の項目全てで振動より高い5段階評価の平均値を得た。しかし、マンホイットニー検定を行ったところ振動の方が温度刺激よりも多くの項目で有意差が認められた。これは温度刺激の評価のばらつきが原因であり、温度刺激の特性として付加する状況によって「熱さ」と「冷たさ」で評価のばらつきが大

きくなることがあることがわかった。

今後の課題として温度刺激を適用する状況を他のものに変えることや温度センサーにより温度刺激の多段階制御をすることができればユーザーの要求により詳細に応えることができ、さらに臨場感の向上を図ることができるのではないかと考える。

#### 参考文献

- 1) S. Brave, H. Ishii, and A. Dahley: Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication, /Proceedings of CSCW'98/, pp.169-178(1998).
- 2) 2013CESA 一般生活者調査報告書, pp.12-17(2013)
- 3) 任天堂: Wii, 入手先  
<<http://www.nintendo.co.jp/wii/>>(2013.05.17)
- 4) Microsoft: Kinect, 入手先  
<<http://ja.wikipedia.org/wiki/Kinect>>(2013.05.17)
- 5) 藤田英徳, 西本一志: Lovelot:気温データの常時伝達による思いやり通信メディア, 電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎 103(742),pp. 1-6, (2004)
- 6) 馬場哲晃, 笠松慶子, 土井幸輝, 山山久美子: 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その手法の検討と開発, 情報処理学会研究報告. EC, エンタテインメントコンピューティング 2010-EC-17(11),pp. 1-6,(2010)
- 7) 産業教育機器システム便覧(1972)