

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25560288

研究課題名(和文)複数刺激の同時提示による手掌部への温冷刺激提示法に関する研究

研究課題名(英文)Trial study about presenting method of multi tactile stimuli for the palm

研究代表者

和田 親宗(wada, chikamune)

九州工業大学・生命体工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50281837

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円、(間接経費) 630,000円

研究成果の概要(和文)：盲ろう者のコミュニケーション支援のため触覚ディスプレイの基礎研究を行った。(1)冷覚刺激と温覚刺激を同時に提示する際の刺激条件を求めたところ、39℃と20℃の組み合わせが最適と考えた。次に、温冷覚同時刺激による仮現運動の生成率を求めた結果、生成率が約70[%]となり、冷覚刺激のみを用いた場合に比べ有意に高くなった。(2)電気刺激を用いて、冷覚・温覚の知覚される刺激の大きさの制御を試みた。様々な実験条件で試した結果、温覚が強調された場合があったものの、再現率が悪いので、今後の更なる研究が必要となった。

研究成果の概要(英文)：This study is about tactile display for the deaf-blind communication system. Obtained results were as follows. (1)It was found that combination of 39-Centigrade warm stimulation and 20 Centigrade cold stimulation was most suitable for easy of perception, because there was no uncomfortable sensation such as pain. Moreover, it was found that appearance ration of apparent movement when combination of warm and cold stimulation was used was much better than that when only cold stimulation was used. (2) From the experimental results, we could not decide whether or not electrical stimulation might enhance warm/cold sensation. We think further research is necessary.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・福祉工学

キーワード：ヒューマンインタフェース 触覚ディスプレイ

## 1. 研究開始当初の背景

VR 技術の一つとして温度触覚ディスプレイの研究が行われている。研究代表者も、冷覚刺激を利用した文字形再現用触覚ディスプレイの研究開発を行っており、その課題解決が本研究の目的である。

従来より、研究代表者は、盲ろう者のコミュニケーション支援のために手掌部に文字の形を再現する装置の開発を行ってきた。手掌部に二次元状に並べられたペルチェ素子によって与えられる冷覚刺激の提示条件を変えることで仮現運動錯覚(仮現運動)を生じさせ、刺激が仮想的に動くことで文字形を再現する。過去の結果から、冷覚刺激(皮膚表面温度からマイナス 10 度程度の冷感)では知覚までに時間がかかること、刺激強度を強くできないこと、刺激部位依存性の高いことがわかっている。

ところで、冷覚刺激と温覚刺激を同時に提示すると、Thermal grill illusion と呼ばれる錯覚が生じ、仮想的に強い刺激(灼熱感)を知覚する。そこで、この現象を応用することで、上述した過去の研究の課題を解決できないかと考えた。加えて温冷覚と電気刺激触覚はともに自由神経終末によって刺激受容がなされるため、電気刺激によって温冷覚の刺激強度の制御の可能性があると考えた。以上のことから、本研究を実施することとなった。

## 2. 研究の目的

### (1)「温冷覚同時刺激の提示条件の決定」

最近まで、Thermal grill illusion(以下、TGI と略す)の工学的な利用は検討されていなかった。その理由は、TGI が生じると、「やけど」になるような錯覚を生じ、手を引っ込める反射運動が生じる場合もあり、触覚提示デバイスとしては使えないと思われたからである。しかし、予備実験の結果、TGI による灼熱感に部位依存性や個人差はあまり見られなかった。そのため、「灼熱感を生じさせない熱覚(耐えられる熱さ感)」の刺激提示条件を求めることができれば、冷覚刺激提示の課題である部位依存性を解決できるのではないかと考えた。また、TGI は侵害受容の神経伝達経路を通っている。そのため、この熱覚も同じ神経伝達経路を経る可能性があり、冷覚のみの場合とは異なる経路となり、刺激に対する応答時間も異なる可能性もある。そこで、刺激提示素子の大きさ、配置、温覚と冷覚の温度差や皮膚温からの温度差、温度変化率、を様々に変化させ、灼熱感の発生しない条件を求める。さらに、仮現運動の生成率を向上させられるかについても調べる。

### (2)「電気刺激による温冷覚の制御の試み」

従来のペルチェ素子を用いた冷覚刺激では、ペルチェ素子の冷却性能や大きさ、周囲温度、皮膚温などに冷覚の強度は依存し、刺激強度を大きくすることや常に同じ強度で刺激を

提示することは難しい。

ところで、電気刺激によって冷覚を知覚したとする研究報告がある。これによると、電気刺激を行った部位の中で、いくつかの部位で冷覚を知覚したとのことである。冷覚が生じるメカニズムについては未だ議論されてはいるが、多くの生理学のテキストには、自由神経終末が関与していると述べられている。また、触覚受容器を選択的に電気刺激できたとの報告もあることから、冷覚を受容する自由神経終末を選択的に電気刺激することが可能と考えた。もし実現できれば、冷覚が惹起されている状態で電気刺激を加えると、より冷たさを感じる、あるいは、抑制がかり冷たくならなくなる可能性がある。さらに、温覚受容の自由神経終末が刺激されると、灼熱感を生じさせられる可能性がある。刺激提示装置を作り、以上の仮説を検証する。

## 3. 研究の方法

### (1)「温冷覚同時刺激の提示条件の決定」

(1a)左手手のひら全体を  $6 \times 12$ mm 毎に 5 列 13 行に区切り 65 カ所の測定部位としその中から部位 6 カ所をランダムに選び、被験者は所定の温度に制御された 2 つのペルチェ素子を測定部位に接触させた。使用したペルチェ素子のサイズは  $6.4 \times 6.4$ [mm] である。温度条件は、温覚刺激として 37、39、41[ ] の 3 通り、冷覚刺激として 14、16、18、20[ ] の 4 通り、計 12 通りである。被験者は 8 名、試行回数は各条件で 3 試行ずつである。まず、被験者には所定の温度になるよう制御したペルチェ素子を、6 カ所の中の一つにあててもらい、ペルチェ素子が手に接触した瞬間を測定開始のタイミングとし、刺激提示時間 1[s] 経過した瞬間に手をペルチェ素子から離してもらおう。そして、刺激提示が終わった直後に測定を行った部位に関するアンケートに答えてもらった。アンケートでは刺激提示中に知覚した感覚を表す形容詞を全て選択させた。アンケートの内容は痛み関連がアンケートの内容は痛み関連が「ちくりとする」、「突き刺すような」、「つねられたような」、「引っ張られるような」、「むずがゆい」、「うずくような」、冷覚関連が「ひんやりした」、「冷たい」、「凍るような」、温覚関連が「温かい」、「熱い」、「灼けるような」である。

(1b)前項で求めた温度条件によって仮現運動が生じるかを調べ、冷覚のみを使った場合の仮現運動生成率と比較を行った。刺激提示素子として、 $6.4 \times 6.4$ [mm] のペルチェ素子を二つ組み合わせ、一つから温覚刺激をもう一つから冷覚刺激を同時に提示した。これを 3 組用意した。この 3 組を 4[mm] の間隔で設置した。刺激提示部位は第 2 中手骨と第 5 中手骨の中手指節関節を結ぶ線を引き、その中点と 3 組あるペルチェ素子の真ん中の組の中心が重なるようにした。温度条件は温冷覚同時刺激の温覚を 39、冷覚を 20 とした。

(1c)得られた温冷覚同時刺激の条件を用い

て、惹起される温度感覚の刺激部位依存性が減少したかどうかを調べた。左手手のひら全体を6×12mm毎に5列13行に区切り65カ所の測定部位とした。被験者は所定の温度に制御された2つのペルチェ素子を測定部位に接触させた。使用したペルチェ素子のサイズは6.4×6.4[mm]である。温度条件は、温覚刺激として39[ ]、冷覚刺激として20[ ]、温冷覚同時刺激の場合は39[ ]と20[ ]である。被験者は8名、試行回数は各条件で1試行である。所定の温度になるよう制御したペルチェ素子を皮膚に当てた後、「冷たい」「温かい」「熱い」「無感」の四つの中から選んでもらった。

(2)「電気刺激による温冷覚の制御の試み」過去の知見を踏まえ、様々な電極パターン、様々な電気刺激パターンを作成し、温冷覚刺激と同時に電気刺激を提示した。

温冷覚刺激は皮膚表面温度を基準に+5[ ]、-10[ ]である。電気刺激としては、パースト波を用いた定電圧刺激法を用いた。

実験では、温冷覚刺激と電気刺激を同時に与えた際に温冷感が強くなったか否かを被験者に答えてもらった。電気刺激の呈示パラメータとしては、電極パターン、刺激時間、刺激周波数、電流波形である。これらを様々に変化させ、試行錯誤的に温冷感の生じる条件、強くなる条件を求めた。被験者は3名、各条件で5回計測した。

#### 4. 研究成果

(1a)実験装置(図1、2)を作り、結果を選択率で評価した。選択率は各温度条件で選択された形容詞の個数を(全試行回数×形容詞数)で割って算出した。今回目標としている温度条件は痛み関連の形容詞が少なくかつ温覚関連の形容詞の選択率が高いというものである。温度条件37、20の組み合わせと39、20の組み合わせにおいて痛み関連の形容詞の選択率がほぼ同じ値で全体を通して最も少なくなった(図3)。横軸は温度条件、縦軸は選択率である。この2つの温度条件において温覚関連形容詞選択率に関して、対応のあるt検定を用いたところ、温度条件39、20の組み合わせが37、20に比べ温覚関連の形容詞の選択率が有意に増加していることがわかった(有意水準を5%以下)。従って39、20の組み合わせを最適な温度条件とした。

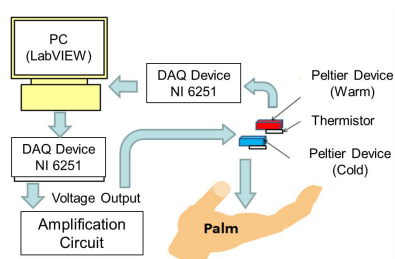


図1 実験装置概略

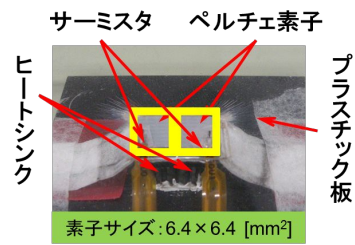


図2 刺激提示部

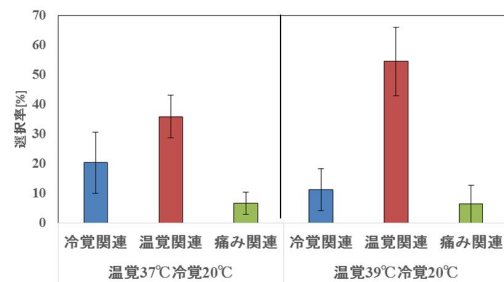


図3 刺激温度と惹起感覚

(1b)温度刺激の認識率は皮膚温からの温度差が大きいほど上昇するので、前章で呈示した冷覚刺激の中で一番低い温度である14を冷覚刺激のみの温度とした。図4に作成した刺激提示部および刺激提示パターンを示す。刺激間隔は0.2秒から1.0秒まで0.2秒刻みで計通り刺激呈示時間は1秒である。被験者は呈示刺激に対して、強い印象で仮現運動が生成された場合には2点、弱い印象で仮現運動が生成された場合には1点、生成されなかった場合には0点を回答した。被験者は5名、試行回数は各刺激間隔について10回ずつである。図5に全被験者の生成率の平均をとったグラフを示す。ここで、生成率とは各刺激間隔における全試行での平均点を出し、2点を100%として表したものである。横軸が刺激呈示時間間隔であり、縦軸が仮現運動の生成率である。どの時間間隔でも温冷覚同時刺激を用いた場合に高い生成率を得られている。温冷覚同時刺激において刺激間の間隔が0.4秒の時最も生成率が高く冷覚刺激は0.6秒となっている。この時間の差は、冷覚は無髄線維、熱覚は有髄線維によって伝えられるための信号伝達速度差に起因すると考えられる。

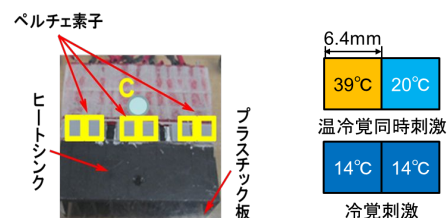


図4 刺激提示部と刺激パターン

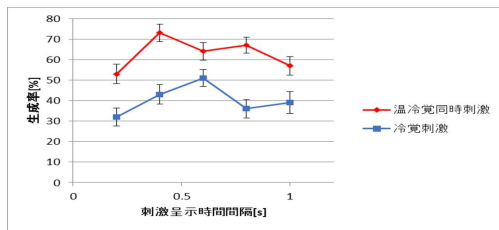


図5 仮現運動生成率

(1c)図6に刺激提示部を示す。結果の一例を図7に示す。温度刺激時の手掌部の応答を示しており、赤は熱覚、橙は温覚、青は冷覚、黒は無感を表している。左図は温冷覚同時刺激、中図は冷覚刺激、右図は温覚刺激の結果を示す。温冷覚同時刺激の場合には無感の部位の存在しないことがわかる。図8に全被験者、全試行の結果を示す。温覚や冷覚では温度感覚を惹起できない部位が存在するものの、温冷覚同時刺激では全ての部位で温度感覚を惹起できたことがわかる。

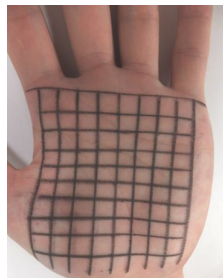


図6 刺激部位依存性調査部位

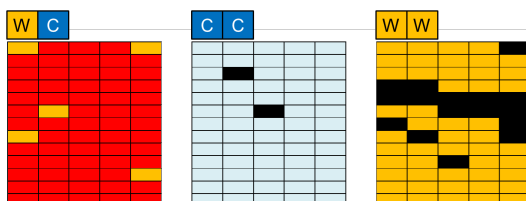


図7 刺激部位依存性の結果 (一例)

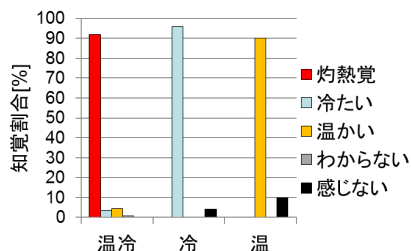


図8 刺激部位依存性の結果 (全試行)

(2)刺激システムの概略を図9に、刺激提示部を図10に示す。図11に用いた電気刺激パターンを、図12に今回作成した電極パターンの例を示す。

実験では、様々な刺激部位、様々な電極パターン、様々な刺激周波数で、温度感覚がどのように変化するかを調べた。パラメータは以下の通りである。

- ・刺激部位：母指球、各指先、小指側の側面
- ・搬送周波数：100、500、1000、2000[Hz]

- ・刺激周期：10、20、40[ms]
- ・刺激幅：刺激周期の10、25、50、100[%]
- ・刺激周波数：5、250、2000[Hz]
- ・刺激電圧：閾値下の最大値

各被験者の結果を図13に示す。その結果、温覚が強められた場合と、冷覚が強められた場合の存在が認められた。ただし、その出現率は、試行回数に対して少ないため、今回の刺激方法が有効であるかの判断はできないと考える。今後更に実験を重ねていく予定である。

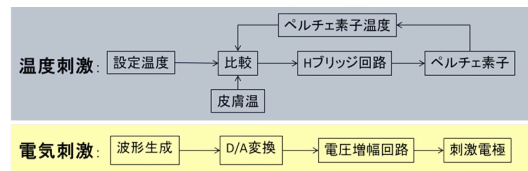


図9 温度・電気刺激提示システム概略

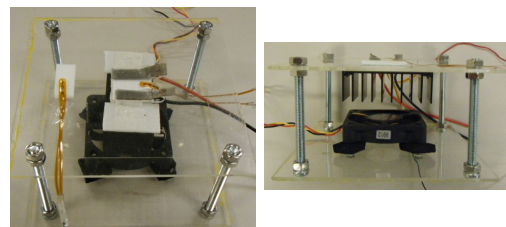


図10 刺激提示部

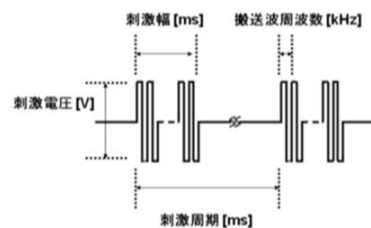


図11 電気刺激パターン

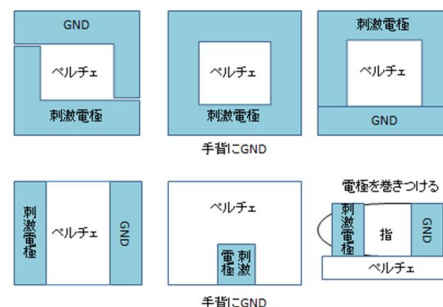


図12 作成した電極パターンの例

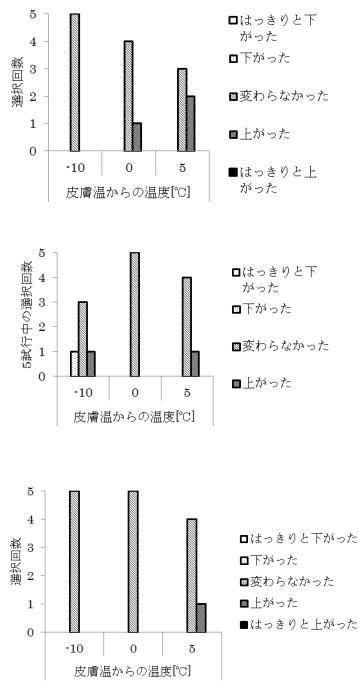


図 13 電気刺激による温冷覚への影響

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.brain.kyutech.ac.jp/~wada>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田親宗 (WADA, Chikamune)

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・

准教授

研究者番号：50281837