

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06888

研究課題名(和文) 触覚の質感情報に着目した発達障害支援技術の構築

研究課題名(英文) Basic study on a new assistive technology for people suffering from Autism Spectrum Disorder using a multimodal tactile display

研究代表者

近井 学 (Chikai, Manabu)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・人間情報研究部門・研究員

研究者番号：60758431

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、発達障害がある児童の触覚過敏・鈍麻傾向などの知覚異常の客観的評価のための触覚刺激呈示デバイスの開発を目指している。はじめに、ちくちくとした刺激を呈示することができるフォンフライ式圧痛覚計を用いたタッチテストの特徴を調べ、この方法は一定した刺激呈示が難しいことがわかった。次に、温度と振動の刺激呈示と荷重計測による3つの物理刺激を調整することができるデバイスを試作した。評価結果から、タッチテストに比べて物理刺激を定量的に調整することができ、再現性がある物理刺激を可能であること、また複数の刺激を組み合わせることで痛みに起因した刺激を人工的に生成し、呈示することが可能であると示された。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to develop a multimodal tactile display for people with Autism Spectrum Disorder (ASD) that can assess tactile hyperesthesia or hypoesthesia. This study focused on a von Frey touch test, which was able to simulate a pricking stimulus (causing a painful sensation), because people with ASD are averse to this stimulus. This test had some advantages (e.g., ease and simplicity), but also some disadvantages. This study subsequently focused on minimizing the variability in the touch test and developing a new tactile display, which consisted of a tactile presenting model, capable of presenting any tactile sensation by combining of the following three physical stimuli; weight, vibration, and temperature. The evaluation results indicated that the participants perceived the tactile sensations related to pain sensation, such as soreness and itchiness. In conclusion, this study is an incremental step towards ultimate goal of developing new display that can easily assess ASD.

研究分野：人間工学、生体工学

キーワード：ヒューマンインタフェース 発達障害 触覚 質感情報 人間計測

## 1. 研究開始当初の背景

近年、触覚に関する研究は生理学・心理学・工学分野などにおいて触知覚メカニズムの解明や触覚デバイスの開発が広く行われている。これらのような研究に加え、感覚器官に障害がある人たちに対しての支援技術に関する研究が報告されている。残された感覚器官で機能補助する感覚代行技術のうち、触覚を用いた補助技術としては視覚や聴覚に障害がある人たちに対するオプタコンや触地図、点字ディスプレイなどがある。このような視覚や聴覚に障害がある人たちに対する補助技術に比べ、触覚に障害がある人たちに対する補助技術・触覚機能評価技術は研究レベルに留まっているものが多く、現在のところ普及には至っていない。そのため現状では、先天的な触覚機能の過敏・鈍麻傾向がある人たち(発達障害[1]がある児童など)は、対象物を知覚しづらい・人とのコミュニケーションを取りづらいという問題を抱えているにも関わらず、補助技術を使用することができていない。そのため、触覚に障害がある人たちは家族・知人・教職員・医療スタッフに対して痛み起因した不快な「気持ち」を伝える際に、触覚で得た情報を擬音語などで言語化できないことが教育現場などでは問題となっている。

現在行われている末梢部の触覚機能の評価する方法の一例としては、フォンフライ式圧痛覚計(筆先の毛のようなもの)を利用したタッチテスト(図1)やコンパスを利用した2点弁別閾検査等がある。フォンフライ式圧痛覚計はテストをしたい部位(手部や足部など)にフィラメントを接触させることで圧刺激を呈示することができることから、だれでも操作でき、またどこでも検査が可能であるという利点がある。しかし、このテストは、検査をする人の操作方法(手の動き)や、圧痛覚計の経年劣化などの機械特性の変化などにより、テストの正確性と再現性が保たれていないことが課題として言われているが、その詳細は明らかになっていない。そのため、このテストだけでは触覚機能の評価が正確であるとはいえず、触覚に障害がある人たちを周囲の人たちが理解することができるような標準的な尺度レベルとは言えないことが問題となっている。これらの問題から、特別支援教育や医療の現場では触覚機能の定量的な評価方法の確立が望まれている。

## 2. 研究の目的

これまでに研究代表者は、ヒトが普段触れているさまざまな材質の物体表面に触れた時の触感を擬似呈示することを目指したデバイスの開発や擬音語と触感の関係性を明らかにすることを目指した感性工学実験を行ってきた。触感呈示に関する基礎研究としては、圧・温度・振動という複数の要素の触刺激を合成させて触感を再現する仮説(タッチブレンド)に基づく評価実験[2]を行って

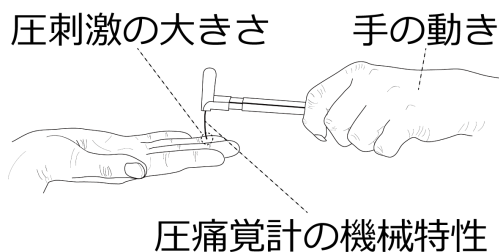


図1 フォンフライ式圧痛覚計を利用したタッチテストの様子とそのテスト結果の変化要因

る。更に、中枢部における触覚機能評価には、研究レベルだが触覚機能診断装置[3]がある。以上の背景から、先天的な触覚機能の過敏・鈍麻傾向がある人たち(発達障害がある児童など)の知覚異常を客観的に評価するため、一定した刺激呈示が可能な触覚刺激呈示デバイスの開発とその評価方法の構築を目指している。その中でも発達障害がある児童が苦手と言われている痒みや痺れといった痛み感覚に着目し、これらの苦手な刺激を人工的に生成するデバイスを開発することを目的とした。

この目的を達成するため、はじめに従来のテストで問題となっている刺激の再現性の低さの要因を精査する。次に、この問題を解決するため、これまでに行ってきた触感を擬似的に呈示する知見[2][3]に基づき、圧・温度・振動といった複数の物理刺激を組み合わせ指先に呈示した場合に痛み感覚を惹起させる手法を応用する。本研究では、再現性がある物理刺激を呈示可能なデバイスにより人工的に痛み感覚を再現し、触覚機能の評価する仮説を立てた。この仮説に基づき、開発するデバイスを用いて被験者に物理刺激を組み合わせ呈示した場合に、痛み感覚を惹起させること、また触覚機能の評価することが可能かという点を評価する。

## 3. 研究の方法

### 3.1. 触覚機能計測方法の現状調査

ここでは、フォンフライ式圧痛覚計を利用したタッチテストの特徴およびその問題点を明らかにするための計測実験を行った。

はじめに、タッチテスト時の手の動きと与える物理刺激の関係を明らかにするために、3次元動作解析装置(Natural Point社製, OptiTrack V120:Trio)で被験者の圧痛覚計(North Coast Medical社製, NC12775-14, 5.07/10.0g)を握った動きを計測し、力センサ(日本電産シンボ社製, FGP-0.5)で圧刺激の大きさを計測する人間工学実験(図2a)を行った。実験では、被験者が力センサに向かって刺激呈示を10試行繰り返すように指示した(実験は10試行を1タスクとして、合計2タスク実施)。この実験では、20~50歳代の男性6名および女性3名の合計9名を

被験者とし、全被験者は圧痛覚計の使用経験が無いため、実験開始前に同一の書面を用いてテストの方法（手の動き）について説明した。なお、実験開始前に被験者には実験の趣旨を口頭と紙面で十分に説明し、同意を得た。

次に、手の動きの影響を排除した場合の圧刺激の大きさを同様に計測する評価実験（図2b）を行った。実験では、ポジショニングステージ（シグマ光機社製、HPS-20X）が圧痛覚計を操作し、力センサに刺激を呈示した時に発生する圧刺激の大きさを計測した。実験では、ステージが力センサに向かって刺激呈示を10試行繰り返すようにプログラムソフト（National Instruments社製、LabVIEW 2014）を使用して制御した（実験は10試行を1タスクとして、合計3タスク実施）。試行間の時間間隔は3秒と定めた。なお、この実験では、複数の市販されている圧痛覚計を用意し、圧刺激の大きさを比較した。

### 3.2. 触覚刺激呈示デバイスの開発

次に、発達障害がある児童が苦手と言われている痒みや痺れといった痛み感覚を人工的に惹起させる触覚刺激呈示デバイスの試作とその評価を行った。

刺激呈示方法には、温度と振動を呈示する2つの物理刺激と、被験者が刺激呈示デバイスの表面に触れている時に生じる荷重を調整するものを提案し、それぞれの刺激を呈示することができる電子素子、荷重計測用の電子素子を組み合わせたデバイスを試作した（図3）。このデバイスにおいて、温度呈示はペルチェ素子を用いて20～40℃の刺激とし、振動呈示は音響用スピーカに0～300 Hzま

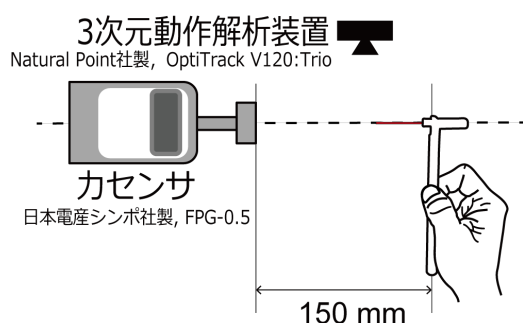


図2 a 手の動きと与える刺激の大きさを計測する実験セットアップ

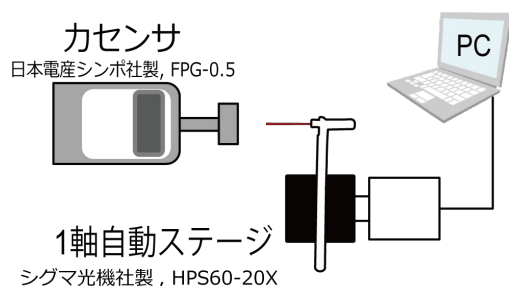


図2 b ポジショニングステージで手の動きを代替した場合の刺激の大きさを計測する実験セットアップ

での正弦波信号を印加して生成される刺激とした。また、デバイス表面の荷重は圧力センサを用いて0.1～10 kgf/cm<sup>2</sup>まで計測でき、実験条件に応じて被験者自身で調整するように教示した。今回の実験で使用した振動刺激は100・140・180・220・260 Hz、温度刺激は20℃（冷たい刺激）と40℃（温かい刺激）の物理刺激を呈示し、デバイス表面の押付圧力は実験条件に応じて0.1・1・5 kgf/cm<sup>2</sup>に調整するように教示した。

この実験では、触覚の知覚異常がない健常被験者に対して、デバイスが振動や温度などの複数の刺激を組み合わせる指先に呈示した場合の主観を口頭で回答（内観報告）をしてもらった。この回答の集計方法は、被験者が呈示された物理刺激（振動に関する回答、温度に関する回答）以外の、人工的に惹起された触覚の質感情報（例えば、ちくちく痛い、痒みがある、など）をまとめ、人数を集計した。加えて、痛みに関連する聴覚的な表現（ちくちく感、ずきずき感など）を含んだ複数の触覚の質感情報に関する擬音語（オノマトペ）を用意し、この用意した単語に対して7件法の尺度（1: ない、7: ある）で回答してもらった。得られた値は、標準刺激（常温での振動刺激）を呈示したときに回答した尺度値で規格化し、比較した。評価実験の被験者は、20歳代の男性7名および女性1名の合計8名とした。すべての被験者には実験の趣旨を口頭と紙面で十分に説明し、同意を得た。

### 4. 研究成果

#### 4.1. 触覚機能計測方法の現状調査

##### (1)被験者実験

はじめに、手の動きと圧痛覚計による圧刺激の大きさの関係を述べる（図4）。動作解析結果から、20回の動作における手の動きの平均速度は1.49～18.1 mm/sであり、全員の手の動きの平均は9.30 ± 5.67 mm/sと算出された。また、その動きにおいて圧痛覚計による与える圧刺激の大きさの平均値は6.86～8.10 gであり、全員の平均は7.37 ± 0.475 gと示された。次に、圧痛覚計と力センサとの接触角度と圧刺激の大きさの関係を述べる。

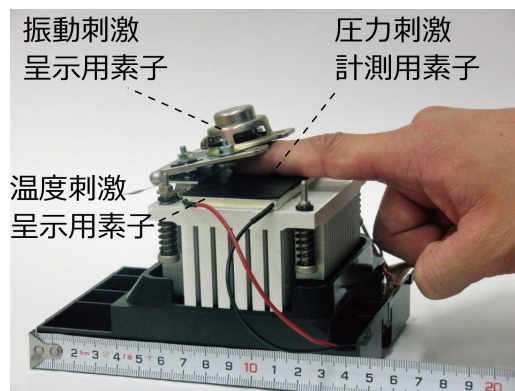


図3 試作した触覚刺激呈示デバイス

動作解析結果から、20回の動作における接触角度の平均値は4.98～45.5度であり、全員の平均接触角度は $13.6 \pm 12.9$ 度と算出された。以上から、動作回数ごとの手の動きの速度と圧痛覚計の接触角度のばらつき(被験者内比較) また被験者ごとにタッチテスト時の手の動きの違い(被験者間比較)があり、これらの要因により圧刺激の大きさが異なることが示された。

### (2) 圧痛覚計の評価実験

はじめに、(1)人間工学実験 で使用した圧痛覚計を用いて、動作回数と圧痛覚計による圧刺激の大きさの関係を述べる(図5)。この結果から、圧痛覚計による与える圧刺激の大きさの平均値は $7.68 \pm 0.26$ gと示された。この結果から、連続して使用することで、与える圧刺激の大きさが減少する傾向にあることがわかった。

次に、(1)手の動きの計測実験(図4、図5参照)で使用した圧痛覚計と同じものを新たに1つ用意し、長期的な使用回数による圧刺激の大きさの比較を行った。(1)手の動きの計測実験で使用したものを圧痛覚計Aとし、新たに購入したものを圧痛覚計Bとした。その両者の動作回数と圧痛覚計による圧刺激の大きさの関係を述べる(図6)。結果より、圧痛覚計A(数年間使用したものの)の圧刺激の大きさは $7.68 \pm 0.26$ gである一方で、圧痛覚計B(新たに購入したものは) $10.4 \pm 0.30$ gと示された。つまり、長期的な使用による経年劣化の影響が見られ、与える圧刺激の大きさのばらつきが生じる要因の一つであることがわかった。

### (3) 現状調査のまとめ

これらの実験の結果から、フォンフライ式圧痛覚計による圧刺激は手の動き(速度や接触させる角度)や使用回数(短期的・長期的)による影響があり、一定した刺激呈示が難しいことが示された。

## 4.2. 触覚機能評価デバイスの評価

### (1) 被験者実験

図7に示すように、内観報告の結果の一例として、デバイスが温度のみを呈示した場合、全被験者は温かいか冷たいといった回答をしており、痛み感覚に起因した回答は見られなかった。次に、温度(温かい刺激)と振動(220 Hz)を同時に呈示した場合、5名の被験者に人工的な触覚を惹起できた(3名は痺れのような感覚、2名は痒みのような感覚と回答)。なお、図7の丸印はデバイスを用いて被験者の指先に人工的な触覚を惹起できた割合を示している。

尺度評価の結果の一例として、複数の刺激を組み合わせて呈示した評価実験の一例として、振動と温度(温かい刺激)を組み合わせて呈示した場合、冷たい刺激の組み合わせの条件に比べて、被験者らが知覚する痛み感

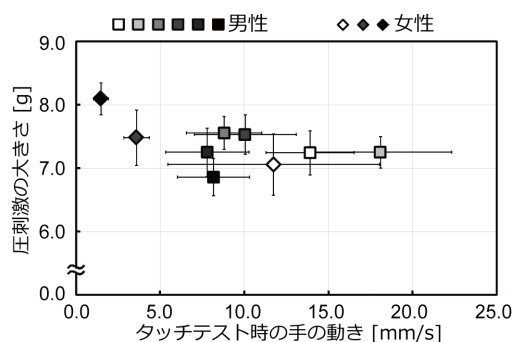


図4 手の動きと圧痛覚計による圧刺激の大きさの計測実験結果

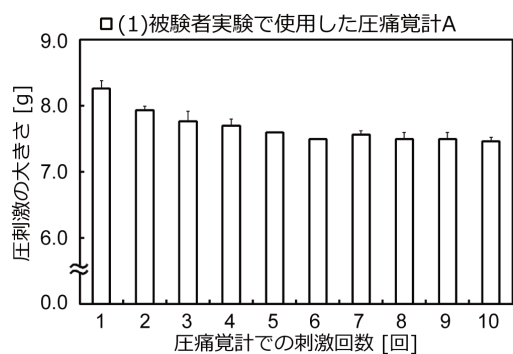


図5 動作回数と圧痛覚計による圧刺激の大きさの関係

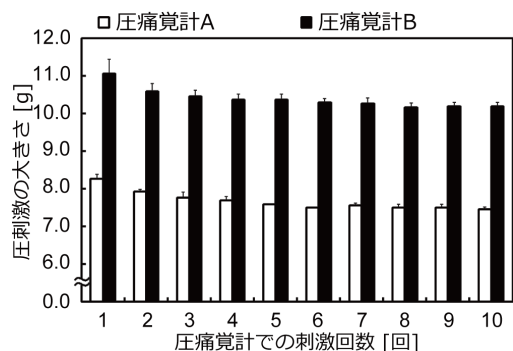


図6 長期的な視点からみた圧痛覚計の圧刺激の大きさと使用回数の比較

覚の擬音語表現であるちくちく感の回答には差が顕著にみられた(図8、図9)。さらに、被験者内での比較をすると振動刺激のみの呈示条件より知覚しやすい傾向にあること、また被験者間で比較をすると回答した尺度値に個人差が見られたことがわかった。

### (2) 評価実験のまとめ

この実験では、開発したデバイスを用いて、複数の物理刺激を合成して呈示した場合、痛み感覚であるちくちく感やずきずき感などを人工的に惹起することが可能であることが示された。

## 4.3. 考察

本研究では、再現性がある物理刺激を呈示可能なデバイスにより人工的に痛み感覚を再現し、触覚機能の評価する方法を提案し、この有効性の評価を行った。この方法を用い

ることによって一定した刺激呈示が可能になり、触覚機能の評価が容易になる一方で、痛みに関連する表現の回答（内観報告、尺度値）には個人差が見られることがわかった。この方法を用いて触覚に障害がある人たちの周囲の人たちが理解することができるような標準的な尺度レベルとして評価をするためには、今回使用した7件法の尺度評価だけでなく、客観的な指標を取り入れることが必要と示唆された。

#### 4.4. 今後の展望

今後、この研究をさらに発展させるため、本研究で開発したデバイスを用いた主観的な指標での評価に加え、脳機能計測などの客観的な指標と組み合わせ、触覚の質感情報を評価すること、さらに発達障害がある児童を被験者とした評価実験へと展開する予定である。

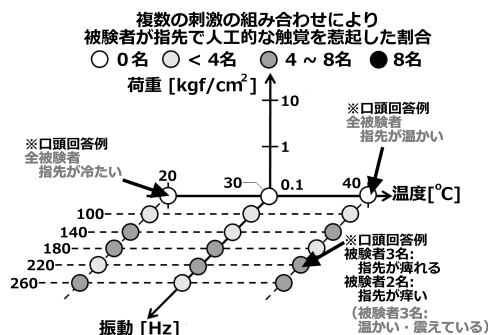


図7 触覚刺激呈示デバイスを用いて複数の刺激を合成して呈示した場合の内観報告の結果

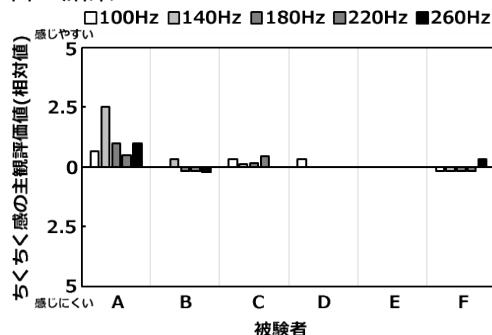


図8 触覚機能評価デバイスを用いて振動刺激と冷たい温度刺激を呈示した場合のちくちく感の主観評価の結果

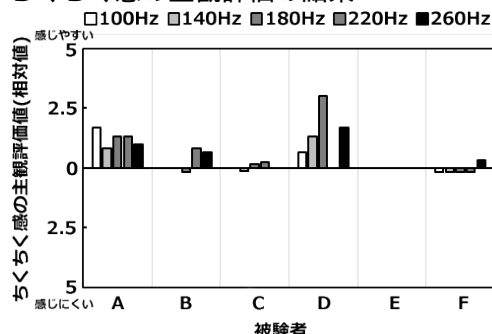


図9 触覚機能評価デバイスを用いて振動刺激と温かい温度刺激を呈示した場合のちくちく感の主観評価の結果

#### <引用文献>

American Psychiatric Association [Eds.], Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders -Fifth Edition-, American Psychiatric Association, Arlington, 2013.

三宅仁, 近井学, タッチブレンドを用いた触覚再現のための基礎, バイオメカニズム学会誌, 査読無, 39(2), pp.63-68, 2015.

近井学, 三宅仁, 発達障害児の触覚機能診断装置の開発, 医療機器学, 査読有, 84(1), pp.18-22, 2014.

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

近井学, 三宅仁, 布川清彦, 土井幸輝, 井野秀一, 表在感覚ディスプレイを用いて人工的に惹起される材質感に関する基礎的研究, ヒューマンインタフェース学会誌, 査読有, 17(4), pp.433-440, 2015.

〔学会発表〕(計4件)

近井学, 小澤恵美, 高橋紀代, 布川清彦, 井野秀一, モノフィラメントテストによる表在感覚検査値のばらつきに関する実験的検討, 人間情報研究部門シンポジウム, 2015年12月15日, 産業技術総合研究所臨海副都心センター(東京都江東区)

近井学, 小澤恵美, 高橋紀代, 布川清彦, 井野秀一, モノフィラメントを用いた触覚機能検査時の徒手動作に関する実験的検討, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2016年6月9日, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

近井学, 小澤恵美, 高橋紀代, 布川清彦, 井野秀一, 触覚機能検査に用いられるモノフィラメントによる発生力の一考察, 生体医工学シンポジウム 2016, 2016年9月17日, 旭川市大雪クリスタルホール国際会議場(北海道旭川市)

近井学, 土井幸輝, 布川清彦, 井野秀一, 触覚の質感情報の客観的評価のための刺激呈示デバイスの考案, 2016年12月15日, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

近井学(CHIKAI, Manabu)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・人間情報研究部門・研究員

研究者番号: 60758431