

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500548

研究課題名(和文)微小振動子アレイによる触覚呈示と末梢神経障害の定量的測定手法の開発

研究課題名(英文) Tactile display using micro-vibration array and the development of a quantitative measuring method of Diabetic Peripheral Neuropathy

研究代表者

澤田 秀之(Sawada, Hideyuki)

香川大学・工学部・教授

研究者番号：00308206

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、形状記憶合金ワイヤの微小振動子をアクチュエータとして用いた触覚呈示デバイスを構築し、指先感覚の喪失の程度を数値化する、指先触覚感度測定手法を開発した。

まず高出力触覚アクチュエータの研究開発をおこない、皮膚の微小部位に様々な周波数の振動刺激を与えることで、触覚の高次知覚の呈示が可能であることを示した。更に指先触覚感度を定量的に測定するシステムを構築し、糖尿病などで引き起こされる末梢神経障害に起因した指先感覚の喪失程度を数値化する測定法の実装をおこない、被験者実験により有効性を示した。糖尿病の症状の進行度を定量的に計れることは、早期の診断や的確な治療に大きく貢献できる。

研究成果の概要(英文)：Diabetes mellitus is a group of metabolic diseases, which causes high blood sugar to a person, due to the functional problems of the pancreas or the metabolism. Patients of untreated diabetes would be damaged by the high blood sugar in vessels, and this starts to destroy capillary vessels to lower the sensitivity of tactile sensations, then effects to various organs and nerve systems. We pay attention to the decline of the sensitivity of tactile sensations, and develop a non-invasive screening method of the level of diabetes using a novel micro-vibration actuator that employs a shape-memory alloy wire. The actuators are arranged in an array, and various tactile stimuli are generated by just controlling the driving current signals. The tactile stimuli are presented to subject's index and middle fingers, and he/she responds to the stimuli by answering how they are perceived. We made an experiment in a medical clinic, and evaluated the validity of the developed system.

研究分野：情報工学

キーワード：検査・診断システム 触覚呈示 形状記憶合金 糖尿病 非侵襲検査 微小振動 触覚受容器 溶接

1. 研究開始当初の背景

人間どうしのコミュニケーションにおいては、言語に加えて視覚、聴覚、触覚といった五感が有効に活用されている。視覚や聴覚機構が、カメラと映像ディスプレイ、マイクとスピーカを用いて工学的に再現されている一方で、人間のように触覚を検知し、また触覚情報として工学的に呈示する標準的な手法は、これまでに提案されていない。視覚や聴覚が、外界に存在する物理現象を視覚・聴覚受容器によって検出しているのに対し、触覚は、対象物の物理的構造を直接検出するのではなく、自分自身の皮膚の変形や熱伝導といった物理現象を元に、皮膚下に複雑に配置された触覚受容器によって知覚される。

触覚に関連する測定・呈示技術が未だ実用化に至っていないことは、医療分野においても診断機器の開発で大きく遅れをとっていることの原因の一つと言える。例えばこれまで医療分野では、糖尿病になった場合、その早期段階で指先の感覚麻痺が起こることが知られている。糖尿病の診断には、もっぱら血液採取による血糖値測定がおこなわれており、指先感覚の麻痺度合いを定量的に測定する機器は未だ実現していない。糖尿病患者の日常生活においては、手足のしびれや麻痺に伴う物体把持動作の障害や、手足の怪我に気づかないことなどが大きな問題となり、麻痺症状の度合いを的確に測定して診断できることは、生活の質向上の面からも大きな意義がある。しかし現在、麻痺の程度の測定方法は医師の手技として行われているだけで、診断基準としても、麻痺の有無程度の定性的なものに限られている。

申請者はこれまでに、形状記憶合金(Shape Memory Alloy: SMA) が電流により伸縮する性質に着目し、これをアクチュエータとして用いた触覚情報呈示デバイスの研究をおこなってきた。SMA を直径 $50\mu\text{m}$ 程度のワイヤに加工し、その両端に微弱電流を流すことによって全体長の 3% 程度の収縮が起こり、触覚呈示に利用できることを見出した。基本構造は、2本の導線(電極端子)を絶縁体に固定し、導線の先端に長さ 5mm 程度の SMA ワイヤを馬蹄型に曲げて接続した形状からなる。更に、本アクチュエータを複数個用いて、触覚の高次知覚であるファントムセンセーション(PS)と仮現運動(Apparent Movement: AM)の呈示が可能であることを示した。例えば AM は、皮膚上の 2 点を立上り位相差付きで刺激した場合に、その間を触覚感覚が連続して移動しているように感じる現象である。これら高次知覚を利用した情報呈示手段が実現できれば、少数の刺激点により、皮膚上の任意の点への触覚情報の呈示や、これまで困難であった動的な触覚感覚の呈示が可能になる。また、様々な触覚刺激の呈示を利用し、これまで定量的な測定方法がなかった、指先感覚の喪失の程度を数値化する、末梢神経障害の定量的測定手法の提案に繋がる。

2. 研究の目的

糖尿病は、今後大幅に患者が増えていくと予想される生活習慣病の中でも、大きな比率を占めている。その主要な症状の一つである指先の触覚感度が、発症の初期から発見でき、症状の進行度を定量的に計れることは、早期の診断や的確な治療に大きく貢献できる。申請者はこれまでに、SMA ワイヤの微小振動パターンを用いた、触覚感覚呈示の研究を進めてきた。本研究では、SMA ワイヤによる微小振動アクチュエータをアレイ状に配置した新しい触覚デバイスを構築し、微小振動刺激に対する触覚受容器の働きや機能を調べる。更にこれまで定量的な測定方法がなかった、糖尿病患者らの症状の一つである指先感覚の喪失の程度を数値化する、末梢神経障害の定量的測定手法の提案と開発を行うことを目的とした。

本研究では、下記の 3 点をおこなった。

- 1) SMA ワイヤを用いた触覚デバイスの構築
 - 2) 振動刺激パターンに対する触覚受容器の高次機能の科学的理解
 - 3) 末梢神経障害の定量的測定手法の開発
- 具体的な研究方法、成果について、以下に述べる。

3. 研究の方法

3.1 SMA アクチュエータの開発

触覚ディスプレイのアクチュエータとして、糸状に加工した SMA を用いる。直径 $50\mu\text{m}$ 、長さ 5mm 程度の SMA ワイヤは、 $T_2=72^\circ\text{C}$ まで加熱されると最大 5% 程度長さ方向に収縮し、 $T_1=68^\circ\text{C}$ まで下がると元の長さに戻るといった特性を持っている。Ti-Ni 合金から成る本 SMA ワイヤは導電体であり、電流を流すとその内部抵抗により即座に発熱するため、本研究で用いるような非常に細いものであれば、微弱な電流によって伸縮運動を制御することが可能である。図 1 に示すように SMA ワイヤをアーチ状に基板に取り付け、パルス電流を加えると、電流の ON/OFF によってワイヤは伸縮運動を繰り返すため、微小振動が発生する。

ここで用いるパルス入力信号の概形を、図 2 に示す。SMA ワイヤのヒステリシス特性により伸縮がおこるため、ここで交換される熱量を考慮してパルス信号の波高値 H および、パルスのデューティ比 W/L を決める必要が

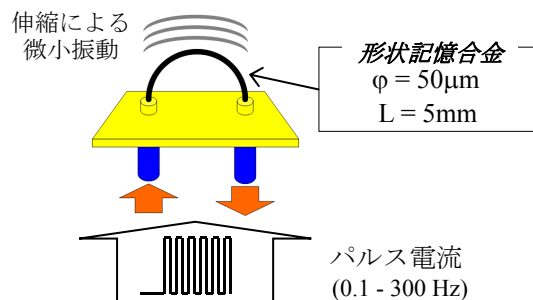
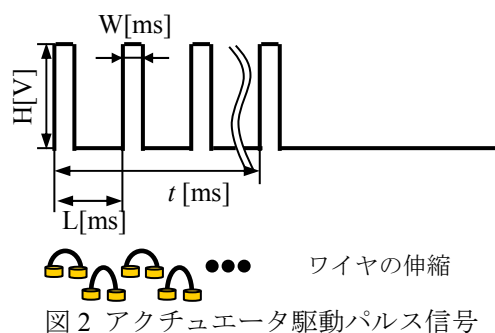


図1 微小振動アクチュエータの構造

ある。また同時に、SMA ワイヤを最も効率よく伸縮させるためには、導体の温度を T_1 と T_2 の間に保つ必要がある。 $H=2.5[V]$ 、 $W:L=1:30$ 程度のパルス信号を用いて、パルス周波数を変化させながら振動生成実験を行った結果、300[Hz]までの周波数で触知が可能な振動が発生することがわかった。またこの SMA アクチュエータを 50Hz で振動させた際、長さ方向に $3\mu\text{m}$ 程度収縮することを高速カメラによって確認した。これに手掌部や指腹部で直接触れると、十分に強い振動が知覚される。本研究では、アクチュエータ駆動パルス電流と、微小振動から知覚される触覚感覚について詳細な評価実験を行い、パルス生成条件を決定した。



3.2 高ストローク触覚デバイスの構築

振動刺激は主に、触覚受容器のうち、マイスナー小体とパチニ小体によって知覚される。本デバイスによってより多くの触覚感覚を呈示するためには、ルフィニ終末やメルケル細胞といった圧力や剪断力に対して発火する機械受容器も併せて刺激することが必要となる。そこで、高ストローク触覚デバイスの開発をおこなった。

本デバイスは図 3 に示すように、絶縁板に取り付けた SMA ワイヤの微小振動を、金属製の触知ピンに伝達して増幅する構造となっている。また小型省電力であり、チップ型アクチュエータとして様々な機器の表面や衣服の内面に実装して、皮膚の接触部位に触覚感覚を呈示することが可能である。

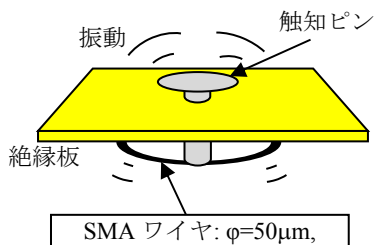


図 3 高ストロークデバイスの構造

3.3 SMA アクチュエータの駆動回路の開発

本アクチュエータは、SMA ワイヤに直接、パルス電流を流すことにより駆動する。駆動パルスの生成条件（周波数、デューティ比、波高値など）と、アクチュエータから呈示される微小振動の物理的特性は完全な対応関係にあるため、これを精密に制御するための駆動回路の開発をおこなった。また、手指の

触覚感覚の測定器に、外部計算機などの仲介を必要としないスタンドアロン型の機器の構築を目的とし、図 4 に示す小型の回路基板を開発した。16Ch のアクチュエータを同時にパルス駆動可能な定電流回路を実装している。また PC で作成した制御プログラムを USB 通信で本回路内のマイコンに転送し、スタンドアロンで SMA デバイスを駆動出来る。更に本アクチュエータは低消費電力のため、乾電池 4 本によって、16Ch 同時駆動で百時間以上の稼働が可能であることを確認した。

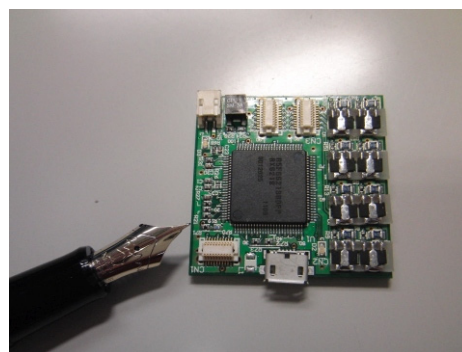


図 4 SMA アクチュエータ駆動回路

3.4 振動刺激パターンに対する触覚受容器の反応に関する考察

高ストロークアクチュエータをアレイ状に配置し、様々な駆動パラメータによって触覚感覚を呈示して、知覚される感覚について定量的な評価をおこなった。また、手指の触覚感度低下の度合いを定量的に測定するために必要な、アクチュエータの駆動条件を決定した。これらの検討を基に、利き手の人差し指および中指の、指先から第 2 関節の間に触覚刺激を呈示することとし、アクチュエータの配置を決定した。図 5 に、高ストロークアクチュエータを 4mm 間隔で 8 個配置したデバイスを示す。

これまでの研究成果を基に、末梢神経振動覚スコア (PNV score: Peripheral Neuropathy Vibration score) を提案し、本研究で構築した触覚呈示デバイスを用いた検査手法の有効性を調べた。本デバイスは、単に様々な振動による触覚刺激を提示するだけでなく、触覚の高次知覚を利用して、振動方向を任意に定めて提示することができる。そこで、任意の振動強度でランダムに振動移動方向を提示して、被検者にその方向を答えさせて正答の有無を判別する手法を提案し、被験者実験によりその有効性の検証をおこなった。

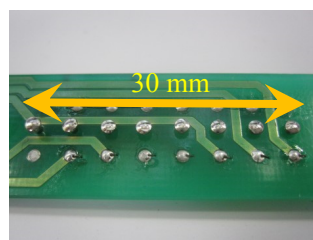


図 5 触覚アクチュエータアレイ

3.5 末梢神経障害の定量的測定手法の開発

構築した触覚デバイスを用いて、3種類のPNV検査方法について有効性の検証を行った。1つ目は、人差し指と中指の両方に指先から指元にむけた方向（図6のpattern 6）で振動を提示し、感じるかどうか被検者に申告してもらう方法（PNV1）である。2つ目は、ランダムに4方向（図6のpattern 1,2,3,4）の振動が提示され、振動方向を被検者が答え正答の有無を判別する方法（PNV4）である。3つ目は、ランダムに8方向（図6の全pattern 1~8）の振動が提示され、振動方向を被検者が答え正答の有無を判別する方法（PNV8）となる。

振動知覚閾値の定義は、ある強度において2回以上の検査で66%以上の正解率を達成できた最も低い強度とした。3種類の検査において、それぞれ振動強度を被検者に低い値から漸増して提示していき、正解できた段階で振動強度を下げ2回以上不正解が続いた時点で再度振動強度を漸増していく。振動強度を上下させながらある強度で2回以上の検査で66%以上の正解率を達成できた最も低い強度を知覚閾値（PNV score）とした。

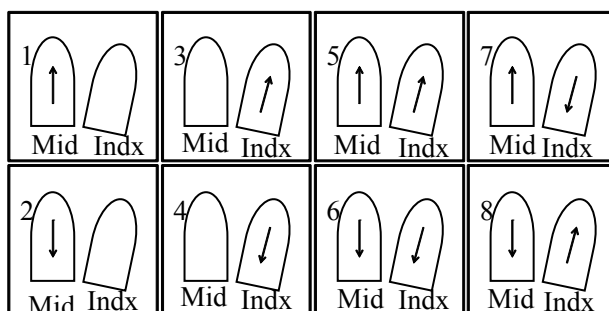


図6 触覚移動方向のパターン

糖尿病性末梢神経障害(Diabetic Peripheral Neuropathy: DPN)患者について、DPN診断を満たす患者(DPN患者)は、健常者あるいはDPNを満たさない患者(non-DPN患者)に比べて振動覚の低下が予想される。そこでPNV scoreの有効性を検証するため、図7に示す触覚感度測定装置を構築し、実験を行った。健常者10名、DNP患者31名を被験者とし、本装置を使ったPNV scoreの測定実験をおこなった。健常者の平均年齢は 63.4 ± 10.1 歳、DPN患者の平均は 68.7 ± 8.1 歳であった。



図7 構築した触覚感度測定装置

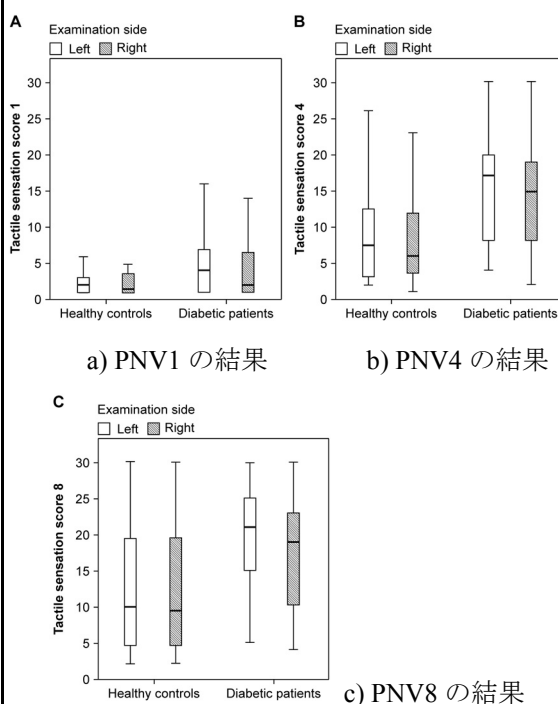


図8 PNV検査法による測定結果まとめ

結果を図8に示す。糖尿病患者において、本研究で構築した微小振動知覚装置を用いた検査法で計測した振動覚閾値は、non-DPN群と比較して3種類の検査法によらず有意に高かった。また、3種類実施した検査法の中でも4方向検査が最も有用な可能性が示唆された。1方向検査では、測定値のばらつきが、DNP患者は健常者群と比較して高値に向かって幅広くなった。これは1方向検査が、ある強度の振動を感じたかどうか被検者自身の申告による回答のため、特に指先感度の低下が大きいDNP患者においてあいまいになったためではないかと考えられる。一方の8方向検査においては、4方向と比較して方向性が複雑すぎてDPN群だけでなく健常者群でも判別が難しく、スコアのばらつきが見られた。特に二指間に異なる方向の振動が同時に発生するパターンは、複雑すぎて被検者を混乱させた可能性がある。

本装置により、人差し指と中指の2指を使い、簡便に触覚感度の測定が可能であることが解った。単一モードの検査であれば約1分で実施でき、従来の医師による検査と比較して、大幅に少ない時間で手軽に検査を行う事ができることが示された。

4. 研究成果

本研究では、糸状に加工した形状記憶合金(SMAワイヤ)の微小振動子をアクチュエータとして用いた触覚デバイスを構築し、糖尿病患者らの症状の一つである指先感覚の喪失の程度を数値化する、指先触覚感度測定手法を開発した。糖尿病の主要な症状の一つである指先の触覚感度低下が、発症の初期から発見でき、症状の進行度を定量的に計れることは、早期の診断や的確な治療に大きく貢献

できる。

SMA ワイヤを用いた高出力触覚アクチュエータの研究開発をおこない、皮膚のマイクロオーダーの部位に300Hzまでの微小振動刺激を与えることで、触覚の高次知覚であるファントムセンセーションや仮現運動の呈示が可能であることを示した。これらを利用して、物体をなぞった際の様々な触覚感覚が呈示できることを実証し、糖尿病患者の指先感度低下の程度を定量的に測定する手法の基本原理を確立した。

これらの成果を基に、指先触覚感度を定量的に測定するシステムを構築し、糖尿病などで引き起こされる末梢神経障害に起因した指先感覚の喪失程度を数値化する測定法の実装ならびに、実用化を目指した実証実験をおこなった。指先触覚感度測定システムは、触覚呈示アクチュエータを駆動するドライバおよびマイクロコンピュータ、液晶パネル表示器を電子基板上に一括実装し、乾電池 4 本で駆動する携帯型装置として構築した。内蔵のマイコンによって、SMA ワイヤの振動強度、周波数、振動立ち上がり速度、各素子の駆動タイミング、駆動時間などのパラメータを実時間制御し、触覚刺激を呈示する。指先触覚感度測定は、症状に応じた刺激パターンを手指に与え、これを患者に答えさせることにより感度の判定をおこなう手法を実装した。多様な年齢層の健常者ならびに、様々な診断レベル、症状、治療歴、既往歴を持つ糖尿病患者に対して実証実験をおこない、システムの有効性を確認した。

今後、より多くの患者に対して実験をおこない、有効性を実証した上で、装置の実用化を目指していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計10件)

- [1] Hideyuki Sawada, Keiji Uchida, Junichi Danjo and Yu Nakamura: "A Screening Device of Diabetic Peripheral Neuropathy Based on the Perception of Micro-vibration Patterns", 2015 RISP Int'l Workshop on Nonlinear Circuits, Comm. and Signal Processing, pp. 162-165, 2015 (査読有)
- [2] **Student Paper Award**, Yoshiaki Iwatani and Hideyuki Sawada: "Tactile Glove Using SMA Wires for Presenting Pseudo-tactile Sensations in VR Space", 2015 RISP Int'l Workshop on Nonlinear Circuits, Comm. and Signal Processing, pp. 166-169, 2015 (査読有)
- [3] Hideyuki Sawada and Guangyi Zhu: "Presenting Tactile Stroking Sensations from a Touch Screen Using the Cutaneous Rabbit Illusion", Mecatronics2014, pp. 371-376, 2014 (査読有)
- [4] Hideyuki Sawada and Potsawat Boonjaipetch: "Tactile Pad for the Presentation of Tactile Sensation from Moving Pictures", Int'l Conference on Human System Interaction, pp.

135-140, 2014 (査読有)

- [5] Changan Jiang, Keiji Uchida and Hideyuki Sawada, "Research and Development of Vison Based Tactile Display System Using Shape Memory Alloys", Int'l Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.10, No.3, pp. 837-850, 2014 (査読有)
- [6] Yuto Takeda and Hideyuki Sawada, "Tactile Actuators Using SMA Micro-wires and the Generation of Texture Sensation from Images", IEEE/RSJ Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 2017-2022, 2013 (査読有)
- [7] Hideyuki Sawada, Yu Nakamura, Yuto Takeda and Keiji Uchida: "Micro-vibration Array Using SMA actuators for the Screening of Diabetes", Int'l Conf. on Human System Interaction, pp. 620-625, 2013 (査読有)
- [8] Feng Zhao, Changan Jiang and Hideyuki Sawada: "A Novel Braille Display Using the Vibration of SMA Wires and the Evaluation of Braille Presentations", Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.7, No.4, pp.416-432, 2012 (査読有)
- [9] Shinji Okumoto, Feng Zhao and Hideyuki Sawada: "TactoGlove Presenting Tactile Sensations for Intuitive Gestural Interaction", 21st IEEE Int'l Symposium on Industrial Electronics, pp.1680-1685, 2012 (査読有)
- [10] Hideyuki Sawada, Feng Zhao and Keiji Uchida: "Displaying Braille for Mobile Use with the Micro-vibration of SMA Wires", Int'l Conference on Human System Interaction, CD-ROM Proceedings, 2012 (査読有)

〔学会発表〕(計20件)

- [1] Shohei Kitano and Hideyuki Sawada: "Development of a Haptic Device for Tactual Search in Virtual Environment", 5th Chiang Mai Univ. - Kagawa Univ. Joint Symposium, pp. 38-39, 2014年9月10日, Chiang Mai University (タイ王国)
- [2] **講演**, 澤田秀之:「SMA アクチュエータを用いた触覚の幻覚生起と触覚感覚の呈示」, AsiaHaptics2014 触覚講習会「触覚技術の基礎と応用 ～ヒトの触覚理解からヒューマンマシンインタフェースやロボットへの応用まで」, 2014年11月18日, つくば国際会議場 (茨城県つくば市)
- [3] **Best English Presentation Award**, Yuan Sui and Hideyuki Sawada: "Touching and feeling a virtual object with TactileGlove", 電気関係学会 四国支部連合大会 講演論文集, 2014年9月13日(土), 徳島大学 (徳島県徳島市)
- [4] Yoshiaki Iwatani and Hideyuki Sawada: "An Experimental System for Presenting Tactile Penetrating Sensation", 電気関係学会 四国支部連合大会 講演論文集, 2014年9月13日(土), 徳島大学 (徳島県徳島市)
- [5] **研究展示**, 澤田秀之:「ジェスチャ・タッチによるロボットとのコミュニケーション

- ン)、ディスカバリーラボ ISHIKAWA 2014、2014年11月8日～9日、石川県産業展示館(石川県金沢市)
- [6] 岩谷亮明, 澤田秀之:「VRエンタテインメントに向けたエア楽器演奏システム」, 情報処理学会インタラクティブ 2014 論文集, pp. 587-592, 2014年2月28日, 日本科学未来館(東京)
- [7] 朱 広毅, 澤田秀之:「振動パターンと視覚情報の同時刺激による Cutaneous Rabbit Illusion 効果の向上」, 計測自動制御学会 第14回システムインテグレーション部門講演会(SI2013), pp. 1575-1578, 2013年12月18日～20日, 神戸国際会議場(兵庫県神戸市)
- [8] Yoshiaki Iwatani and Hideyuki Sawada: "Immersive Air Guitar System Presenting Tactile Sensations", 電気関係学会 四国支部連合大会 講演論文集, 2013年9月21日(土), p.303, 徳島大学(徳島県徳島市)
- [9] Guangyi Zhu and Hideyuki Sawada: "Presenting the "Cutaneous Rabbit" Illusion with Visual Stimulation", 電気関係学会 四国支部連合大会 講演論文集, 2013年9月21日(土), p.304, 徳島大学(徳島県徳島市)
- [10] 研究展示, 澤田秀之:「ジェスチャ・触覚を使ったロボットとのコミュニケーション」, いしかわ"夢"未来博, 2013年11月9日(土)～10日(日), 石川県産業展示館(石川県金沢市)
- [11] 岩谷亮明, 澤田秀之:「触覚呈示を備えた没入型エアギターシステム」, 情報処理学会インタラクティブ 2013 論文集, pp. 352-355, 2013年2月28日, 日本科学未来館(東京)
- [12] 朱 広毅, 澤田秀之:「手掌への Cutaneous Rabbit 現象の呈示」, 計測自動制御学会 第13回システムインテグレーション部門講演会(SI2012), pp. 2048-2011, 2012年12月18日～20日, 福岡国際会議場(福岡県福岡市)
- [13] 武田優斗, 澤田秀之:「画像特徴の自動抽出による触覚感覚の呈示」, 計測自動制御学会 第13回システムインテグレーション部門講演会(SI2012), pp. 2052-2055, 2012年12月18日～20日, 福岡国際会議場(福岡県福岡市)
- [14] **Best English Presentation Award**, Guangyi Zhu and Hideyuki Sawada: "Presenting the Sequential "Cutaneous Rabbit" Illusion on Palm", 電気関係学会 四国支部連合大会 講演論文集, p.346, 2012年9月29日, 四国電力 総合研修所(香川県高松市)
- [15] Yoshiaki Iwatani and Hideyuki Sawada: "The air guitar system with tactile presentation", 電気関係学会 四国支部連合大会 講演論文集, p.229, 2012年9月29日, 四国電力 総合研修所(香川県高松市)
- [16] Yuto Takeda and Hideyuki Sawada: "A Tactile Pen and the Presentation of Tactile Sensations from a Touch Screen", 電気関係学会 四国支部連合大会 講演論文集, p.345,

2012年9月29日, 四国電力 総合研修所(香川県高松市)

- [17] 研究展示, 澤田秀之:「人の機能をロボット技術で再現する」, いしかわ"夢"未来博, 2012年11月10日～11日, 石川県産業展示館(石川県金沢市)
- [18] 岩谷亮明, 澤田秀之:「触覚呈示を備えた没入型エアギターシステム」, 第2回 Microsoft Kinect for Windows Workshop, 2013年2月28日, 日本科学未来館(東京)

[図書] (計 1件)

- [1] 触覚認識メカニズムと応用技術-触覚センサ・触覚ディスプレイ-【増補版】, サイエンス&テクノロジー, 2014年3月19日発行, ISBN 978-4-907002-37-4, 「微小振動子アレイを用いた触覚ディスプレイと触覚の提示」を執筆, pp. 497-509, 2014

[産業財産権]

○取得状況(計 3件)

名称: 末梢神経検査装置
 発明者: 内田啓治, 澤田秀之
 権利者: 株式会社エスシーエー、香川大学
 種類: 特許
 番号: 5118777
 出願年月日: 2012年04月06日
 取得年月日: 2012年10月26日
 国内外の別: 国内

名称: 生体への情報伝達装置
 発明者: 内田啓治, 澤田秀之
 権利者: 株式会社エスシーエー、香川大学
 種類: 特許
 番号: 5292655
 出願年月日: 2012年10月21日
 取得年月日: 2013年06月21日
 国内外の別: 国内

名称: 生体への情報伝達装置
 発明者: 内田啓治, 澤田秀之
 権利者: 株式会社エスシーエー、香川大学
 種類: 特許
 番号: ZL201080048630.6
 出願年月日: 2013年10月21日
 取得年月日: 2014年12月17日
 国内外の別: 外国

[その他]

香川大学澤田研究室
<http://www.eng.kagawa-u.ac.jp/sawada/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤田 秀之 (Hideyuki Sawada)
 香川大学・工学部・教授
 研究者番号: 00308206

(2) 連携研究者

中村 祐 (Yu Nakamura)
 香川大学・医学部・教授
 研究者番号: 70291440