

平成21年 4月30日現在

研究種目：特定領域研究  
 研究期間：2004～2008  
 課題番号：16078207  
 研究課題名（和文） マイクロアクチュエータ・アレイによる圧覚とすべり覚の融合呈示  
 研究課題名（英文） Combined Presentation of Pressure and Slippage Using Micro Actuator Array  
 研究代表者  
 大岡 昌博（OHKA MASAHIRO）  
 名古屋大学・大学院情報科学研究科・准教授  
 研究者番号：50233044

研究成果の概要：触覚の受容器はヒトの手および掌に多数分布して存在しており、触覚認識において滑り力が刺激として重要な役割を有していることがわかってきている。したがって、圧覚を呈示するポイントを分布して配置するだけでは不十分であり、一つの触覚呈示ポイントが圧覚と滑り覚を同時呈示できると有効であると考えられる。本研究では、一つの触覚呈示ポイントにおいて圧覚と滑り覚が同時に呈示できる触覚呈示ポイントを開発し、それを多数配置してアレイ状に構成した触覚ディスプレイを開発することを目的としている。その実現のためのキーパーツとして、研究期間内にシリアル形とパラレル形の二種類の二軸アクチュエータを開発してその特性を調べた。また、その研究と平行して、マスタマニピュレータに触覚ディスプレイを搭載して仮想作業に関する研究も進めた。滑り覚と圧覚を同時呈示できるマウスを開発して、仮想図形の識別に同時呈示が有効であることも確認した。精度の点でパラレル形アクチュエータの方が優れていることが分かったため、研究期間内の後半ではパラレル形二軸アクチュエータを中心に研究を進めた。開発した二軸アクチュエータをマイクロロボットハンドに応用するためにニューラルネットワークによる新しい制御方法も研究した。その結果、変位、電圧の現在値、昇圧・降圧の情報と次のステップに与えるべき電圧の増分値の組を学習させ、その結果を積分してそれを入力層にフィードバックさせる新しいネットワークを考案した。実験の結果、マイナーループが複数ある複雑なPZTアクチュエータの履歴特性でも精度よく学習できることがわかった。本研究で開発されたアクチュエータ技術は、触覚呈示やマイクロマニピュレータに広く応用できると考えている。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	11,900,000	0	11,900,000
2005年度	13,300,000	0	13,300,000
2006年度	6,300,000	0	6,300,000
2007年度	4,800,000	0	4,800,000
2008年度	3,400,000	0	3,400,000
総計	39,700,000	0	39,700,000

研究分野：アクチュエータ

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード： マイクロ、アレイ、PZT、バイモルフ、二軸、触覚、圧覚、滑り覚

## 1. 研究開始当初の背景

バーチャル・リアリティ技術において、近年触覚の呈示装置に関心が集まっている。触覚の受容器はヒトの手および掌に多数分布して存在するため、触覚呈示ポイントを多数分布して配置する必要がある。また、触覚認識において滑り力が刺激として重要な役割を有しているため、一つの触覚呈示ポイントが圧覚と滑り覚を同時呈示できると有効であると考えられる。一方、バイオテクノロジー分野において、品種改良のための受精卵核移植・クローン作成、および GFP (Green Fluorescent Protein) をレポーター遺伝子として用いた細胞の変化のリアルタイム観察などの細胞操作の高度化が求められている。

以上で紹介した二つの分野において、キーパーツとして多自由度方向に動くアクチュエータが求められている。前者の用途においては、複数配列することが求められているために、可能な限り小型である必要がある。また後者の用途では、 $1\mu\text{m}$ 以下の微細な動きから  $1000\mu\text{m}$ 程度の粗大な運動までのマルチスケールな運動を一つのアクチュエータでこなせることが求められている。いずれの用途に使用するにしても、二自由度あれば、それと従来のアクチュエータを組み合わせることで容易に三自由度に拡張可能なので、最小次元は二自由度である。後者の用途については、可動部が小型であることは必ずしも必要ではないが、小型化できれば真空容器内に導入することも可能になるなど適用分野が格段に広がる。

## 2. 研究の目的

前述の研究背景に鑑み、本研究では、二軸の小型アクチュエータを開発することを第一の目的とする。このようなアクチュエータができれば、一つの触覚呈示ポイントにおいて圧覚と滑り覚が同時に呈示できる触覚呈示ポイントを開発し、それを多数配置してアレイ状に構成した触覚ディスプレイの開発が可能となる。それと同時に、このアクチュエータ技術は、開閉だけでなくせん断運動が可能なマイクロハンドを実現できる。

この二軸アクチュエータを開発するにあたり、ガタや遊びが少なく、しかも発熱などの問題が少ない圧電素子を基本要素として採用する。しかし圧電素子には電圧と変位の関係が非線形となるとともに、両者の関係に履歴特性がある。これを補償する方法を考える必要がある。本研究では、第二の目的として決定論に基づく新しいニューラルネットワークを構成して、圧電アクチュエータ向きの

ニューラル制御方式を開発する。

さらに、開発した二軸アクチュエータにより構成する触覚ディスプレイの有効性を確認するために、触覚ディスプレイ搭載マスタハンド、並びに触覚マウスを開発して、仮想作業を通じた検証実験を行うといった応用研究を第三の目的とする。

さらに、本研究の応用先としてバーチャル・リアリティと細胞操作のどちらを想定するにしても、操作するヒトの触覚の特性を調べて装置設計に反映させる必要がある。このため、第四の目的としてヒトの触覚、特に圧覚とせん断力に対する応答特性を心理物理学により調べて、ディスプレイ装置の設計に活用できる知見を得る。

本研究の最も大きな特徴で独創的な点は、4種類の触覚受容器に刺激を伝達することを目的として、アクチュエータ・アレイを実現することである。さらに、そこで開発された二軸アクチュエータを用いて、細胞の2次元平面内の移動・回転が可能なマイクロハンドの開発を目指していることも重要な特色である。これらの装置は、リハビリテーションやロボット工学一般に応用されるだけでなく、バイオサイエンスに活用できるので学術的にも重要な意義を有する。

一方、積層型 PZT アクチュエータを組み合わせ、エンドエフェクタを多自由度に動作させる研究事例がいくつか報告されている。また、それを用いて直径  $500\mu\text{m}$ のマイクロエアービンや高さ  $100\mu\text{m}$ のマイクロ鳥居の組み立てなどの成功例も報告されている。細胞単位の手術を実現するには、広範囲の細胞の移動や姿勢制御が要求され、それを目指している点で、本研究はさらに進んだ研究と位置付けられる。

## 3. 研究の方法

本研究ではシリアル形とパラレル形の二軸アクチュエータを設計製作して、それらの基本特性を明らかにする。シリアル形アクチュエータとは、運動方向を  $90$ 度ずつ回転して直列に接続されたバイモルフ形の圧電素子から構成されている。根元の位置(固定側)の圧電素子のねじり剛性を高くしないと剛性の方向依存性が大きくなるので、根元の圧電素子は二枚平行に設置する方式を採用する。他方のパラレルアクチュエータは、二本のバイモルフ形圧電素子をハの字形に設置して、双方の自由短を微小な2リンクで接続する。このアクチュエータでは、中間関節が駆動部となる。

以上のアクチュエータの特性を調べるた

めに、自作の二軸の微小力覚センサおよびレーザー変位測定装置から変位と力を計測できる試験装置を開発する。

前に述べたように圧電素子には、印加電圧と発生変位の間に非線形性とヒステリシス特性があることが知られている。このヒステリシス特性を除くために数学モデルが提案されているが、圧電体の物理特性だけでなく接着剤の粘弾性特性が合わさったものとして生じているために完全な補償は困難であるのが現状である。そこで、未来の状態は現在の瞬間の物理量とその変化量で決定されるという決定論が成立すると仮定して、新しいニューラルネットワークを考案する。これにより単純に履歴特性を記憶する場合と比べて、顕著に小さいネットワーク規模でも多くのマイナーループを含むヒステリシス特性をシミュレーション可能となる。

圧覚と滑り覚提示の有効性を検証するために、触覚ディスプレイを装着したマスタマニピュレータを開発する。検証実験では、仮想ペグインホールを被験者に行わせる。このタスクを採用した理由は、本システムを将来リハビリテーションへ応用することも視野に入れているためである。また、二軸の直線運動モータを組み入れた触覚マウスに触覚ディスプレイを搭載したマウスを新しく開発する。仮想物体の外形をトレースする実験により圧覚と滑り覚の有効性を検証する。

さらに、ヒトの圧覚と滑り覚の認識特性を調べることを目的として、ヒトの指先に垂直振動とせん断振動を加えて、感覚閾を調査する。調査方法としては、心理物理実験の中でもPEST (Parameter Estimating Sequential Testing) 法と呼ばれる方法を採用する。すなわち、実験中固定された標準刺激と変動する比較刺激を順に提示してどちらが大きく感じたかを判定させる。正解であれば、問題が難しくなるように差を小さくし、不正解であれば差を大きくする。変動幅が定められた範囲に収まるまで実験を継続して、収束時の標準刺激と比較刺激の差を閾値とする。

領域内では、アクチュエータの加工法について研究開発を進めている班もある。多自由度のアクチュエータを進めている班もある。これらの班の研究者と意見交換することによって、研究が相補的に進むと期待される。

#### 4. 研究成果

研究期間内に達成できた主な研究成果について、以下では項目別に概説する。最後の節には、本研究の本題からは少しく離れるが、領域で研究交流を行う中で得られた成果について報告する。

##### (1) 二軸マイクロアクチュエータの開発

三軸化が容易であることから、当初シリアル形アクチュエータについては、触覚ディス

プレイへの適用、平行形アクチュエータについてはマイクロハンドへの適用を念頭において開発した。

今後の設計を容易にするために、バイモルフ形圧電素子の特性を近似する基礎式やシリアル形アクチュエータの基礎式を定式化して、実験によりそれらの妥当性を検証した。その結果、線形近似であるために、誤差は顕著であるものの、あらかじめその誤差を見込んで設計すれば十分使用できることがわかった。しかしながら、 $x$ 方向と $y$ 方向の間の剛性の差が大きいため、シリアル形については開発を一端ペンディングすることとして、当面平行形を中心に研究開発を進めることとした。

平行形については、リンクの運動学を定式化して、所定の印加電圧を決定するための逆運動学の微分形式も定式化した。さらに単純オイラー法に基づく制御方式も確立して、実験によって妥当性を検証した。その結果、 $x$ 軸あるいは $y$ 軸に沿った運動制御については、この制御方式で十分であることがわかった。しかしながら、放射状経路や二次元の非比例経路に適用するには限界があることがわかった。

将来のマイクロマニピュレーションへの応用については、特に精度が要求されるので、圧電素子の制御法についてより詳細な検討が必要であることがわかった。

##### (2) 圧電素子の制御のための決定論に基づく新しいニューラルネットワーク

本研究で研究開発を推進する平行形アクチュエータに限らず、全ての圧電アクチュエータの開ループ制御性能を高めることを目的として、新しいニューラル制御方式を考案した。

前述のように、本ネットワークは、現在計測可能な物理量を全て知ってしまえば、未来永劫全ての状態を漸化式的に予測することができるといった決定論に基づいている。圧電アクチュエータについて観測可能な物理量として、印加電圧と発生変位がある。また、昇圧過程と降圧過程では特性が異なるので、現在どちらのステージにあるのかという情報が必要となる。ここでは、印加電圧、発生変位、除荷・負荷の別を入力として、印加電圧の増分値を出力とする。実験から得られたこれらの入出力データを組として、その集合を多層パーセプトロンに学習させる。学習法則については従来の誤差逆伝搬法を用いる。学習後、出力された電圧の増分値を一ステップ前の電圧値に足し合わせる積分演算を行い、入力層へフィードバックさせる。このフィードバック結合がある点で従来法とは異なる。また、誤差逆伝搬法を用いることが出来る点で、リカレント形のネットワークとも異なる。

検証実験では、入力層、中間層、出力層の素子数がそれぞれ4、10および1のネットワークモデルを用いた。バイモルフ形のピエゾ素子に対して内部に3つのマイナーループの履歴を与えて得られた印加電圧と発生電位の関係を求めて、それらを本ニューラルネットワークモデルに学習させた。比較的小規模のネットワークにもかかわらず精度よくこれらの履歴を学習することができた。

前述のように本パラレル形二軸アクチュエータは、2つの圧電素子から構成されている。圧電素子は、同ロットでも個体ごとに特性が異なることが多い。試作した二軸アクチュエータについても左右の圧電素子の間に特性の差が認められた。左右の圧電素子に対して一つずつ本ニューラルネットワークモデルを用意して制御系を構成した。経路計画に従って、空間上のxおよびy方向の変位時間導関数が決定される。それらを逆運動学計算の数式に代入することにより左右の圧電素子で発生すべき変位増分に変換する。変位増分の正負により除荷過程か負荷過程かが決定されるとともに、それを変位の初期値に差し合わせることで変位の現在値を求める。印加電圧の現在値とそれらを左右のニューラルネットワークモデルに代入する。出力された電圧増分は積分演算された後に入力層にフィードバックされる。

上述の制御系を用いて、非比例経路の代表として円形経路に対する実験を行った。その結果、直線部分の第一分枝およびそれに続く1/4円までは精度よく制御できた。しかし、その後の経路についてはまだ十分な精度でないために、改良を継続している。

### (3) 触覚ディスプレイを搭載したマスタマニピュレータの開発

圧覚と滑り覚の同時呈示が有効であることを検討するために、平面マニピュレータに圧覚ディスプレイを搭載して仮想物体のハンドリング実験を行った。その実験では、仮想のペグをもってその大きさを判定するタスクとそのペグを仮想の穴に差し入れる実験を行った。

まず、前者の実験では、触覚があると物体に触れたか触れないかの情報がはっきり伝わるので、力覚呈示のみの場合より大きさの判定精度が向上することがわかった。仮想現実感に触覚を付加する意義の一つと考えられる。

後者の実験では、力覚呈示のみの場合と力覚と触覚の同時呈示の場合で穴の挿入精度の比較を行った。その結果、力覚呈示のみの場合には、穴とペグのかじりつきが生じるとペグの姿勢がわからないために、かじりつきがひどくなる方向に修正しようとするのが認められた。触覚が搭載されるとペグの姿勢を知ることができるのでこのような事態

を避けることができる。両者の間で精度の差について数値上は大きくないが、上述のようなことがあるので、やはり触覚呈示があるとペグを差し入れやすくなると言える。

さらに、仮想テクスチャの判定精度についても調整法により確かめた。この実験では、被験者に格子状の標準仮想テクスチャと同じ格子の公差角度になるように比較テクスチャを調整させた。触覚マウスでも同じ実験を別途行った。それと比較すると、マニピュレータに触覚ディスプレイを搭載した場合の方が予想に反してテクスチャの判定精度が低下することがわかった。マウスの方が軽く動くのに対して、マニピュレータの方は慣性力（慣性力補償はしていない）を感じてしまうので、それが被験者にはノイズとして作用したものと考えられる。今後の実験で改善して行きたい。

### (4) 圧覚と滑り覚呈示形触覚マウスの開発

圧覚と滑り覚の融合呈示の妥当性を検証するために、2自由度ボイスコイルモータによるせん断力呈示機能が付加された触覚マウスに触覚ディスプレイを搭載して実験を行った。適当な大きさの円、正三角形、正方形のレリーフ状仮想図形（高さ1mm）の輪郭に沿って触る実験である。外部から輪郭に進入する際に輪郭に沿ったせん断力を呈示するとともに、完全に図形内に進入した後は、一定のせん断抵抗を発生させた。触覚ディスプレイは、厚さ1mmの板状の図形として、カーソルのポインティング位置を基準として圧覚を呈示するようにした。

実験の結果、圧覚だけの場合より滑り覚呈示を同時に行った方が輪郭の追従精度が高くなった。圧覚だけの場合、図形上に完全にカーソルが乗ってしまうと、触覚ディスプレイの触知ピンが出たままの状態になる。被験者は図形上に指が乗っているのか、外なのかわからなくなってしまうので迷子になってしまうことが原因と考えられる。さらに、輪郭部分に侵入しようとしたときにせん断抵抗を受けるので、輪郭の位置をより把握しやすくなっていることも原因であると考えられる。

身近なマウスを応用の対象に考えると、使用の範囲が広がり適用の機会が早く出る可能性があるため、今後もこの触覚マウスの研究を継続する予定である。

### (5) ヒトの圧覚と滑り覚に対する心理物理実験

加振器を使用して被験者の指にサブミクロンから数十ミクロンの振動刺激を加える装置によりヒトの触覚の周波数特性を調べた。振動方向について二種類を行った。皮膚に垂直な方向と皮膚に沿った方向である。前者と後者はそれぞれ圧覚と滑り覚に相当する。

まず、垂直振動について心理物理関数を調

べると 100Hz 以上では U 字形となっており、4Hz~50Hz までは単調減少関数となっていた。また、直径 2.5mm と 8mm の接触子による結果を比較すると、単調減少の低周波領域では両者の結果がほぼ一致していることから空間加重が認められないことがわかった。一方、U 字形を示す高周波領域では接触子が大きいほど小さい閾値を示したことから、明確な空間加重現象が認められた。このことは、低周波と高周波の領域で異なるセンシング・システムが機能していることを意味している。

次にせん断方向と垂直方向の心理物理関数を重ね合わせ検討すると、U 字形を示す 100-350Hz の高周波領域ではせん断方向と垂直方向の結果はほぼ一致した。一方、4-50Hz の低周波領域では、せん断方向と垂直方向の傾きはそれぞれ-1.22 と-0.74 であった。この結果、この周波数領域で機能しているシステムは、せん断方向と垂直方向のそれぞれに対して SA II と FA I であることが推察された。

(6) オプティカルフローを利用した触覚センサの開発

A0 班の兵庫県立大学では高度なマイクロ加工技術を有している。この技術は勿論アクチュエータ製作に役立てることができるが、特定領域以外で進める触覚センサの研究により直接的に役立つことがわかった。触覚センサはスレーブハンドに装着されるという意味から本テーマと関係があるので以下で紹介する。

本触覚センサは、光導波形触覚センサと呼ばれるものである。シート状光ファイバーにより端面から平行光が照射されたアクリル板と表面にテクスチャが施されたゴムシートから構成される。テクスチャ面がアクリル板に接する側になるようにゴムシートが設置されて、テクスチャ面とは反対の面がセンシング面となる。センシング面が押されると、テクスチャがアクリル板に接触する。接触した箇所での光の散乱が観測されるので、接触面とは反対のアクリル面の方から接触の様子が観測される。この接触の様子を画像処理して圧覚とせん断力を求めようとするのがこの触覚センサの原理となっている。

兵庫県立大学では、金属表面に微細な加工を施す技術を各種保有している。高さ 15 $\mu$ m、底面の直径が 30 $\mu$ m の円錐加工をランダム状に分布して表面に形成した金属の板を同大学高度産業科学技術研究所にて製作した。それを金型として用いてテクスチャ付きシリコンゴムシートを製作した。

本触覚センサの圧力分布は CCD カメラにより獲得した画像から輝度分布により計測できる。また、せん断力分布については、触子の接触部分の移動量をオプティカルフローにより求めてそれがせん断力に比例するこ

とを利用して同定する。

以上の原理を検証するために試作を実施して圧力の較正実験を行ったところ、輝度値と圧力は一対一対応していることがわかった。せん断力についても、オプティカルフローとせん断力の間の一対一対応があることがわかった。

現在、触子形状の最適化等の検討を継続して進めている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

① M. Ohka, K. Kato, T. Fujiwara, Y. Mitsuya, T. Miyaoka, Presentation Capability of Compound Displays for Pressure and Force, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 査読有, Vol. Vol. 2, No. 1, pp. 24-36 (2008).

② M. Ohka, H. Koga, Y. Mouri, T. Sugiura, T. Miyaoka and Y. Mitsuya, Figure and Texture Presentation Capabilities of a Tactile Mouse Equipped with a Display Pad Stimulus Pins, Robotica, 査読有, Vol. 25, pp. 451-460 (2007).

③ 大岡昌博, 澤本泰宏, 松川志保, 三矢保永, 宮岡徹, 二軸マイクロ・ピエゾアクチュエータのニューラル制御, 電気学会論文誌 E, 査読有, Vol. 127-12, pp. 533-539 (2007)

④ 大岡昌博, 澤本泰宏, 松川志保, 三矢保永, 宮岡徹, 圧覚滑り覚同時提示形触覚ディスプレイ用二軸アクチュエータ, 電気学会論文誌 E, 査読有, Vol. 127, No. 12, pp. 524-532 (2007).

⑤ 大岡昌博, 古賀浩嗣, 宮岡徹, 三矢保永, 高密度ピンアレイ形触覚マウスによる格子状仮想テクスチャ呈示 (第 2 報: 触知ピン間隔, テクスチャ密度および畝高さの検討), 日本機械学会論文集(C編), 査読有, 72 巻 715 号, pp. 3174-3180 (2006).

⑥ 大岡昌博, 加藤圭太郎, 藤原健洋, 三矢保永, 圧覚と力覚の複合ディスプレイ装置の試作, 電気学会論文誌 E, 査読有, Vol. 126, No. 4, pp. 150-157 (2006).

⑦ 大岡昌博, 古賀浩嗣, 宮岡徹, 三矢保永, 高密度ピンアレイ形触覚マウスによる格子状仮想テクスチャ呈示 (第 1 報: 高密度ピンアレイ形触覚マウスの試作と性能評価実験法の確立), 日本機械学会論文集(C編), 査読有, 71 巻 711 号, pp. 3174-3180 (2005).

〔学会発表〕(計 19 件)

① K. Esumi, M. Ohka, Y. Sawamoto, S. Matsukawa and T. Miyaoka, Improvement of a Parallel Type Two-axial Actuator Controlled by a Multi-layered Neural Network, MHS2008 Micro-Nano COE, 査読有, pp. 255-260, Nagoya, Nov. 7, (2008).

② M. Ohka, K. Esumi, Y. Sawamoto, S. Matsukawa, T. Miyaoka, Two-dimensional Trajectory Generated a Two-axial Piezoelectric Actuators Controlled by Neural Networks, Actuator 2008, 査読有, pp. 196-199, Bremen, June 10, (2008).

③ Y. Zho, M. Ohka, T. Miyaoka, A Tactile Display Presenting Pressure Distribution and Slippage Force, Proc. of Symposium on Haptic Interface for Virtual Environments and Teleoperator Systems, 査読有, pp. 281-285, Reno, USA, Mar. 13, (2008).

④ M. Ohka, Y. Sawamoto, S. Matsukawa, T. Miyaoka and Y. Mitsuya, Parallel Type Two-axial Actuator Controlled by a Multi-layered neural Network, MHS2007 Micro-Nano COE, 査読有, pp. 418-423, Nagoya, Nov. 13, (2007).

⑤ 大橋令, 藤原健洋, 加藤 圭太郎, 大岡昌博, 触覚・力覚複合ディスプレイによる仮想ペグ差し, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会, 査読無, 津田沼, 9 月 15 日, 1H16(2007).

⑥ Y. Sawamoto, S. Matsukawa, M. Ohka, T. Miyaoka and Y. Mitsuya, Two-axial Bimorph Piezoelectric Actuator Controlled by a Multi-layered Neural Network, ICMDT 2007, JSME-KSME Joint Int. Conf. on Manufacturing Machine Design and Tribology, 査読有, Sapporo, July, 3(2007)

⑦ Y. Zhou, M. Ohka, T. Miyaoka and Y. Mitsuya, Effectiveness of Distributed Pressure and Slippage Force Presentation in Tactile Virtual Reality, ROBIO 2006, 査読有, pp. 37-42, Kumin, Dec. 17(2006).

⑧ 大岡昌博, 澤本泰宏, 松川志保, 大橋令, マイクロアクチュエータアレイによる触覚呈示装置, 平成 18 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, 査読無, 静岡, 11 月 10 日(2006).

⑨ M. Ohka, Y. Sawamoto, S. Matsukawa, T. Miyaoka and Y. Mitsuya, A Two-axis Bimorph Piezoelectric Actuator for Pressure and Slippage Force Presentation, MHS2006 Micro-Nano COE, 査読有, pp. 132-136, Nagoya, Nov. 7(2006).

⑩ 大岡昌博, 触覚ディスプレイのためのマイクロ・アクチュエータアレイ, 日本機械学会 2006 年度年次大会講演論文集, 査読無, 熊本, 9 月 20 日(2006).

⑪ 周逸如, 大岡昌博, 三矢保永, 分布圧覚と滑り覚の合成による仮想エッジ線の呈示精度, 日本機械学会 2006 年度年次大会講演論文集, 査読無, 熊本, 9 月 20 日(2006).

⑫ M. Ohka, T. Fujiwara, S. Matsukawa, J. Kato, and Y. Mitsuya, A Tactile-haptic Display System Using Micro-actuator Arrays, Proc. Actuator 2006, 10th Inter,

Conf. on New Actuator, 査読有, pp. 223-226, Bremen, June, 15(2006).

⑬ M. Ohka, Y. Sawamoto, S. Matsukawa, T. Miyaoka, and Y. Mitsuya, A two-axis Bimorph Piezoelectric Actuator Controlled by a Multi-layered Neural Network, Proc. Actuator 2006, 10th Inter, Conf. on New Actuator, 査読有, pp. 503-506, Bremen, June, 15 (2006).

⑭ 大岡昌博, 松川志保, 澤本泰宏, 宮岡徹, 三矢保永, 2 軸ピエゾアクチュエータの開発に関する研究, 第 6 回機素潤滑設計部門講演会, 査読無, 松島, 5 月 30 日(2006).

⑮ M. Ohka, J. Kato, T. Fujiwara and Y. Mitsuya, Virtual Object Handling Using a Tactile-haptic Display, The Inter. Conf. on Mechatronics and Automation, ICMA2005, 査読有, pp. 292-297, Canada, Jul. 30(2005).

⑯ 大岡昌博, 加藤圭太郎, 藤原健洋, 三矢保永, ピエゾ・アクチュエータを用いたハプティック・ディスプレイ搭載用触覚呈示機構, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005, 査読無, 神戸, 5 月 11 日(2005).

⑰ 藤原健洋, 加藤圭太郎, 大岡昌博, 三矢保永, 触覚・力覚複合呈示装置によるテクスチャの呈示, 第 22 回日本ロボット学会学術講演会, 査読無, 岐阜, 9 月 15 日(2004).

⑱ 加藤圭太郎, 藤原健洋, 大岡昌博, 三矢保永, 触・力覚の融合呈示, 日本機械学会 2004 年度年次大会, 査読無, 札幌, 9 月 6 日(2004).

⑲ 周逸如, 大岡昌博, 三矢保永, 圧覚・すべり覚同時呈示触覚マウス, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 査読無, 名古屋, 6 月 20 日(2004).

#### 〔産業財産権〕

##### ○出願状況 (計 1 件)

名称: 触覚ディスプレイ装置, 多自由度アクチュエータ, 及びハンドリング装置

発明者: 大岡昌博

権利者: 名古屋大学

種類: 特許

番号: 2006-081528

出願年月日: 2006 年

国内外の別: 国内

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

大岡 昌博 (OHKA MASAHIRO)

名古屋大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号: 50233044

##### (2) 連携研究者

宮岡 徹 (MIYAOKA TESTU)

静岡理科大学・理工学部・教授

研究者番号: 00111815