

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 4 日現在

機関番号：11101
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23650344
 研究課題名（和文） 布状アクチュエータによる皮膚接着型ハプティック・ディスプレイの創製
 研究課題名（英文） DEVELOPMENT OF HAPTIC DISPLAY ATTACHABLE TO HUMAN SKIN USING FABRIC ACTUATOR
 研究代表者
 笹川 和彦（SASAGAWA KAZUHIKO）
 弘前大学・大学院理工学研究科・教授
 研究者番号：50250676

研究成果の概要（和文）：電気活性高分子材料を用いて、短冊形状のアクチュエータを作製し、溶液中ではあるが、従来必要であった参照電極を用いることなくアクチュエータ単体で収縮させることができた。また、布状触覚提示機構の基本要素となる縦方向1本と横方向1本の短冊を組み合わせたアクチュエータユニットを作製し、平面内の駆動制御に成功した。さらに接触圧力・せん断応力センサの集積化を行い、触覚提示機構と皮膚間に挿入可能なフィードバック用センサを開発した。

研究成果の概要（英文）：A reed-shaped actuator was developed using electro-active polymer and it could be recognized that the actuator could act without reference electrode although in liquid solution. An actuator unit, being basic element of fabric actuator, was fabricated by a combination of horizontal and vertical reed actuators and the motion in a plane was successfully controlled by the actuator unit. Furthermore a feedback sensor to insert into interface between human skin and the actuator of haptic display was developed by integrating sensors of contact pressure and shear stresses.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：接触圧力，センサ，せん断応力，ハプティック・インターフェイス，バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

(1) 学術的背景

圧覚，すべり覚など触覚の力学的物理量を提示するハプティック・ディスプレイ（HD）は、一般に大掛かりな装置が必要であり、実用化が進んでいない。最近、圧覚だけを提示するグローブ型HDが開発されており、より装着感のないHDの期待が高まっている。また、これに付随するセンサも、機械的変換機構の形状が大掛かりなため被提示者の受ける力学刺激を直接計測することができず、提示装置が発生した力学量を計測するにとどまっている。研究代表者は最近、薄くてフレ

キシブルであり、皮膚に貼り付けることのできる圧力とせん断応力を同時に計測可能なセンサの開発に成功し、これまで実現できていなかった皮膚上の圧力とせん断応力の同時直接測定を実現した。このとき、圧力・せん断応力—電気抵抗の変換素子として薄くてしなやかな導電性高分子材料を用いたが、さらにその機能性を高めた電気活性高分子材料（EAP）なる先進材料が開発されたことを知った。これは電位を与えると電場方向に伸縮を行う機能を有するものである。そこで、EAPは皮膚への接着に適した柔軟なアクチュエータを実現する好材料になると考

え、皮膚上の圧力・せん断応力センサとの組み合わせによる接着型HD創製の着想に至った。

(2) 学術的特色、研究の意義

触覚を提示するためにはアクチュエータは3次元的な動作を行う必要がある。膜状のEAPを利用して、3次元運動を実現するための機構を開発するには、幾何学的な工夫に基づいたデザインが必要なだけでなく、EAPの負荷電場—収縮機構の考察に基づいた3次元的な電場と変位の連成問題の検討が必要で、この点に学術的特色を有する。薄くてフレキシブルな触覚提示装置に触覚センサを付与した本HDの実現は、これまで実現が困難であった、指に接着可能で装着感のないハプティック・インターフェイスを可能にすることから、各種のマン—マシン・インターフェイスにおいて画期的な要素技術であり、医療福祉、ロボットをはじめ娯楽など社会的な応用分野への寄与が極めて大きいと考えられる。

2. 研究の目的

本研究課題は2年間での完遂を計画している。まず電気活性高分子材料(EAP)を用いて圧力とせん断応力を皮膚に与える触覚提示機構の構築を行う。次いで、皮膚と提示機構との間に挿入する圧力・せん断応力センサを作製し、提示機構とのハイブリッド化を行い、皮膚接着型のハプティック・ディスプレイ(HD)の創製を行う。次の具体的な研究項目を設定し、目的の達成を図る。

(1) 電場—収縮機構の考察と機能性試験に基づいたEAP素材の選定

(2) 触覚提示のための基本的機構の設計と試作

(3) 荷重と変位範囲拡大による触覚提示機構の高度化

(4) 接触圧力・せん断応力センサとの融合と機能評価

3. 研究の方法

(1) 電場—収縮機構の考察と機能性試験に基づいたEAP素材の選定

ポリピロールやポリチオフェンなどのEAPは、電場の負荷により材料内の陽イオン(H⁺)が陽極から陰極に移動するが、このとき水和現象によって材料に含まれる水分子も一緒に拡散移動して、材料自身の体積変化をもたらす。材料全体では結果的に伸縮変形するアクチュエータ機能を有している。

一方、代表者は金属材料内に電場を負荷した場合の金属原子の拡散移動(エレクトロマイグレーション:EM)に着目した金属疲労損傷を支配する理論の構築を既に行っている。そこで、EAPとEMの相似性を考慮することにより、材料内の導電と拡散による収

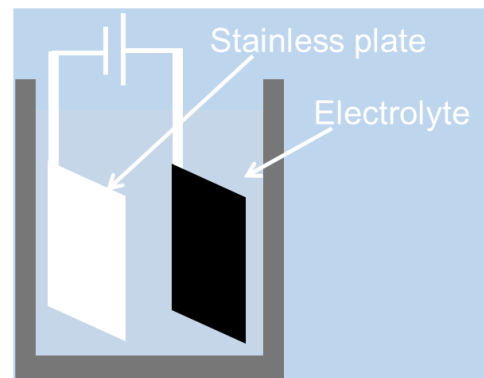
縮機構に関して、現在開発されているEAP材料に対しアクチュエータ機能の観点から考察を行う。

さらに、理論的考察を基に候補として挙げたEAP素材を作製し、電場を負荷した状態でEAPの変位量を測定することにより、電場—変位特性を調査する。それら基礎データから本HDに用いるアクチュエータ材料の選定を行う。

(2) 触覚提示のための基本的機構の設計と試作

電解重合させ作製したEAP薄膜を短冊状に切断し、これを縦糸と横糸にして編み込むことにより、布状のアクチュエータを創製することを目指す。研究項目(1)で行う電場—変位特性とこのとき得る破断強度を考慮して、アクチュエータ全体の形状ならびに内部に織り込む短冊の形状と配置を設計する。

次にアクチュエータの試作を行う。まず、重合条件を変化させ膜厚を設計値に調整したEAP薄膜を作製する。短冊状に加工した後、金属薄膜によって電極を形成する。これらの駆動要素を複数作製し、編み込むことによりアクチュエータ構造を形成する。以上のような触覚提示機構の基本的構造の確立を目指す。



(3) 荷重と変位範囲拡大による触覚提示機構の高度化

研究項目(2)で作製したアクチュエータ基本構造の電場—変位特性の調査を行い、その調査結果を踏まえ、荷重量と変位量拡大による触覚提示機構の高度化を図る。ここでは、必要に応じ、EAP素材をさらに細くしたファイバー化や布厚さ方向の織り込みの多層化を行って、荷重量の増加を狙う。また、変位量に関しては、EAP素材の長さ方向の直列化を行って変位範囲の拡大を試みる。

(4) 接触圧力・せん断応力センサとの融合と機能評価

代表者が既に開発に成功している、皮膚に接着可能な接触圧力・せん断応力センサ構造に基づき、研究項目(3)で作製した触覚提示機構と皮膚間に挿入可能なフィードバック用の触覚センサを作製し、同提示機構との一

体化を行う。センサにはポリイミドフィルムに接着した銅薄膜電極と、導電性ポリマーを電気抵抗への変換素子として用い、厚さが200ミクロン程度と非常に薄くフレキシブルなセンサを作製する。これにより、指の腹に直接接着が可能で、指が提示機構から受ける接触圧力と2方向のせん断応力を同時に測定可能なセンサとする。また圧力とせん断応力を複数の箇所測定し分布として捉えられるよう9点程度の受圧部の配置を検討する。

次いで、フィードバック用センサと触覚提示機構の一体化を行い、皮膚への接着型HDを創製するとともに、実際に皮膚上での動作確認を行い、所定の電場の下で所望の荷重量と変位量が獲得できるか否かを調査する。

4. 研究成果

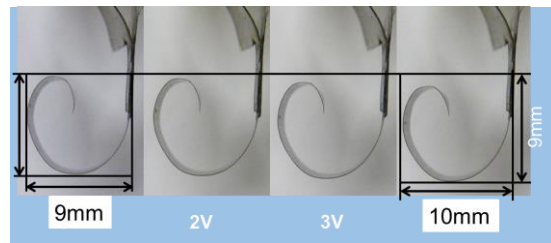
初年度は、接着型のハプティック・ディスプレイ (HD) 構築の基礎を確立するために、次の研究項目を実施し、触覚提示機構の基本的構造の開発を図った。

(1) 導電-収縮機構の考察と機能性試験に基づいたEAP素材の選定

現在開発されている電気活性高分子材料 (EAP) 内の導電機構とイオン拡散による伸縮機構に関して、アクチュエータ機能の観点から考察を行った。さらに、理論的考察を基に機構材料の候補として挙げたポリピロールとポリチオフェン薄膜の短冊状試験片を作製し、厚さ方向に電場を負荷した状態でEAP素材のたわみ変位量を測定することにより、電場-変位特性を調査した。この際、試験片の厚さ、幅、長さなどの形状に関するパラメータを変化させた。これらの基礎データから本HDに用いるアクチュエータ材料としてポリピロール薄膜を選定した。また、同薄膜の伸縮機能に対する乾燥の影響について実験的な検討を行い、乾燥による伸縮機能の低下と再湿潤による機能の復帰が観察され、EAP内の水分量が伸縮機能に重要な影響を与えることがわかった。

(2) 触覚提示のための基本的機構の設計と試作

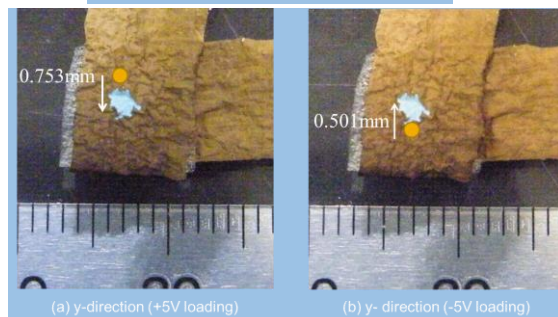
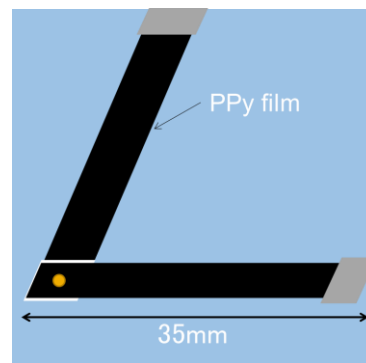
作製したEAP薄膜をテーパのついた短冊状に切断し、これを互い違いに配置したものを縦糸および横糸にして編み込むことを考案し、布状のアクチュエータ構造の設計を行った。また、布状アクチュエータよりも簡便に実現可能なゼンマイ型の触覚提示機構を考案し、試作を行った。EAP薄膜の両面にスパッタ法によって金属薄膜を成膜した後、長い短冊状に切断し、これをコイル状に成形したアクチュエータ機構を作製した。膜厚方向に正と負の電場を負荷した場合の曲率の変化を計測することにより、可逆的に曲率の制御が可能であることを実証した。



最終年度は、次の研究項目を実施することにより、皮膚接着型のハプティック・ディスプレイ開発なる本研究目的の達成を図った。
(3) 荷重と変位範囲拡大による触覚提示機構の高度化

前年度実施したアクチュエータのための電圧-変位特性の調査結果を踏まえ、電気活性高分子であるポリピロールを用いて、薄膜状でテーパを付した短冊形状のアクチュエータを作製し、負荷電位-変位特性を調べた。溶液中ではあるが、従来必要であった参照電極を用いることなくアクチュエータ単体で収縮させることが可能であることを確認した。

また短冊形状を織り込んだ布状触覚提示機構作製の基礎として、その基本要素となる縦方向1本と横方向1本の短冊を組み合わせたアクチュエータユニット機構を作製し、短冊各々に正または負の電場を負荷することによって平面内のアクチュエータ制御に初めて成功した。最大変位となる負荷電位の選択と参照電極の削除により、機構の高度化を図った。



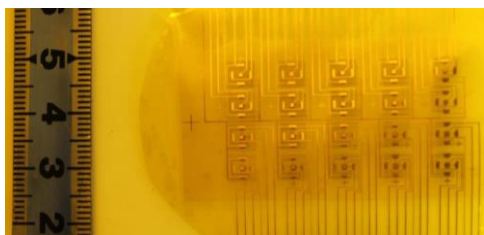
(4) 接触圧力・せん断応力センサとの融合と機能評価

触覚提示機構と皮膚間に挿入可能なフィードバック用の触覚センサを作製した。皮膚

に接着可能な接触圧力とせん断応力の同時測定センサ構造を実現するために、ポリイミドフィルム上に成膜した銅薄膜電極と、圧力・せん断応力の変換素子として導電性ポリマー膜を用い、厚さが200ミクロン程度と非常に薄く柔軟なセンサを作製した。



皮膚に作用する複合的な荷重環境においても、接触圧力に依存せずせん断応力を独立してかつ的確に測定できることを確認した。これにより、指の腹に直接接着が可能で、指が提示機構から受ける接触圧力と2方向せん断応力の合計3方向の接触応力を同時に測定可能なセンサを実現した。さらに、フォトリソグラフィ技術によって測定ユニットの微細高集積化を図り、親指に作用する圧力と2方向せん断応力を20箇所分布として捉えることができるセンサを作製した。



今後、アクチュエータの高出力化とフィードバックセンサとのハイブリッド化をさらに推し進めることにより、近く世界で初めての接着型HDの実現に至ると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① K. Sasagawa, T. Oyama, K. Tokiyoshi and K. Yokoyama, Development of Shear Stress Sensing System for Application to a Haptic Display, Proceedings of 7th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 査読有, 2012, M117 (total 4 pages)

[学会発表] (計7件)

① 笹川和彦, 微細電子配線の安全性評価と生体の応力評価, 日本非破壊検査協会 東北

支部「支部会・講演会」(招待講演), 2013年04月26日, 青年文化センター(仙台市)

② 笹川和彦, 材料システムとしての電子機器安全性と生体機能性の評価, 平成24年度日本材料学会東北支部総会・材料フォーラム講演会(招待講演), 2013年03月25日, カレッジプラザ(秋田市)

③ 小山拓馬, 笹川和彦, 藤崎和弘, パブティクインターフェースのための電気活性高分子膜アクチュエータの作製, 日本機械学会東北支部 第48期総会・講演会, 2013年03月15日, 東北大学(仙台市)

④ 小山拓馬, 時吉康太, 笹川和彦, 薄くてしなやかな接触圧力およびせん断応力センサの開発, 日本機械学会 第23回バイオフロンティア講演会, 2012年10月05日~2012年10月06日, 弘前文化センター(弘前市)

⑤ 小山拓馬, 横山紘太郎, 笹川和彦, 薄膜状導電性高分子材料を用いたアクチュエータ機構の開発, 日本機械学会東北学生会 第42回学生員卒業研究発表講演会, 2012年3月6日, 福島工業高等専門学校(いわき市)

⑥ 横山紘太郎, 笹川和彦, 時吉康太, 小山拓馬, 塚原 智, 皮膚上に作用する接触圧力およびせん断応力の分布計測システム, 第38回 日本臨床バイオメカニクス学会, 2011年11月18日, 神戸ポートピアホテル(神戸市)

⑦ 横山紘太郎, 石川 諒, 笹川和彦, 内視鏡手下への適用を目的とした高空間分解能接触圧力センサシステム, 日本非破壊検査協会平成23年度秋季講演大会, 2011年10月18日, 淡路夢舞台国際会議場(淡路市)

[その他]

科学技術振興機構, 新エネルギー・産業技術総合開発機構が主催の「イノベーション・ジャパン2012-大学見本市(東京国際フォーラム, 2012/9/27-9/28)」に「バーチャルリアリティ実現のための接着型触覚センサ」なる題目で出展し, 研究成果を広く社会に公表した。

エレクトロニクス実装学会主催の「第22回 マイクロエレクトロニクスシンポジウム, 秋季大会(大阪府立大学, 2012年)」の大学研究室紹介コーナーにおいて, 電子機器メーカーの研究者に研究成果の紹介を行った。

研究室のホームページに研究内容を記載し, 公開している。

(<http://www.mech.hirosaki-u.ac.jp/~sasagawa/labhp/>)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹川 和彦 (SASAGAWA KAZUHIKO)

弘前大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 50250676