

機関番号：57403

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20700173

研究課題名（和文）皮膚構造および受容器の特徴をモデルとした人工皮膚感覚モジュールの製作と評価

研究課題名（英文）Production and evaluation of an artificial skin sense module based on feature of tactile receptors

研究代表者

湯治 準一郎 (YUJI JUNICHIRO)

熊本高等専門学校・機械知能システム工学科・准教授

研究者番号 80332104

研究成果の概要（和文）：本研究は、人間の皮膚感覚機能を模倣した多機能触覚センサ素子から得られる接触力、温度、湿度等の情報を触受容器のように神経パルス列に変換して出力する人工皮膚感覚モジュールの作製を目的として実施した。触覚センサ部については、表面の3端子のらせん状電極フィルムと対向する電極基板でスポンジを挟み込んだ構造のセンサを作製し、センシング機能を評価した。また、触覚センサからの出力信号の大きさ成分、速度成分、加速度成分に対応するパルス列を生成するプログラムを作成し、マイコンとシグナルジェネレータを用いて評価した。

研究成果の概要（英文）：An artificial skin sense module that converted information such as the contact force, the temperature, and the humidity obtained from the multi-functional tactile sensor, into the nerve pulses like the tactile receptors, was investigated. The simple tactile sensor was made with a sponge, a spiral electrode film of three terminals. Moreover, the program that generated the sequence of the impulse signal corresponding to the amplitude, the speed and the acceleration of the test signal was evaluated by using a microcomputer and a signal generator.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：センシング工学

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：触覚センサ，触受容器，皮膚感覚，神経パルス

1. 研究開始当初の背景

柔軟素材を用いた人工皮膚やMEMS技術による薄膜微小触覚センサの開発が急速に進んでいるものの、これらの触覚センシング技術は、

限られた分野、機能でのみ実用化されているに過ぎない。皮膚感覚は接触した物体の情報が皮膚組織や接触状態の非線形変換を介して複数の機械・温度受容器群に伝わり、そこで発する神経パルスが脳に伝達されて生じる

多種多様な感覚であるため、視覚や聴覚の代行技術の進歩に比べると、触覚センシング技術の開発スピードは遥かに劣っている。

そこで、本研究においては、これまで進めてきた研究を基にして、皮膚内部の機械・温度受容器とそれらの神経応答の特徴をモデルとした生体機能模倣型の多機能触覚センサ素子および人工皮膚感覚モジュールの作製を目標とする。

2. 研究の目的

本研究では、3年間で以下の2点を目的とした。

(1) 生体機能模倣型の多機能触覚センサ素子の製作

ここでは、各種受容器の応答特性を模倣したセンサ材料の基礎特性実験を行い、皮膚構造をモデルとした複数の層（表皮、真皮、皮下組織等に対応）から構成させる多機能触覚センサの作製と評価が主な内容である。

(2) 人工皮膚感覚モジュールの製作

ここでは、多機能触覚センサに符号化回路を設け、触受容器の応答をモデルとして接触力や温度変化の大きさ、速度成分、加速度成分に対応するパルス列を出力することにより、触受容器の機能を実現させることが目的である。将来的には、多機能触覚センサの数個をアレイ状に配置した1つの人工皮膚感覚モジュールとして集積化し、大面積の人工皮膚への実装を目指している。

3. 研究の方法

(1) 多機能触覚センサの作製

① センサの構造

図1に今回作製した多機能触覚センサの構成図、図2にその外観を示す。作製した多機能センサは、フレキシブルポジ感光基板（サンハヤト社製、ポリイミドフィルム厚さ：30 μm 、銅膜厚さ：35 μm ）をエッチングにより作製した2本のらせん状電極フィルム（以下、表皮センサと呼ぶ）および平板電極基板で真皮や皮下組織に対応する厚さ5mmのスポンジ（和気産業社製）を挟んだコンデンサ構造により構成される。それぞれは両面テープで固定され、表皮センサの表面は電極が直接金属物体に接触して導通しないためと水分等が電極に付着しないように厚さ60 μm のポリイミドテープが貼られている。

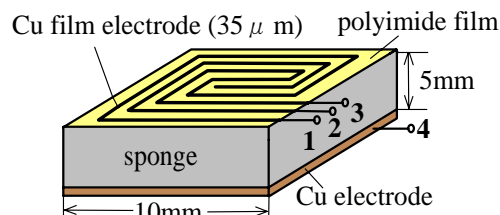


図1. 多機能触覚センサの構成図

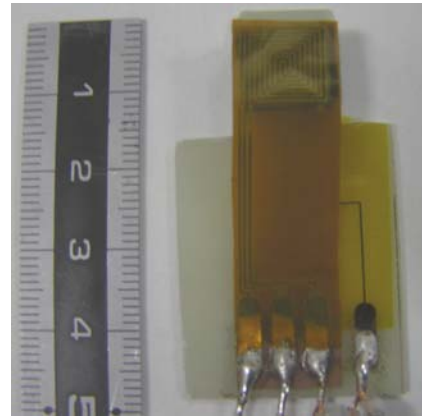


図2 外観

表皮センサは図3に示すように人の指紋を模倣し、2本の薄膜状銅線をらせん状に巻いた形状になっている。銅線の幅は0.3mm、電極間隔は0.25mmとした。銅線の1本は往復電極となっており、もう1本は単独電極となっている。そのため、図3の等価回路に示すように、表皮センサは端子1-3を用いることにより抵抗RおよびインダクタンスL、端子1-2を用いることによりキャパシタンスCをセンサ信号として得ることができる。

一方、表皮センサの端子1とスポンジを介して対向している平板電極の端子4によってスポンジの変形をキャパシタンスCの変化として用いている。

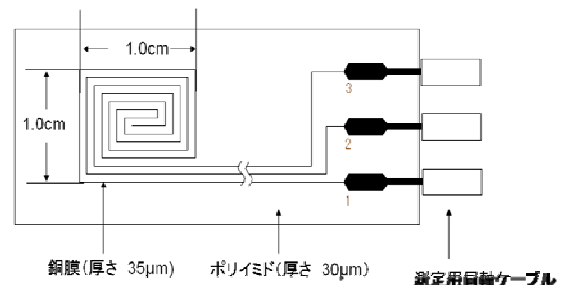


図3. 表皮センサの構造

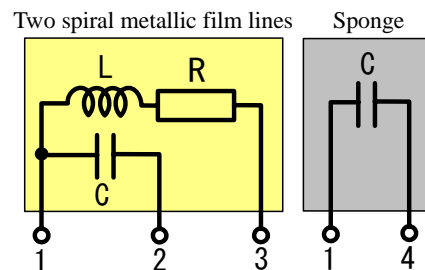


図4. 表皮センサの等価回路

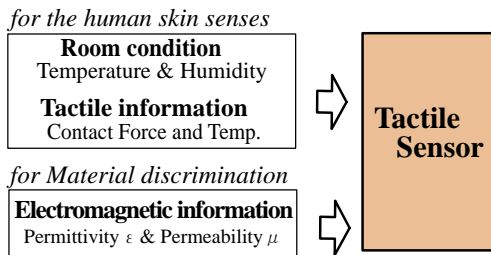
② 表皮センサの原理

図5に入力信号と出力信号の関係を示す。ここで目的としている外界の物理情報（入力信号）は、皮膚感覚で認識している環境の温度および湿度、物体に接触したときの接触力および物体温度である。また、表皮センサの

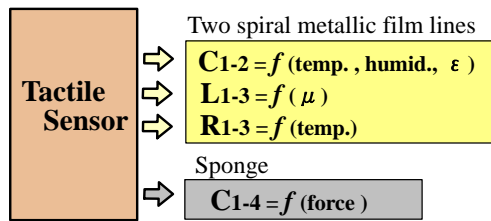
電磁氣的センシング機能を用いることで、接触した物体の材質識別も目的としている。

表皮センサの端子 1-2 間のキャパシタンス C_{1-2} は、空間温度や湿度（水分）、更には接触物体の誘電率 ϵ に比例して変化するため、図 5(b) のようにそれらの関数として表される。

端子 1-3 間を抵抗 R_{1-3} として測定する際には、銅の温度係数を利用して空間温度や接触物体の温度をセンシングする。また、同じく端子 1-3 間の電極は平面状コイルとしても機能するため、そのインダクタンス L_{1-3} は、接触物体（金属）の磁性（透磁率 μ ）の関数として表される。



(a) 入力信号



(b) 出力信号

図 5. 入力および出力の関係

作製した触覚センサの温湿度センシング機能は、図 6 に示す小型環境試験機（エスペック（株）製 SH-221）、モニター用温湿度計（神栄（株）製 TRH-7H）、触覚センサの R, L, C 測定用 LCR メータ（NF 社製 ZM2355）の実験装置を用いて評価された。また、接触力センシング機能および物体の材質識別機能は、図 7 に示す実験装置および物体試料を用いて評価された。

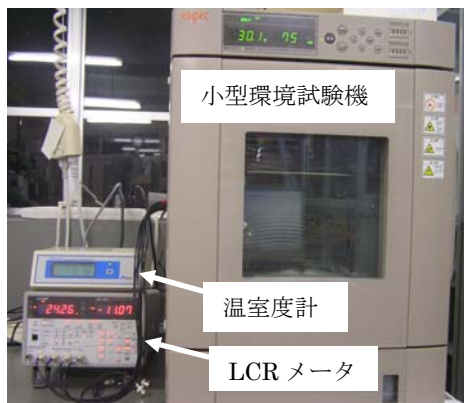


図 6. 実験装置



図 7. 接触力実験装置

(2) パルス生成部

皮膚内部に存在する機械受容器の種類としては、皮膚変形刺激に対する応答の時間変化の違いと、受容野の広さの特徴から次のように分類されている。まずステップ状に皮膚を押し込むと受容器は刺激に応じて発火しパルスを出力する。このとき、刺激の強度に応じて発火する遅順応型（Slowly Adapting : SA）と、刺激の時間変化に応じて発火する速順応型（Fast Adapting : FA）とがある。また受容野の特徴からは I 型と II 型とに分けられる。I 型は受容野が狭く境界が明瞭であり、II 型は受容野が広く不明瞭である。よってこれらの特徴の組み合わせとして SA I, SA II, FA I, FA II の 4 つのタイプに分類される。それぞれの機能的特徴として、SA I では強度検出、SA II では皮膚の引っ張り検出、FA I では速度検出、FA II では加速度検出などが挙げられる。

本研究では、この受容器の応答特性に着目し、触覚センサのアナログ出力信号から変位、速度、加速度の成分に対応したパルス列を生成するプログラムを汎用 H8 マイコンによって作成する。プログラムの評価は、ファンクションジェネレータからの出力信号をセンサ信号として用いている。

4. 研究成果

(1) 多機能触覚センサ

図 8 に表皮センサ端子 1-3 間の抵抗 R_{1-3} の温度特性を示す。銅の温度特性が表れており、湿度に関係なく温度情報を取得できる。

図 9 に端子 1-2 間のキャパシタンス C_{1-2} の湿度に対する変化率を示す。温度によって特性が異なるため、抵抗 R_{1-3} によって温度情報が得られた後、湿度情報を求めることができる。

図 10 に端子 1-4 間のキャパシタンス C_{1-4} の接触力特性を示す。スポンジの変形によりキャパシタンスが変化し、40N 以上になるとスポンジの変形量が小さくなるため飽和に向かっている。

図 11 および 12 に物体試料に接触させたときのキャパシタンス C_{1-2} およびインダクタンス L_{1-3} の接触前に対する変化率を示す。それぞれ誘電率、透磁率が異なれば、絶縁物や金属の識別が可能である。

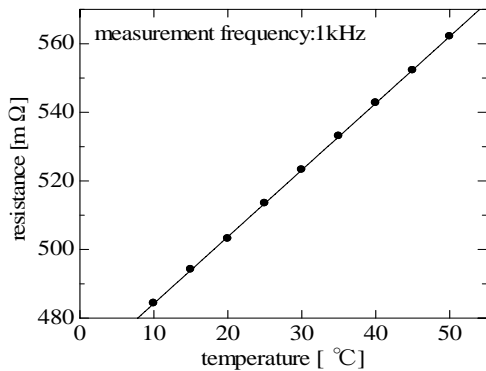


図 8. 抵抗 R_{1-3} の温度特性

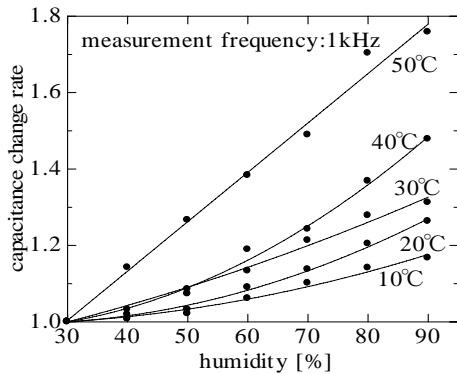


図 9. キャパシタンス C_{1-2} の湿度特性

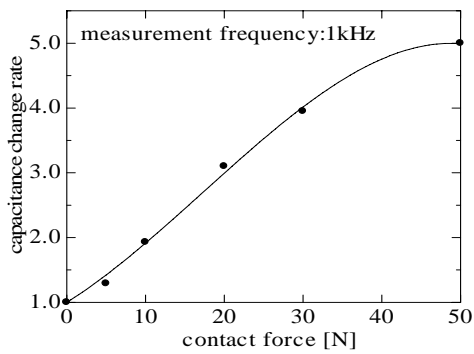


図 10. キャパシタンス C_{1-4} の接触力特性

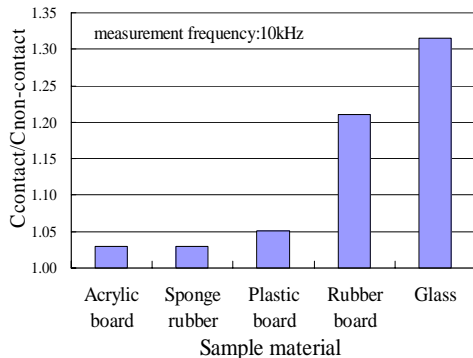


図 11. 絶縁物における C_{1-2} の変化

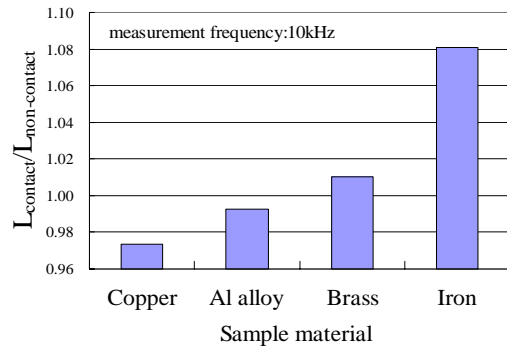


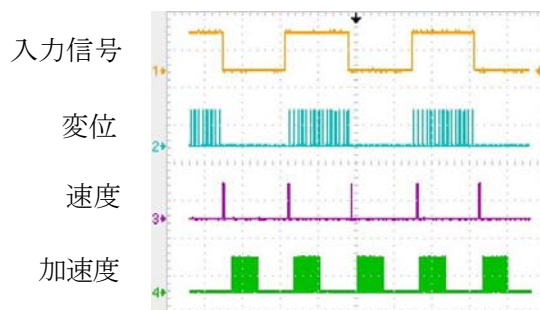
図 12. 金属物体における L_{1-3} の変化

以下に触覚センサの評価結果を示す。

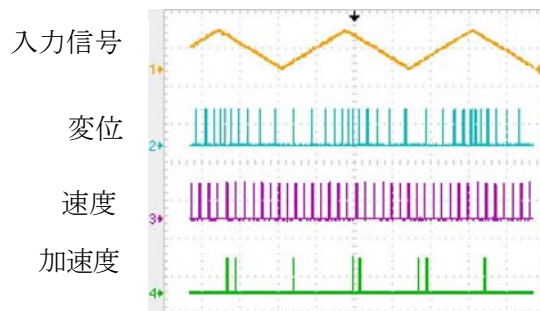
- ① 表皮センサの抵抗の温度特性は湿度に依存しないため、温度の推定が可能である。また、推定精度は $\pm 1^\circ\text{C}$ であった。
- ② 表皮センサのキャパシタンスは温度、湿度、絶縁物の接触など様々な影響によって変化する。推定した温度を使って、湿度の推定が可能であるが、ばらつきが大きいいため、5~10%Rhの精度であった。
- ③ スポンジの変形によるキャパシタンス変化で接触力を得ることができるが、推定精度は $\pm 3\text{N}$ であった。

(2) パルス生成部

図 13(a) (b) に矩形波と三角波を入力信号とした場合の変位パルス、速度パルス、加速度パルスを示す。



(a) 入力が矩形波の場合



(b) 入力が三角波の場合

図 13. 生成されたパルス信号

変位パルスは、入力信号の大きさにパルス間隔が変化する信号で、信号電圧が大きくなるとパルス間隔は狭くなる。速度パルスは、入力信号に変化があるときだけ、その変化分でパルス間隔が変化する信号で、変化が大きくなるとパルス間隔は狭くなる。加速度パルスは、入力信号の速度に変化があるときだけ、速度の変化分でパルス間隔が変化する信号で、速度の変化が大きくなるとパルス間隔は狭くなる。図 13 は、矩形波と三角波のテスト信号による各信号パルスを示しているが、変位、速度、加速度の3成分に対応したパルス列が発生していることが確認できる。

以上の結果より、皮膚の触受容器の神経応答に類似した人工皮膚感覚モジュールを構成しうる可能性が示された。したがって、本研究が目指している人工皮膚感覚モジュールの触覚センサ部とパルス生成部のそれぞれの機能については動作確認ができたが、それらが一体形となったモジュールまで至っていないため、システム全体の結合と評価が今後の課題である

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)

[学会発表] (計2件)

① Jun-ichiro YUJI, Yoshinari MANABE : A Two Layer Structure Capacitive Tactile Sensor with Sensing Function of Environmental Condition, Proceedings of the 4th International Conference on Sensing Technology (ICST2010), pp.368-371, Lecce, Italy (2010)

② Jun-ichiro YUJI, Yoshinari MANABE : Multi-Functional Tactile Sensor Based on Impedance Change of Two Spiral Metallic Film Lines, International Conference on Mechatronics and Information Technology Proceedings (ICMIT2009), T3P.62, pp.261-262, Gwangju, KOREA (2009)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

湯治 準一郎 (YUJI JUNICHIRO)

熊本高等専門学校・機械知能システム工学
科・准教授

研究者番号 : 80332104

(2) 研究分担者

無

(3) 連携研究者

無