

研究論文

センサタイルカーペットの開発

堀場隆広*¹、池口達治*²

Development of Sensor Tile Carpets

Takahiro HORIBA*¹ and Tatsuharu IKEGUCHI*²Owari Textile Research Center, AITEC*^{1*2}

タイルカーペットにセンサ機能を備えたセンサタイルカーペットを試作した。試作したセンサタイルカーペットは静電容量型の力を検出するセンサである。このカーペットに人が乗ったことをセンシングするために、センシング回路を試作した。9枚のセンサタイルカーペットを作製するために、タイルカーペットのセンシング回路をプリント基板化した。センサタイルカーペットを3×3のブロックに配置して、人が乗った位置に対応するLED(発光ダイオード)を点灯することができた。

1. はじめに

当センターでは、今まで、静電容量型のセンサ織物の試作とセンサ織物の織構造と、センサ織物の特性および評価をしてきた。しかし、具体的な応用製品については、開発してこなかった¹⁾。

応用製品の一つとしてセンサカーペットが挙げられる。センサカーペットをセキュリティ目的で利用すると、オフィスや民家の侵入者を検出することや侵入者の行動を把握することができる。

大規模商業施設で利用すると店内の人の流れやお客がどの商品に興味をもっているかを把握することや、火災や地震の緊急時に、店内や建物に残された人数の把握や避難誘導などに用いることができる。

福祉利用では、一人暮らしの老人の安否を確認することなどに利用できる。

このようにセンサカーペットはさまざまな用途に利用できると考えられる。しかし、静電容量型のセンサは面積が大きくなると、周辺のノイズ、例えば、掃除機のモーターのノイズや雷などの影響を受けやすく、これが、センサの誤動作の原因になると予想される。

本研究では、ノイズの影響を少なくするという目的で、センサタイルカーペットを提案した。センサタイルカーペットはセンサ1枚の面積が小さいので、ノイズの影響が小さくなる。実験では、9枚のセンサタイルカーペットを試作して、人の位置を検出する実験をしたので報告する。

2. 実験方法

2.1 センサの静電容量の計測原理

センサカーペットは静電容量型のセンサである。図1で示すように、センサタイルカーペットに電圧Eの電池で、電荷を充電し、抵抗Rを通して電荷を放電すると、センサの電圧がしだいに小さくなる。センサの両端の電圧が、定められた電圧V₁になった時刻をt₁と、次の定められた電圧V₂になったときの時刻をt₂とする。二つの電圧間を通過する計測時間t_m(t_m = t₂ - t₁)からセンサの静電容量(キャパシタンス)Cが求められる。抵抗Rを通して電荷を放電すると、t時刻後のセンサの両端の電圧V(t)は次式で表される。

$$V(t) = Ee^{-t/RC} \quad (1)$$

これに電圧V₁とV₂になったとき、そのときの放電時刻t₁とt₂を(1)式に代入すると(2)式の連立方程式が得られる。

$$\begin{cases} V_1 = Ee^{-t_1/RC} \\ V_2 = Ee^{-t_2/RC} \end{cases} \quad (2)$$

(2)式からセンサの静電容量Cを求めると(3)式になる。

$$C = (t_2 - t_1) / \{R(\ln(V_1) - \ln(V_2))\} \quad (3)$$

抵抗Rは固定値で、電圧V₁とV₂は定められた電圧であることから定数kを次のようにおいた。

$$k = 1 / \{R(\ln(V_1) - \ln(V_2))\} \quad (4)$$

(3)式をkとt_m = t₂ - t₁で表すと、式が簡略化でき、(5)式になる。

$$C = k t_m \quad (5)$$

つまり、静電容量Cは計測時間t_mに比例することが分かる。

$$C \propto t_m \quad (6)$$

この結果から、静電容量を放電の計測時間として表現すれば、計測プログラムを簡単化することができ、実数を用いずに、センサの静電容量を整数のみで表現することができる。これによって実数演算機能のない小型の安価な組み込み用マイコンを用いて、容易に静電容量の計測と処理が可能となる。

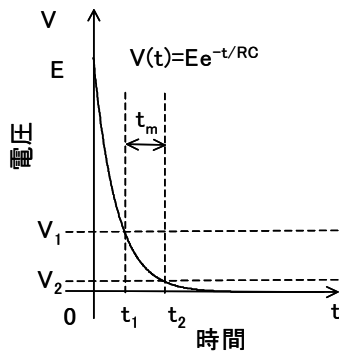


図1 センサの放電特性

2.2 センサタイルカーペット

試作したセンサタイルカーペットを図2に示す。このタイルカーペットは1辺が30cm×30cmの大きさである。このセンサタイルカーペットの断面を図3に示す。このタイルカーペットは3層構造になっており、最上層の起毛の素材はポリプロピレンからできている。2層目の基布の素材はEVA樹脂からできている。最下層は静電容量型のセンサからできている。今回は、市販のタイルカーペットを改造して試作したので、最もセンサを取り付けやすい最下層に取り付けた。

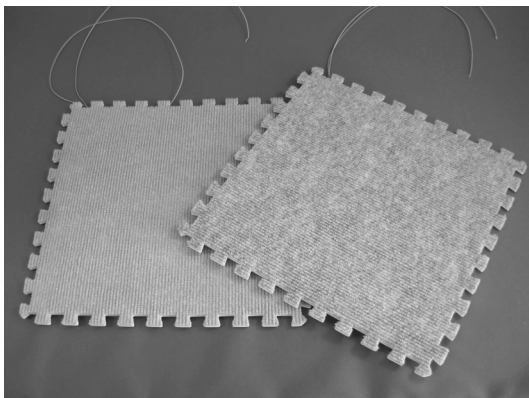


図2 試作したセンサタイルカーペット

タイルカーペットの色はセンサのブロックが視覚ですぐに判るように、ピンクとグレーの2種類の色を用意した。ピンクとグレーのセンサタイルカーペットはどちら

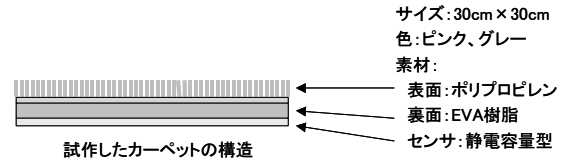


図3 センサタイルカーペットの断面

も同一構造である。

このセンサタイルカーペットを用いて、人が乗ったことを検出した。このカーペット表面全体に力を均等に加えて、カー静電容量特性を測定した。測定はセンサタイルカーペット上に、これと同じ大きさの板を置き、その上におもりを置き、徐々におもりを増やしたときの静電容量の変化を計測した。その結果を図4に示した。この特性のグラフは横軸にかけた力(おもりの重さ)を表し、縦軸にセンサタイルカーペット1枚の静電容量を表している。この特性から、0(kgW)から3(kgW)では、静電容量の変化が大きく、3(kgW)以上は変化が小さいことが分かった。

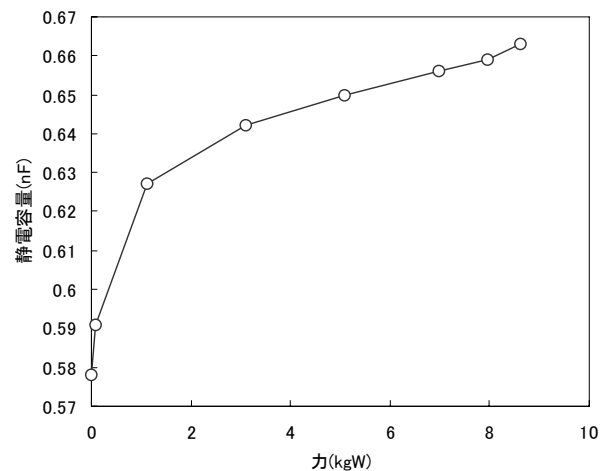


図4 カー静電容量特性

2.3 センシングチップの作製

アナログ回路とデジタル回路の再構成が可能で、マイコンが内蔵されているチップを用いて、センサタイルカーペットのセンシング用のチップを試作した。このチップは表面実装の部品なので、取り扱いや実装が難しいので、ピンを引き出すための基板を用いた。引き出した端子にソケットを取り付け、基板に取り付けられるようにした。これによって、すぐにチップのプログラムを交換したいときやチップに問題が起きたときに、直ちに部品を交換できるようにした。

試作したチップの写真を図5に示す。作製したチップは表面実装用の44ピンのTQFPパッケージを用いた。

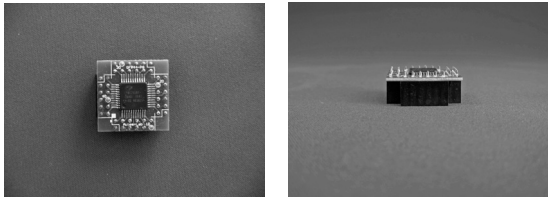


図5 試作したチップ

2.4 静電容量センシング回路

センサタイルカーペットの上に人が乗った判定はセンサタイルカーペットの静電容量の検出と、あらかじめ設定した閾値を比較することによって行った。

試作した静電容量計測回路のブロックを図6に示す。この回路は主に3つのブロックに分かれている。センサタイルカーペットのセンサの静電容量を計測するためのパルスを発生する静電容量計測パルス生成回路と、センサタイルカーペットに溜まった電荷を放電したときの時間を計測する静電容量計測回路からなる。

また、静電容量計測回路で計測された時間をコンピュータコアのプロセッサで読み取り、その値を静電容量の大きさとして、あらかじめ内部に設定してあった静電容量の閾値を用いて、判定結果を出力した。また、その表示をLED(発光ダイオード)で行った。

LCD(液晶表示器)はチップの回路作製とプログラムをデバッグするために取り付けた。この回路をマイコンとデジタル回路とアナログ回路の再構成可能なチップに組み込んだ。

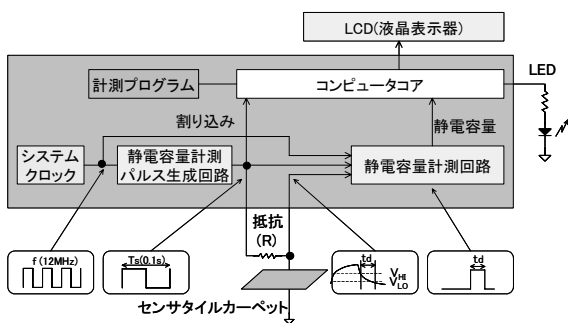


図6 静電容量計測回路

2.5 センサタイルカーペット基板

センサタイルカーペットに組み込む基板を試作した。当センターには、タイルカーペットの製造装置がないため、回路をセンサタイルカーペットの内部に組み込むことができないので、この実験では、基板をタイルカーペットの外部に置いた。センサタイルカーペットの基板はプリント基板CAD(PCB CAD)のフリーソフトを用いて試作した。基板は2層基板を用いた。図7の回路が完成

した時点で、回路の動作検証をするために、1台の回路をユニバーサル基板に部品の配置と部品を結線して作製した。そして、基板の動作を確認した。

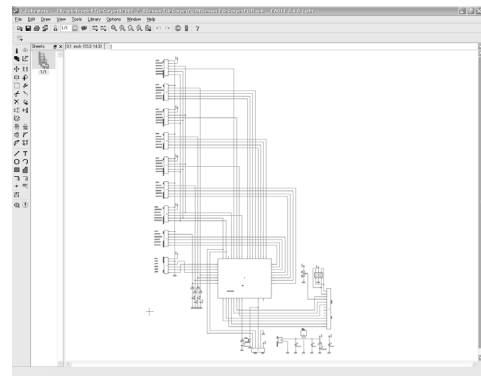


図7 PCB CADによる回路の作成

動作が確認できた時点で、図8の写真に示すように、回路から基板の大きさと部品の大きさと、部品の配置を

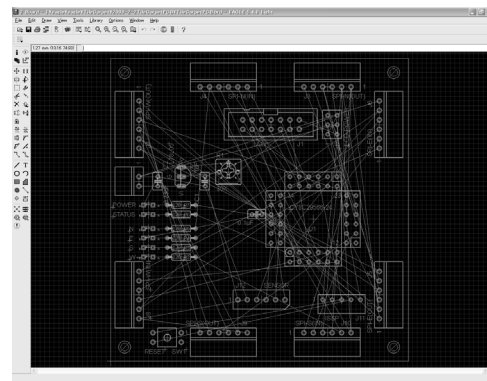


図8 PCB CADによる部品配置

プリント基板CAD(PCB CAD)で決定した。また、左中央に基板の状態を表示するLEDを配置した。上中央にLCDの接続端子を配置した。この部品の配置をもとに、2層のプリント基板のパターンを作製した。プリント基板のパターンを作製した結果を図9の写真に示す。

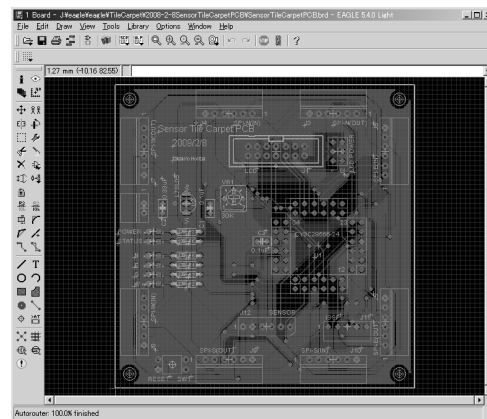


図9 プリントパターンの作製

完成したパターンからガーバーデータを抽出して、そのデータを基板製造業者に渡し、プリント基板を作製した。

この基板は 2 層で、部品面(表面)にシルク印刷で、部品名を印刷した。また、ハンダ面(裏面)はパターンのみ
の基板である。図 10 に、部品を実装して完成した基板を示した。中央の黒い正方形の部品が、今回、開発したチップである。

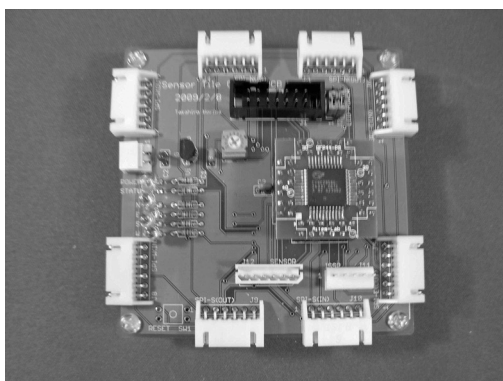


図 10 完成した基板

基板のチップのすぐ下のすぐ左側のソケットはセンサに接続するためのソケットである。右のソケットはパソコンの開発システムからチップにデータを転送するためのソケットである。左中央の LED は情報を表示するためのものである。その上は 5V の定電圧電源回路である。また、チップの上の黒いソケットはデバッグのために文字などを表示する LCD(液晶表示器)に接続するためのソケットである。LCD ソケットの左下の半固定抵抗は LCD の輝度を調整するためのものである。LCD ソケットの右の赤い端子は LCD の電源の極性を切り替えるためのものである。

3. 実験結果および考察

試作した 9 枚のセンサタイルカーペットに基板を接続した。そして、3×3 に配置したセンサタイルカーペットの写真を図 11 に示す。この基板を 7V の電源に接続した。電源を長いケーブルでセンサタイルカーペットに接続するために、ケーブルでの電圧降下を考慮し、各々の基板内に、5V の定電圧電源回路を組み込んである。

各々のタイルカーペットのセンサ端子を各々の対応するセンサ端子に接続した。

そして、このセンサタイルカーペットに乗るとタイルカーペットに対応した LED が点灯することを確認した。

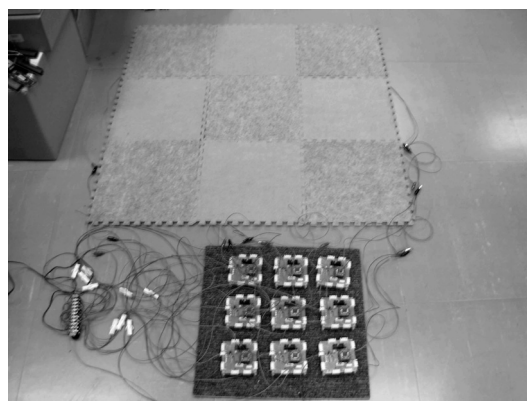


図 11 完成したセンサタイルカーペット

4. 結び

本研究では、タイルカーペットに静電容量型の力センサを付けたセンサタイルカーペットを提案し、センサタイルカーペットを試作した。また、センサタイルカーペットのセンサの静電容量を計測するために、センサカーペットのセンシング原理について言及した。この結果を踏まえ、センサタイルカーペットの試作とセンシング回路を試作した。センシング回路は枚数を必要とするため、プリント基板 CAD を用いて、プリント基板を作製した。

9 枚のセンサタイルカーペットと 9 枚のセンシング回路基板を用いて、人の乗った位置を検出することができた。

今後の課題として、基板を表面実装によるフレキシブル基板にすることにより、より薄くし、センサタイルカーペット内部に埋め込むことを考える。

チップは衝撃に弱いので、人が、センサタイルカーペットの上に乗ったときのチップの耐久性について調査することと、チップは非常に静電気に対して壊れやすいので、カーペット内部で発生する静電気によるチップへの影響についても調査する。

また、センサタイルカーペットとセンサタイルカーペットの境界に、人が立ったときのセンサの反応や、子供がカーペットに乗ったときの判定をどのようにするかなどの問題についても考える。

付記

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構地域イノベーション創出総合支援事業重点地域研究開発推進プログラム平成 20 年度「シーズ発掘試験」により行った研究である。

文献

- 1) 池口、堀場：愛知県産業技術研究所 研究報告, 6, 132(2007)
- 2) 堀場、池口：愛知県産業技術研究所 研究報告, 7, 114(2008)