

無線通信技術を利用したフレキシブルセンサの開発

田中智大*¹ 町田芳明*² 関根俊彰*³ 小俣精一**¹ 見木太郎**²

Development of Flexible Sensor Using Wireless Communication Technology

TANAKA Tomohiro*¹, MACHIDA Yoshiaki*², SEKINE Toshiaki*³,
OMATA Seiichi**¹, KEMMOKU Taro**²

抄録

車いす等の移動体に設置が可能なセンサシートを開発し、無線通信によるデータ伝送について検証した。センサマトリックスの駆動回路を設計し、計測制御を行うためのコントローラを試作した。データ伝送の実験では、無線モジュールの通信精度および感度について検証し、センサ検出信号の送受信が可能であることを確認した。センサシートの評価実験では、検出値と負荷圧力とを比較し、圧力検出特性を評価した。

キーワード：センサシート，感圧導電センサ，無線モジュール

1 はじめに

著者らは、これまで柔軟なシート式すべり検出システムの開発に取り組み、二層に配置したセンサシートの圧力変位差から、被測定物の圧力値やすべり量を検出できるシステムを開発した^{1),2),3)}。この検出システムは、ベッド上での計測など静止系においては有用なもの、走行中の車いす等での使用は難しい。

本研究では、これらの課題を解決するため、センサシートの無線化およびシステムの小型化に取り組み、計測制御を行うためのコントローラおよび姿勢変化に伴う座圧の変動を捉え易くするためのセンサシステムを開発した。

2 動作原理

2.1 センサマトリックス

センサシートの圧力検出素子には、直径 9.5mm、厚さ約 0.2mm の感圧導電センサを採用した。このセンサ素子は、圧力に反比例して抵抗値が低下するため、圧力 - 電圧変換を行う必要がある。この変換は、オペアンプの反転増幅回路により実現でき、圧力と電圧値との間にリニアな関係を得ることができる。試作したセンサシートでは、この感圧素子を用い、シート上に 8 × 4 のマトリックスを構成し、32 箇所の圧力値を検出できるように設計した。マトリックスのグランド線は、4 本に分け、これをスイッチングさせることでチャンネル数を 32ch から 8ch に減じた。

2.2 センサ駆動方法

センサマトリックスを駆動するには、4本のグランド線をリレーによりスイッチングし、切り替えのタイミングを同期させながら信号を検出する必要がある。検出信号は、専用に設計したアンプ回路を通すことで、電圧値として扱うこととした。

*¹ 大久保浄水場

*² 福祉・デザイン部

*³ 生産技術部

**¹ エスコウインズ株式会社

**² 有限会社平賀義肢製作所

本研究では、これら一連の制御をマイコンで行った。図1にマトリックスの駆動機構を示す。

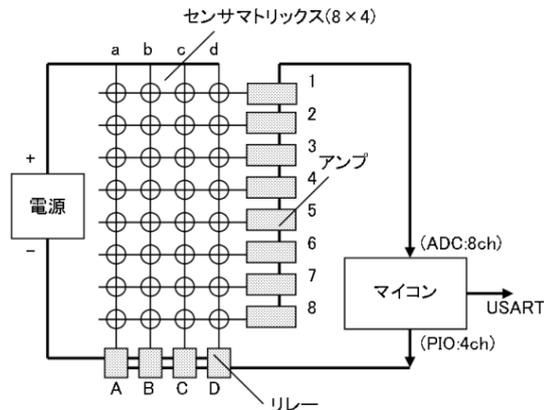


図1 センサマトリックスの駆動機構

マイコンの制御ポート (PIO) は、4ch、入力ポート (ADC) は、8chとなっており、制御ポートの信号を1chずつ切り替えることでリレーがA→B→C→D→Aの順でオンになる。例えば、リレーAに制御信号が送られたとすると、リレーAのスイッチがオンの状態となり、a列に接続されたセンサが接地される。このとき、アンプの1～8には、センサの検出信号が送られ、増幅された信号がマイコンの入力ポートに取り込まれる。こうしてa～d列に接続されたセンサの信号が検出され、センサマトリックスの駆動が完了する。実際の回路では、リレーのスイッチングラグが発生するため、入力ポートから信号を取り込む際は、リレーの動作時間に合わせた待機時間を設ける必要がある。

2.3 無線通信

無線通信技術には、様々な方式があり、目的に応じた使い分けがなされている。本研究では、数ある無線通信技術のうち、特に家電製品などへの応用が期待される近距離無線通信方式に着目し、車いす等の移動体におけるシステムの通信手段として用いることとした。無線通信を行うには、無線モジュールを介してデータを送信することになるが、センサの検出信号が無線の伝送量を超えないようにサンプリング周期の設定を行う必要がある。また、無線モジュールへのデータの引き渡し

は、シリアル通信により行われるため、プログラム上で信号の変換を行い、シリアルポートへ出力している。

3 システム構成

3.1 センサシート

センサシートの感圧素子には、薄さと柔軟性が要求されるため導電性インキを用いた感圧導電センサを採用し、センサシートの基材には、柔軟な発泡ポリエチレンシートを用いた。これにより従来のセンサシートよりも柔軟な特性が得られ、座面における湾曲部への適合性が高まった。また、感圧導電センサの配置について検討したところ、坐骨部が座位時に最も大きな荷重を受けることから姿勢の変化が顕著に表れる部位であることが分かった。そこで、坐骨部における荷重変化の検出を最重点課題とし、シートの坐骨部にあたる部分に感圧導電センサを集中的に配置することにした。図2に試作したセンサシートの外観を示す。

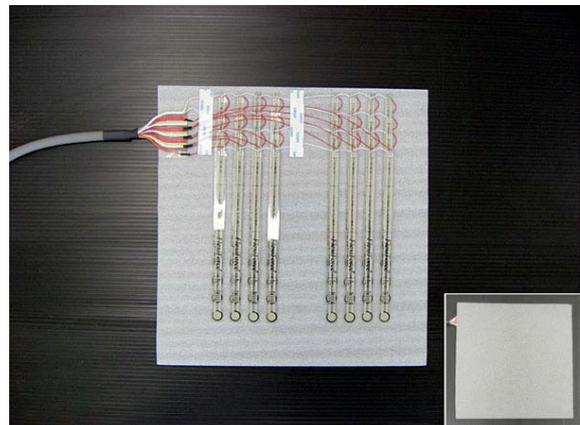


図2 センサシートの外観

画面中央は保護カバーを外したところ。右下は保護カバー装着後

センサシート上で坐骨部に対応する部分には、感圧導電センサを4×4のマトリクス状に展開し、左右合わせて8×4のマトリクスで構成した。

3.2 コントローラ

センサシートに展開したマトリクスを駆動するには、図1に示す機構が必要である。そこで、図3に示す回路を設計した。

っており、チャンネルごとのオフセット・ゲイン調整が可能になるように設計した。

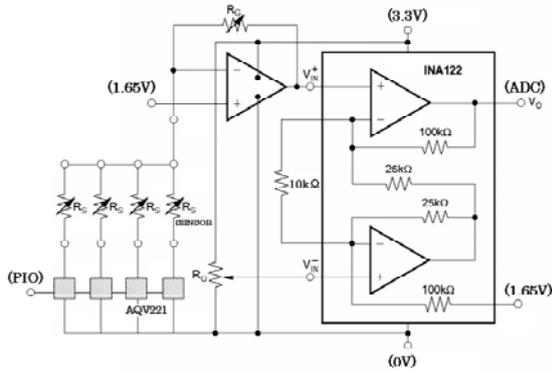


図3 設計したマトリックスの駆動回路

この回路図において、マイコンの制御ポート (PIO) の下には PhotoMOS リレー (AQV221) を接続しており、制御信号によりスイッチングを行うことができる。また、回路中のオペアンプ群とそれに付随する抵抗素子および可変抵抗は、信号の増幅部となっている。 R_s は感圧導電センサ、 R_o および R_g は可変抵抗であり、 R_o によりオフセット調整、 R_g によりゲイン調整を行う。これによりセンサ出力の初期補正を完了する。ここで、 V_{IN}^+ にセンサからの出力信号 $V_s = -R_g / R_s (V^-)$ が入力されると、計装増幅回路により増幅された値が V_o から出力される。つまり、計装増幅回路の増幅率 A は、 $A = 5 + 200k \Omega / 10k \Omega$ で与えられ、 $V_o = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-) A$ の値がマイコンの入力ポート (ADC) に出力される。この駆動回路を制御するマイコンについて検討した結果、日本TI社製のマイコン (MSP430F149) が仕様を満たすため採用した。MSP430 系のマイコンは、消費電力が非常に少ないのが特徴である。

図3の駆動回路を基に試作したコントローラの外観を図4に示す。コントローラ内には、駆動回路のほか、計測に必要なデバイス類 (マイコン、無線モジュール、バッテリー等) を格納している。駆動回路は、 $\pm 1.65V$ 、マイコンおよび無線モジュールは、 $3.3V$ で動作するため、 $9V$ のバッテリー (006P) から $\pm 1.65V$ と $3.3V$ の電源ラインを生成する回路を製作し、コントローラ内に組み込んだ。なお、コントローラの仕様は、入出力 32ch (8ch ごとに切り替え)、最大出力電圧 $3.3V$ とな

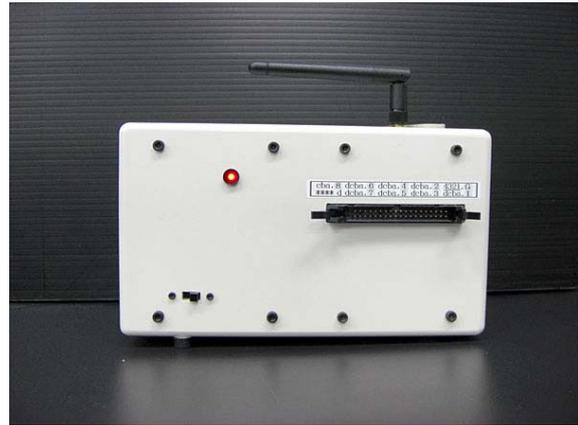


図4 コントローラの外観と内部

3.3 無線モジュール

システムの通信手段として採用する近距離無線通信の代表的なものには、Bluetooth (802.15.1)、ZigBee (802.15.4)、UWB (802.15.3a/c) などがあり、それぞれに特徴的な機能を備えている。特に ZigBee は、消費電力が非常に少なく、通信距離が $10 \sim 70m$ と比較的長いため、センサなどの計測に適した通信手段と言われている。そこで、本研究では、ZigBee と同じ物理層インターフェース (IEEE 802.15.4) を使用している Digi 社製の無線モジュール XBee Series2 (ZigBee 互換) を使用した。このモジュールは、 $2.4GHz$ 帯で動作し、最大転送速度は $250kbps$ である。通信は、コーディネータとルータ/エンドデバイス間で確立されるが、本システムではセンサ側 (送信) をルータ、パソコン側 (受信) をコーディネータとして設定した。図5に XBee Series2 モジュールの外観を示す。

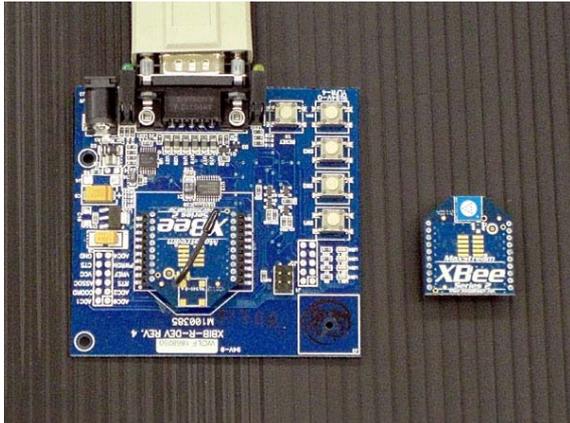


図5 Xbee Series2モジュール

パソコン側（受信）をコーディネータ、センサ側（送信）をルータに設定している。

4 評価実験

開発したシステムの基本的な特性及び動作を確認するため、以下に示す評価実験を行った。

4.1 センサシートの圧力検出特性

試作したセンサシートの圧力検出特性を調べるため、2 ～ 17kg のおもりをセンサシート上に乗せ、そのときの検出値とおもりの重さとの比較を行った。その結果、図8に示すような特性が得られた。検出値は、2 ～ 12kg まで比較的線形に推移しているが、それ以上では若干ずれている。また、測定ごとのバラツキが大きいため、特性安定化のための対策が今後の課題である。

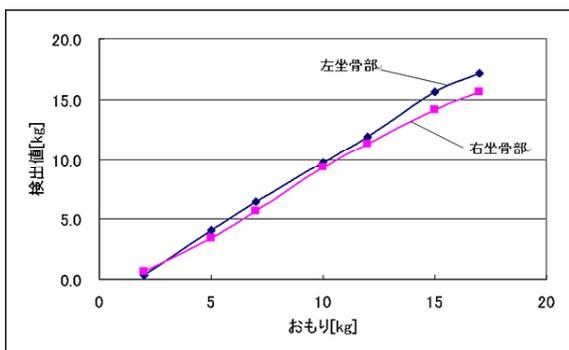


図6 センサシートの圧力検出特性

4.2 コントローラの評価

コントローラに組み込んだ駆動回路の動作実験を行い、信号を正確に検出するためのスイッチング速度について検証実験を行った。実験では、センサからのノイズの影響を取り除くため、3V 電源を駆動回路のリレー部に直結し、その電圧値を

測定した。プログラム上に設定したタイマー値を 1.0 ～ 0.1 秒まで変化させ、入力ポート（ADC）に取り込まれた値を確認したところ、0.1 秒でも正しい値が入力されていることが確認できた。

4.3 無線モジュールの通信実験

センサの検出信号を無線モジュールにより伝送し、通信精度と屋内での感度について検証を行った。無線モジュール以外の影響を排除するため、デスクトップパソコンとノートパソコン間での通信実験とした。無線モジュールは、パソコンのシリアルポートに接続し、LabVIEW7.0 で作成した送受信プログラムを用いて通信精度を評価した。実験に用いたデータは、実際にセンサシートで検出した 32 個のバイト配列信号であり、これを文字コードに変換して送受信を行った。その結果を表2に示す。

表1 無線モジュールの通信精度

	OK	NG
通信距離(1m)	7/10	3/10
通信距離(3m)	9/10	1/10
通信距離(5m)	8/10	2/10

10 回行った実験のうち、約 8 割が通信に成功したものの、残り 2 割がタイムアウトとなった。通信距離を 1m、3m、5m と変えたところ大差は見られなかった。連続送信の実験も行ったが、5 割近くがタイムアウトとなり、リアルタイムのデータ転送には課題が残った。タイムアウトの原因として、データを引き渡す際の処理落ちや同期がうまく取れていないなどの原因が考えられる。

5 まとめ

車いす等の移動体に設置可能なセンサシートを開発し、無線通信によるデータ伝送について検証した。センサマトリックスの駆動回路を設計し、計測制御するためのコントローラを試作した。このコントローラを用いることで、必要なチャンネル数を 32ch から 8ch に減らすことができた。

センサシートの圧力検出特性の評価では、2 ～ 12kg の荷重まで線形性が確認できたが、測定ごとのバラツキが大きかったことが分かった。無線モジ

ユーラの通信実験では、約8割が通信に成功したもののデータの連続送信ではタイムアウトによる通信エラーが発生することが分かった。原因としては、データを引き渡す際の処理落ちや同期がうまく取れていないことなどが考えられる。今後は、こうした課題について対策を進める予定である。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、客員研究員として多大な御指導をいただきました渡辺正光氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 田中智大, 関根俊彰: 福祉ロボットへ応用可能な触覚センサの開発, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **3**, (2005) 30
- 2) 田中智大, 関根俊彰: すべり検出システムの精度向上と実用化, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **5**, (2007) 14
- 3) 関根俊彰, 田中智大: 柔軟なセンサ部位を用いたすべり・転がり検出システム及び検出方法, 特開 2006-343195