

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04419

研究課題名(和文) フィルム状非接触人感センサにおける特異な複素空間形状の解明と脈波計測への応用

研究課題名(英文) Analysis on a unique spectrum in complex space caused by a film-type proximity sensor and its application to pulse-wave measurement

研究代表者

野村 健一 (Ken-ichi, Nomura)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究チーム長

研究者番号：00580078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：人々の安全・安心を見守るセンサ部材の開発に向け、片面粘着基材の両面に非接触人感センサ部(C)となる印刷対向電極を配し、さらにチップインダクタ(L)やチップ抵抗(R)を並列に配したLC共振型高感度センサシートを作製した。インピーダンス値を複素空間に展開した際に見られると予想した特異空間形状は確認できず脈波の計測まで至らなかったが、非共振の場合に比して導電物質の接近に伴うインピーダンスの変化が極めて大きくなることを実証できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

見守り用途のセンサには、心身に負荷がかからないようにさりげなくありつつも、高感度で検出できること、さらに実用化時には大量に製造できるシンプルさが求められる。本研究で開発したセンサは、薄くて軽いフィルム基材の静電容量型近接センサをベースにしながらも、そこにLC共振回路構造を適用することで従来の近接センサに比して極めて高い応答性を実現した。またその構造は粘着体を利用した実装技術により簡易に形成することができ、高効率な製造に向けた道筋も付けることができた。

研究成果の概要(英文)：A highly sensitive proximity sensor sheet for human safety monitoring, based on an electric resonant circuit, has been fabricated. A capacitor structure (C) for detecting electrodes was fabricated using duplex printing of conductive ink on a film substrate with an adhesive layer. Further, a chip-type inductor (L) and a resistor (R) were implemented on the adhesive layer by the adhesive-assisted implementation technique, so that the parallel LC resonant circuit could be constituted. Although neither the expected anomalous trajectory on complex impedance nor the human pulse wave could not be observed, it was successfully demonstrated that the change in impedance, according to approaching a conductive material, became much higher than that of the non-resonance-type sensor.

研究分野：印刷エレクトロニクス

キーワード：近接センサ インピーダンス フィルム 印刷 粘接着 実装 チップ部品

1. 研究開始当初の背景

我が国の高齢化率は世界各国と比しても極めて高い。それに伴い、一人暮らしの高齢者の数も年々増加しており、そういった方を安心安全に見守るセンサ技術の開発が急務となっている。しかし、従来のセンサは、機器の大きさや固さのため設置箇所に制限がある、遮蔽物で死角が生じる、ユーザに肉体的・精神的負担を生じさせる、(接触式センサの場合は)摩耗劣化により損傷する、価格が高いといった課題があり、これら全てを解決できるセンサはこれまでなかった。これらの課題を解決すべく、これまで静電容量(コンデンサ)型のフィルム状非接触人感センサならびに印刷技術を用いた高効率生産技術を開発してきたが、残念ながらこのセンサを含む静電容量型の人感センサは S/N がさほど高くなく、特に呼吸や脈波といった微弱なバイタルシグナルは取得しにくいという問題があった。この課題を解決するため、粘着フィルム基材上に人感センサ部(コンデンサ(C))を形成し、さらに粘着体を用いた常温実装技術を用いてインダクタ(L)と抵抗(R)を配した共振回路構造として、LC 共振周波数付近でのインピーダンス変化を観測する新たなセンサシート構造を考えた。また、アンテナ構造を用いた簡易試行的実験において、静電容量ひいてはリアクタンス(X)の変化のみを観測するのではなく、データを複素インピーダンスに展開することで、特異なトラジェクトリーが観測されている。今回の粘着フィルムによる LC 共振シート構造でも同様の現象が観測され、これが高感度化に寄与する可能性があると考え、その検証を行った。

2. 研究の目的

本研究では、これまでの静電容量型のフィルム状人感センサが抱えていた低感度という課題に対し、コンデンサ構造にインダクタと抵抗を付した共振構造を形成して、センサの高感度化を検証・実証すること、ならびにその構造を簡易迅速に製作するために、粘着フィルム基材を用いた常温での部品実装技術、および当該基材上に印刷技術により簡便に電極・配線形成する手法の検討・適用を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

図 1(a)と(b)に今回作製したセンサ構造(インダクタと抵抗を実装する前)の概念図を示す。粘着層を有するポリイミドを基材とし、粘着層が配されたおもて面はスクリーンオフセット印刷法にて、粘着面を有しない裏面は通常のスクリーン印刷法により導電パターン(電極・配線)を形成した。中心付近に両面に形成された円形電極パターンはコンデンサ構造となっている。通常は、ここに交流の電圧を印加し、電極サイズの違いを利用して電界(電気力線)を外部に漏らす。この漏れ電界領域に人をはじめとした導体が侵入すると静電容量が減少し、人感センサとして機能する。今回のセンサシートでは、この構造が人感センサ部 兼 LC 共振回路のコンデンサ(C)としての役割を果たしている。図 1(a)と(b)に示したパターンを形成した後、おもて面にチップインダクタとチップ抵抗を図 1(c)のように配し、並列型の LC 共振回路とした。実際に作製したセンサシートの写真を図 2 に示す。この回路のインピーダンス(Z)の周波数依存をインピーダンスアナライザにて計測し、また、導体が近づいた際のスペクトルの変化を計測した。なお、チップ抵抗は抵抗値が大きいほど共振ピークが鋭くなる(感度が高くなる)ため、入手できた最大値のものとして 10 M Ω の抵抗を用いた。

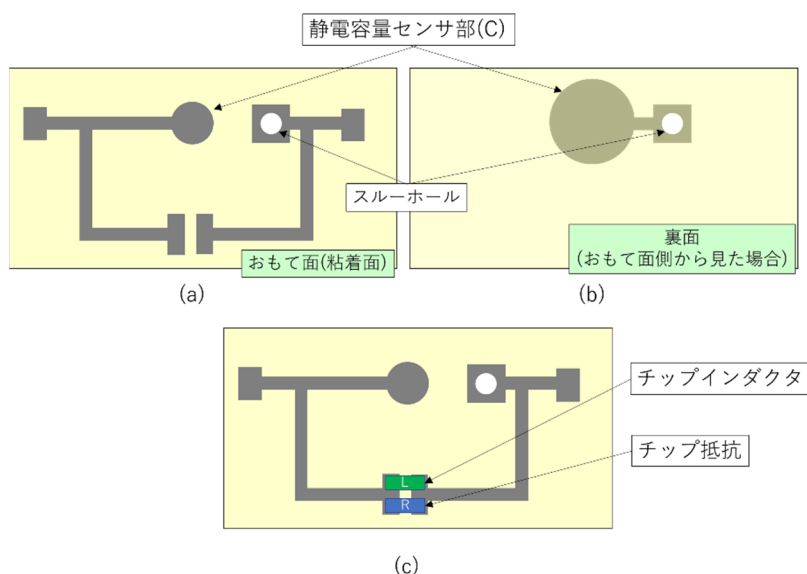


図 1 今回作製したフィルム状センサの概念図。(a)おもて面(チップインダクタとチップ抵抗の実装前)、(b)裏面、(c)チップインダクタとチップ抵抗を実装した後のおもて面

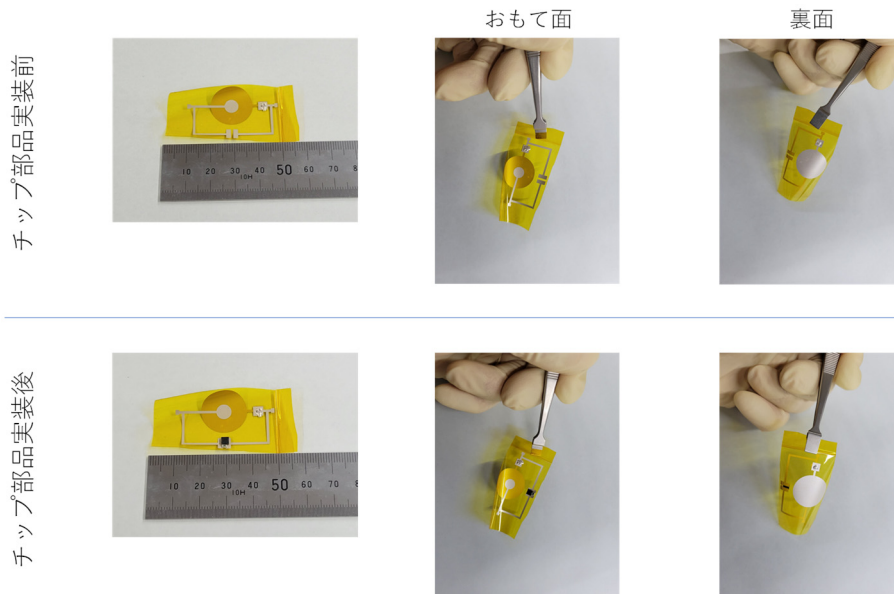


図2 作製したセンサシート

4. 研究成果

まず、センサシートに実装するチップインダクタのインダクタンスを変化させながらインピーダンスの周波数依存を計測した。結果を図3に示す。共振現象に伴うインピーダンスの増加が確認できる。また、共振周波数はインダクタンスが大きくなるほど低周波数側に現れるはずだが、その傾向も見て取れる。一方、インダクタンスの値が大きいほど共振ピークが鋭くなっている。並列共振回路の場合、インダクタンスが小さいほど Q 値は大きくなるはずだが逆の傾向となった。この原因までは突き止められていないが、センサの高感度化の観点では共振時のピークが鋭い方が好ましいことから、入手できた中で最大のインダクタンスを持つ $250 \mu\text{H}$ のインダクタを用いることとした。

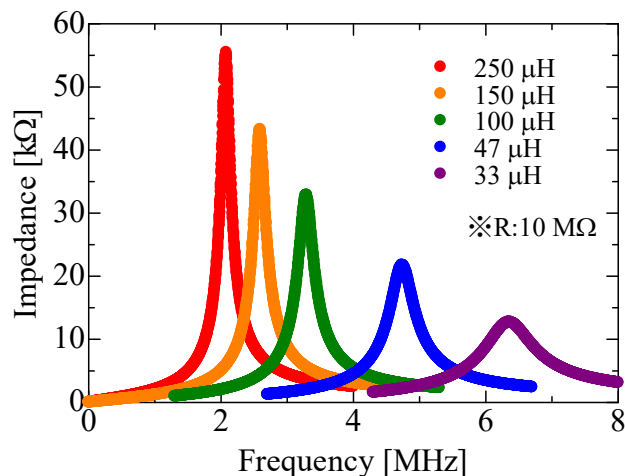


図3 インダクタンスの値を変化させた際のセンサシートのインピーダンスの周波数依存

続いて、センサシートに比べて十分に大きな導体板をシートに近づけた際のスペクトルの変化を確認した。図4(a)に結果を示す。導体板とセンサシート間の距離を 50 mm から 2 mm まで近づけたところ、接近に伴う静電容量値の減少により、距離が近づくほどに共振周波数が高周波数側へシフトした。導体板が無かった場合からの差分を取ったところ、図4(b)に示す通り最大で $20 \text{ k}\Omega$ 近い変化量が得られた。一方、図5(a)に非共振型、つまりチップインダクタと抵抗を実装しない通常の静電容量型のセンサにて、図4(a)に示した実験と同様に導体板とセンサ間の距離を変化させた場合の同周波数帯のスペクトルを、図5(b)に導体板が無かった場合からの差分スペクトルを示す。図4(b)に示された共振時の差分スペクトルは共振構造を用いなかった場合(図5(b))に比べ2桁近く大きな変化量があると分かる。

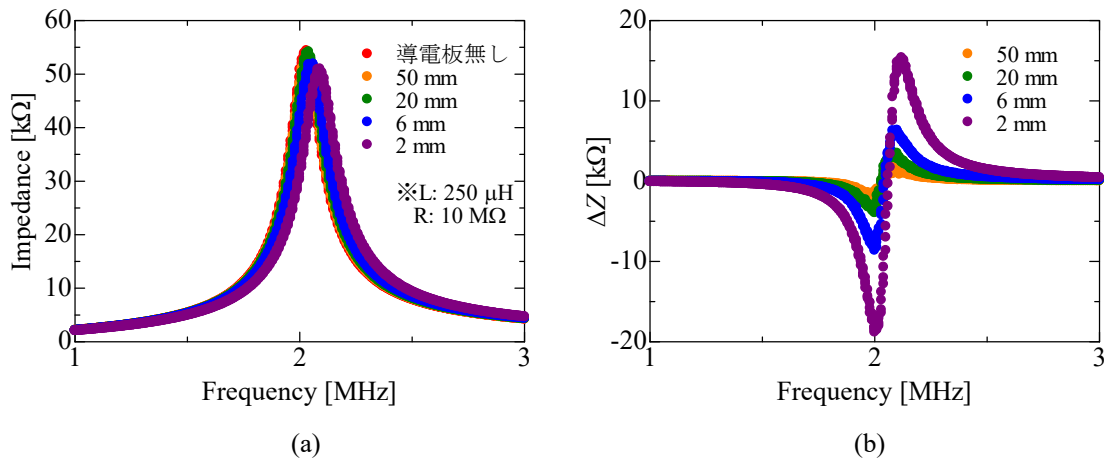


図 4 (a)共振型センサにおいて、センサと導電板間の距離を変化させた際のインピーダンスの周波数依存。(b)導電板がなかった場合からのインピーダンスの変化量

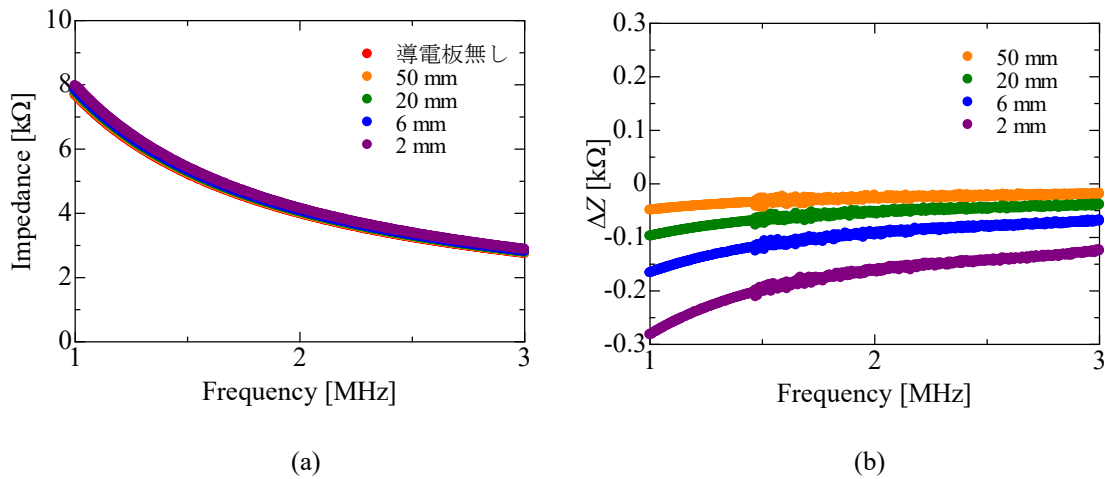


図 5 (a)非共振型センサにおいて、センサと導電板間の距離を変化させた際のインピーダンスの周波数依存。(b)導電板がなかった場合からのインピーダンスの変化量

一方、図 4(a)に示したデータを計測した際に同時に取得した位相の情報をもとに、データを複素平面上に展開したが、予想していた特異形状は観測できなかった。アンテナを用いた当初の簡易実験で使用した周波数は GHz 帯であり、波長で言えば cm のオーダーとなる。つまり、センサと検体間の距離がほぼ同じスケールであったことが、複素空間での特徴的なトラジェクトリーを生んだものと推測している。一方、今回の研究での共振周波数は MHz オーダーに留まり、波長に換算すると極めて長い波長となる。波長に比べセンサと検体間の距離が極めて短いことから、今回の実験では近接場領域の電磁界の変化がセンシングに寄与しており、そのため特異的な複素空間形状は出現しなかったものと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 野村 健一
2. 発表標題 コンフォーマル印刷による日用品のセンサ化技術と見守り応用
3. 学会等名 第36回エレクトロニクス実装学会春季講演大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ken-ichi Nomura
2. 発表標題 Printing technologies using soft silicone blanket for conformal electronic-device fabrication
3. 学会等名 The 20th International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technologies (NNT2021)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken-ichi Nomura
2. 発表標題 Conformal Printing for Advanced Electronic Devices
3. 学会等名 240th ECS Meeting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken-ichi Nomura
2. 発表標題 Printing Technology for Stress-Free Human Monitoring Devices
3. 学会等名 International Conference on Solid State Devices and Materials（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村健一、泉小波、吉田泰則、日下靖之、古志知也、堀井美德、福田伸子、吉田学、牛島洋史、庄子正剛、内田智久、岸下徹一
2. 発表標題 印刷技術が実現する立体構造物への電極形成
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関