

カーボンマイクロコイルを用いた触覚センサの動特性解析

Analysis of Dynamic Characteristics of a Tactile Sensor with Carbon Micro Coil

○ 本間将人(慶大) 森田宏(慶大) 昆陽雅司(東北大) 前野隆司(慶大) 元島栖二(岐阜大)
Masato Homma, Hiroshi Morita, Takashi Maeno Keio University, y10677@educ.cc.keio.ac.jp
Masahi Konyo Tohoku University
Seiji Motojima Gifu University

Abstract— Carbon Micro Coil (CMC) tactile sensor, containing CMCs in it, is thought to have LCR circuit. When the sensor is transformed by mechanical force, the conditions of LCR circuit change. In consequence, the sensor is thought to be able to detect various kind of tactile information by measuring impedance. Impedance characteristics of CMC tactile sensor change by percent by mass of CMC. Additionally, impedance changes by deformation of CMC and change of distance between CMCs. But dynamic characteristics of CMC tactile sensor are not analyzed. Therefore, we analyzed dynamic characteristics of CMC tactile sensor.

Key Words: Carbon Micro Coil, Tactile sensor, Dynamic characteristics

1. はじめに

近年、人間やモノと接する環境で使用され、器用な作業を行うことができるロボットの需要が高まっている。また、人間と接する人工物の開発において、触感を考慮して開発をする需要が高まっている。このような人間やモノと接するロボットおよび人工物の開発には、人間が物体に触れた際に知覚する接触/非接触情報や物体の硬軟、滑り情報、テクスチャなどの触覚情報を定量的に評価することができる触覚センサが必要である。このような需要から、多様なセンサが開発されてきた。しかし、いずれのセンサにおいても、センサ素子自体の小型化、センサ全体の柔軟性などに問題が残されている。このため、センサを人間やモノと接する環境で使うことが困難となることやセンサの寿命が短くなることなどの問題が生じている。

本研究では、上述した問題を解決するセンサとしてカーボンマイクロコイル (CMC) を用いた触覚センサに注目する。CMC 触覚センサの静特性は、筆者ら[1]が明らかにした。しかし、動特性に関しては、十分に解析が行われていない。このため、センサの形状や基本特性を考慮した開発が困難である。したがって、本研究では、CMC 触覚センサの動特性を解析することを目的とする。

2. CMC 触覚センサのメカニズム

2.1 CMC 触覚センサの構造

CMC は、1990年に岐阜大学の元島らによって開発された2重螺旋構造を有する炭素繊維である[2]。その大きさは、繊維径 0.01~1 μm 、コイル径 1~10 μm 、コイル長 300~500 μm と非常に小型である。CMC はコイルばねと同様に応力と伸びの関係が線形な機械的特性を有し、微小な力によって伸縮する。また、CMC は導電性コイルであるため、CMC 単体でインダクタ、キャパシタ、レジスタの3つの電気的要素を有する。3つの電気的要素は、CMC の変形によって変化する。

図1に弾性樹脂素材に CMC を混入した CMC 触覚センサの模式図を示す。センサ内では、CMC の分布により LCR 回路網が形成されていると考えられる。センサの機械的変形により、CMC の伸縮および分布状態が変化し、センサ内に形成されている LCR 回路網が変化する。したがって、LCR 回路網の変化を特定周波数の電圧を印加した際のインピーダンス Z の変化として計測することにより、機械的刺激を判別することができると考えられる。

2.2 CMC の添加量によるインピーダンス特性

CMC 触覚センサは、弾性樹脂素材に混入する CMC の添加量によって、支配的なインピーダンス特性が変化する。CMC の添加量が小さい場合、キャパシタが支配的な特性となり、添加量が大きくなるにつれ、キャパシタとレジスタが重畳さ

れた特性となる。さらに添加量が大きくなると、レジスタおよびインダクタが支配的な特性となる[1]。

支配的なインピーダンス特性によって、CMC 触覚センサに加わる外力に対するインピーダンス変化は異なる。キャパシタが支配的な特性の場合、CMC 触覚センサが垂直に押し込まれると、インピーダンスの絶対値は減少する。このメカニズムは、センサ内に分布する CMC 間の距離が変化することによって、生じる。また、レジスタが支配的な特性である場合、CMC 触覚センサが垂直に押し込まれると、インピーダンスの絶対値は増加する。このメカニズムは、センサが変形することによって、センサ内の CMC が変形することによって生じると考えられる。

2.3 動特性のメカニズム

CMC 触覚センサの静特性のメカニズムは、静特性だけでなく、動特性においても同様であると考えられる。このため、静特性のメカニズムを機械的な振動が加わった際に適用することを考える。このような場合、電気的要素の値が振動によって変化し、機械的な振動数によって変化する場合も考えられる。しかし、印加交流電圧周波数と振動数が大きく異なるため、振動数によるインピーダンス変化は無視できると考えられる。したがって、動特性においても、センサの変形変位に応じて、電気的変化が出力されると考えられる。

弾性体表面に機械的な振動が加わった際、その振動は弾性体の深部には減衰して到達する。この減衰は、振動数が大きいほど、弾性体の表面近くで大きく減衰し、小さい振動数ほど容易に深部まで到達する。このため、均一な弾性体を振動させた場合、小さい振動数では、振動が減衰されずに全体が振動し、大きい振動数では、振動が減衰され深部での振動が小さくなると考えられる。

CMC 触覚センサが均一な弾性体であると仮定し、センサに機械的振動が加わった場合について考える。この際、上述した弾性体と同様であると考えられる。このため、振動数が小さい場合、振動は減衰されないため、静的な刺激を加えたときと同様にインピーダンスが変化すると考えられる。一方、振動数が大きい場合、振動が減衰されるため、深部での振動

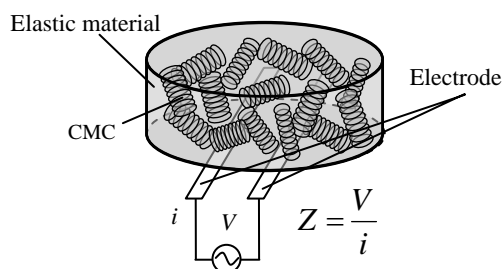


Fig. 1 Structure and impedance detection of CMC tactile sensor

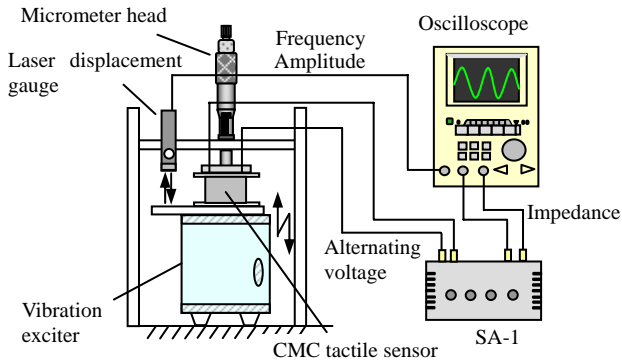


Fig. 2 Dynamic experimental equipment

は小さくなる。このため、センサ表面での押し込みが静的な押し込みと同様な場合でも、センサ内の深部では静的な押し込みを加えた場合と同様の変形が生じていないと考えられる。また、CMC 触覚センサは、センサ内に均一に分布している CMC 全体の分布状態の変化および変形量より出力が決定される。したがって、振動数が大きい場合、振動の減衰によって、インピーダンス変化が小さくなると考えられる。

3. 動特性解析

CMC 触覚センサの動特性を解析するため、CMC の添加量が異なるセンサおよび加振機を用いた振動装置を製作した。製作した CMC 触覚センサは直径 15mm、高さ 4mm の円柱形状であり、センサ底部に銅電極が配置されている。銅電極とシリコンゴムの接触状態および接触面積の変化を無視するために、シリコンゴムとセンサ底部の電極は完全に接着した。また、攪拌・脱泡を行うことにより、センサ内における CMC の分布状態を一様にした。

3.1 実験方法

動特性解析を行った実験装置の概略図を図 2 に示す。図 2 に示すように、CMC 触覚センサは上面および下面が固定されている。下面に加振機が固定されており、下面が振動する。振動振幅および振動数は、レーザ変位計によって測定する。CMC 触覚センサには、発振機とアンプを用いて、交流電圧を印加する。そして、シーエムシー技術開発製インピーダンス計測器 SA-1 によって、CMC 触覚センサのインピーダンスの実数成分および虚数成分を電圧変化として測定する。

実験準備として、筆者らが明らかにした静特性の結果[1]と SA-1 による測定結果が定性的に一致するかを確認した。また、本実験装置に CMC 触覚センサを取り付け、30Hz の機械振動を加えた。この際、0.02mm 刻みで、最大 0.1mm の振動振幅を加え、振幅とインピーダンスの絶対値 $|Z|$ の関係を測定した。この結果、静特性の結果と定性的に一致することが確認された。以上を考慮した上で、以下の実験を行った。

実験装置に CMC 触覚センサを取り付け、CMC 触覚センサに正弦波の機械振動を加えた。SA-1 によって、得られた出力電圧から $|Z|$ を計算し、 $|Z|$ 変化の振幅を計算した。また、加振機によってセンサに加えた機械振動の振幅は 0.1mm、振動数は 1Hz、10Hz、30Hz、50Hz、100Hz である。CMC 触覚センサに印加した交流電圧の電圧は 2Vp-p、周波数は 600kHz である。CMC 触覚センサの添加量は 3wt%、5wt%、10wt% のものを用いた。ここで、CMC 添加量が 3wt% のセンサはキャパシタが支配的な特性、5wt% のセンサはキャパシタとレジスタが重畳された特性、10wt% のセンサはレジスタが支配的な特性である。また、比較として、長さ約 1mm、厚さ 0.02~0.1mm のアルミ片を 5wt% 混入したセンサを用いた。アルミ片を混入したセンサは、センサ内部でアルミ片同士が非接触で分布し、キャパシタが支配的な特性である。

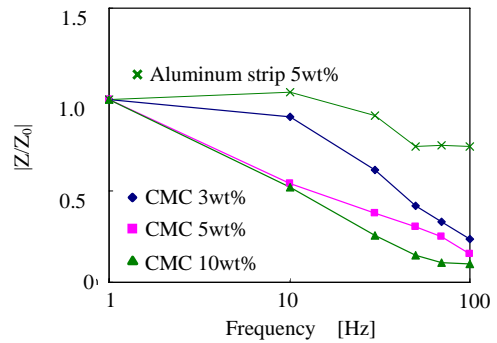


Fig. 3 Relationship between frequency and $|Z/Z_0|$

3.2 実験結果および考察

加振機を用いた振動実験の結果を図 3 に示す。図 3 より、CMC の添加量によらず、機械的な振動数が大きくなるにつれ、 $|Z|$ の振幅が小さくなることがわかった。また、CMC の添加量が大きい場合、 $|Z|$ の振幅の減少量が大きいことがわかった。混入物がアルミ片の場合にも、振動数が大きくなるにつれ、 $|Z|$ の振幅が小さくなる傾向があることがわかった。これより、CMC 触覚センサは、低周波の振動を検出する場合には有効であるが、高周波の振動を検出する場合には感度が低下することがわかった。

CMC 触覚センサが高周波数の振動に対して、 $|Z|$ 変化が減少するのは、2.3 節で述べたように、弾性体による振動の減衰であると考えられる。CMC 触覚センサは、そのメカニズム上弾性体中のある一部のひずみ変化を検出しているのではなく、全体としてのひずみ変化を $|Z|$ 変化として検出している。このため、弾性体表面に生じた振動が、深部に到達するまでに減衰したすべての部分が $|Z|$ に影響を及ぼすと考えられる。したがって、高周波数の場合、 $|Z|$ の振幅が小さくなったと考えられる。

4. 結論および今後の課題

本研究では、センサに機械的な振動を加え、動特性を解析した。この結果、CMC 触覚センサは高周波数の振動を検出する場合、感度が低下することがわかった。また、本実験条件の範囲内では、振動を検出することが十分に可能な感度であることがわかった。しかし、振動数が大きくなった場合、検出することができる振動振幅の分解能は低下することが考えられる。このため、振動周波数が変化した場合に検出することができる振動振幅の分解能を測定することが今後の課題である。また、本実験の考察で述べたように、高周波数の振動に対して、 $|Z|$ 変化の減少する要因が弾性体による振動の減衰であるならば、振動の減衰が生じないようなセンサ形状を設計することによって問題を解決することできると思われる。これより、センサの高さおよび剛性が変化した際の振動数と $|Z|$ 変化の関係を測定する必要があると考えられる。したがって、 $|Z|$ 変化が減少するメカニズムの解明、 $|Z|$ 変化の減少を改善することが今後の課題である。これらを行った後、基礎特性を応用したセンサの開発を行うことを考えている。

参考文献

- [1] 本間将人, 昆陽雅史, 前野隆司: カーボンマイクロコイルを用いた触覚センサの機械-電気変換メカニズム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'05 講演論文集, IP1-N-106, 2005
- [2] 葛谷知洋, 植田秋恵, 河邊憲次: CMC の触覚センサへの応用, マテリアルインテグレーション, vol. 17, no. 8, pp. 9-16, 2004