

力・光・温度複合 MEMS センサによる 金属・樹脂表面仕上げの質感評価

Texture Evaluation of Metal and Resin Surface using Force,
Light and Temperature MEMS Sensor

2171014



研究代表者

新潟大学 工学部

准教授

寒 川 雅 之

[研究の目的]

近年、自動車や家電製品などの工業製品において、付加価値向上や他製品との差異明確化のため、表面仕上げによる質感向上が注目されつつある。質感は視覚や触覚によって感じられるものであり、従来は主に人の感性によって評価されてきた。しかし、個人差により評価にばらつきがあり、再現性に課題があった。一方、表面粗さや摩擦係数、反射率、熱伝導率等の質感に影響を及ぼす各物理的特性により質感の比較を行う場合もあるが、質感はこれらの多くの特性が複合的に相互作用した結果もたらされるものであり、個別にこれらを計測すると評価に時間がかかり、評価装置の高コスト化にもつながる。

そこで、本研究では、力・光・温度に対して複合的に感度を持つ MEMS (Micro-electromechanical systems) センサにより、製品の内外装に用いられるような金属や合成樹脂の材質や表面仕上げの違いによる質感を計測する手法の開発を行う。このセンサは、MEMS 技術によりシリコン基板上に作製したマイクロ構造体（カンチレバー）を弾性樹脂（エラストマー）に封止したものであり、外力によるエラストマーの 3 次元変形をカンチレバーで検出するため、垂直方向だけでなくすべりによる水

平方方向の力も検知できる。また、基板であるシリコンは半導体であり、光照射や温度変化により電気伝導度が変化するため、これを用いて光と温度を同じセンサにより検知可能である。このセンサを金属や樹脂の部材に押し付けてなざると、それらの表面粗さや摩擦係数に応じてセンサにはたらく力が変化するため、センサの出力からそれら进行评估する。一方、光を照射した時の反射光を本センサで検知することで、金属や樹脂の色や光沢といった見た目の質感もあわせて評価する。

[研究の内容、成果]

1. センサの設計最適化と作製

本センサの垂直方向および水平方向の力に対する感度は、カンチレバーのサイズやエラストマーの形状・材料に大きく依存する。本研究では質感計測に適した出力を得るため、これらの再設計を行った。

(a) カンチレバーの再設計

従来のものとサイズを変更したカンチレバーを設計・試作し、力に対する感度の比較を行った。図 1 に試作したカンチレバーの電子顕微鏡像を示す。カンチレバーの長さは、従来のものが $290\ \mu\text{m}$ であるのに対し、新たに設計したのは $155\ \mu\text{m}$ である。カンチレバー上にコの字

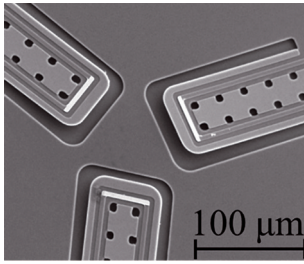


図1 新設計カンチレバー

状に見えるのが NiCr 薄膜のひずみゲージであり、この抵抗変化としてカンチレバーの変形を検知する。図2にエラストマーに封止した新旧カンチレバーの水平方向の力に対するひずみ抵抗変化を示す。新たに設計したセンサが従来より2倍程度高い感度を持っていることが分かる。本研究では、センサで金属・樹脂の表面を水平方向になぞることにより質感を評価するため、水平方向の力への検知が重要であり、新設計のセンサがより質感評価に適しているといえる。

(b) エラストマーの形状設計
水平方向に印加されるモーメントの増大を狙い、図3のような従来よりもエラストマーを高くしたセンサを試作した。図4に力を印加した時の応答を示す。力に対する変化は従来のものに比べて約7倍大きくなった。

(b) エラストマーの形状設計

(c) エラストマーの材料検討
本研究ではセンサを金属・樹脂表面で水平方

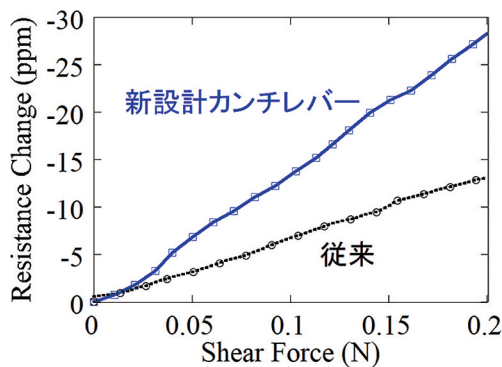


図2 ひずみ抵抗変化の新旧比較

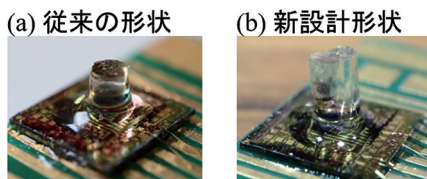


図3 エラストマー形状の設計

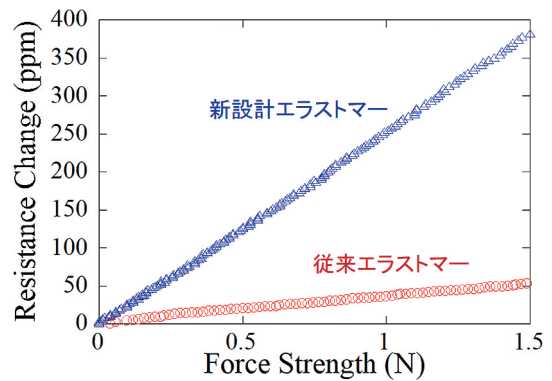


図4 新設計エラストマーによる感度向上結果

向に動かすことで質感を評価するため、表面と接触するエラストマーは粘着性がなく、なめらかにすべることが望ましい。また、表面が濡れたり汚れたりしている場合の計測を想定すると、耐水性や防汚性を持つ必要がある。従来用いていたシリコンゴムの一種である PDMS は、若干の粘着性を持つため、本研究では新たに非粘着性が高く、透水性の低いフッ素系エラストマー（SIFEL, 信越化学）を用いたセンサを試作した。図5に耐水性評価のため、水中で力の印加試験を行った結果を示す。従来の PDMS を用いたものは、水中では PDMS 中に水が浸透し、配線の短絡により非常に大きなノイズが生じ（図中のデータは比較のため $1/1000$ の値を示している）、力に対する依存性は見られないが、フッ素エラストマーを用いたものは空気中と変わらない結果が得られており、このセンサを用いることで濡れた表面でも問題なく計測可能であることを示した。

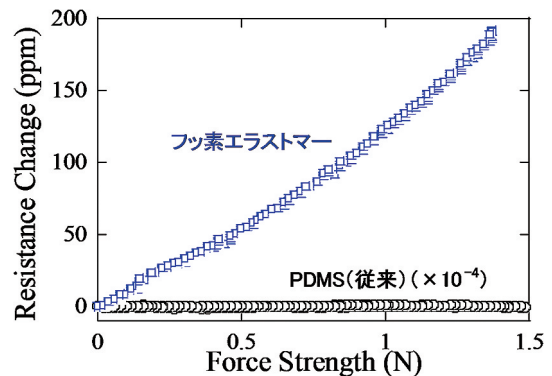


図5 水中での力印加時の抵抗変化

2. 金属・樹脂部材の質感計測

(a) 光沢感の計測

表面粗さの異なるアルミニウム板に対して、センサに隣接して設置したLEDからの光を照射し、その反射光をセンサに入射させて計測した。また、センサ基板面とアルミニウム板表面の角度を変化させ、その時の変化を調べた。図6に角度に対する反射光によるセンサのインピーダンス減少率を示す。センサに光が入射すると、シリコン中の光生成キャリアが増加し、インピーダンスが減少するが、その非入射時に対する減少率が表面粗さにより異なっていることが分かる。また、角度に対する変化も異なっており、これは反射の指向性、すなわち光沢の違いを反映したものである。

(b) 樹脂・金属表面の計測

樹脂材料として様々な電気製品や自動車のパネルなどに広く用いられるポリオキシメチレン(POM)と、金属材料としてアルミニウムを用いて、それらの表面にセンサを接触させ、水平方向になぞった時のセンサの出力変化を調べた。図7にPOM表面の写真(左)と光学顕微鏡像(右)を示す。上は成型後そのままであり、縦に射出成型時の金型による成型痕が、また、下は平削り加工により平坦化されたものであり、縦縞状の加工痕が見られる。これらの痕に平行な方向と垂直な方向それぞれに対して0.1 mm/sの速度でなぞる計測を行った結果を図8に示す。計測開始後数秒間はひずみ抵抗が大きく上昇するが、これは滑り始める前の静止摩擦力の変化

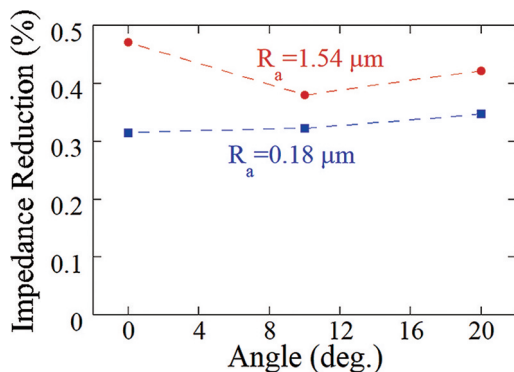


図6 反射光によるインピーダンス減少の角度依存性

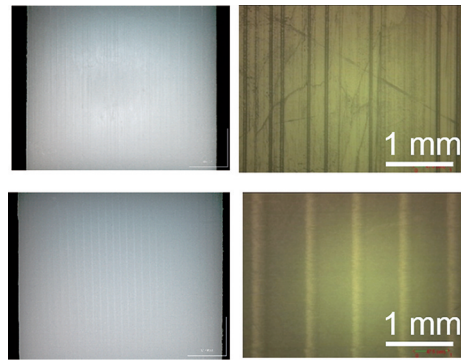


図7 POMの写真および光学顕微鏡像

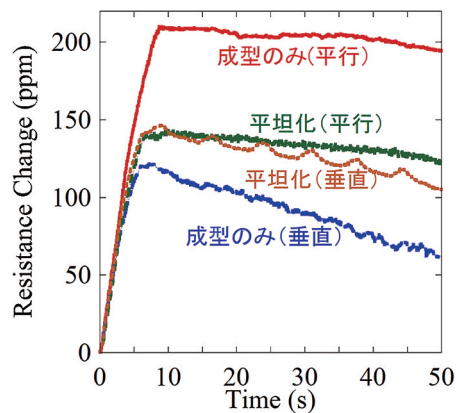


図8 POMのなぞり計測結果

を反映したものであり、成型のみの場合は向きにより大きく異なっているが、平坦化したものは差が小さくなっている。また、水平方向の力が最大静止摩擦力を超えすべり始めると、抵抗は減少に転じるが、平坦化したもので加工痕に垂直な場合、周期的な変化が見られる。これは、図7下に見られる加工痕の間隔と一致しており、その凹凸を反映したものであると考えられる。一方、成型のみの場合は凹凸は平坦化したものよりも大きいにも関わらず、そのような変化は見られない。これは、図7上のように凹凸の間隔がランダムで狭く、センサとの接触面よりもはるかに小さいためである。

一方、アルミニウムの場合の結果を図9に示す。図8のPOMに比べて最初の抵抗の増加が小さく、また減少に転じるまでの時間も短い。これは、金属が樹脂に比べてすべりやすいことを示している。また、すべった後の変化の振幅

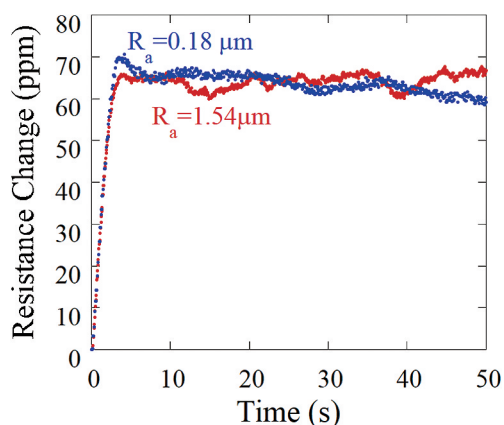


図9 アルミニウムのなぞり計測結果

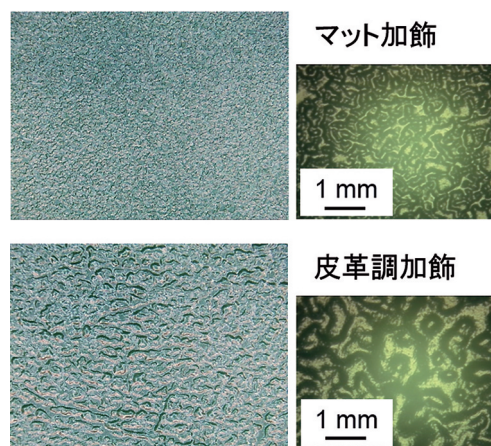


図10 表面加飾加工サンプル

は表面粗さが大きいものの方が大きくなっており、このことから表面の状態を反映した結果が得られているといえる。

(c) 加飾加工表面の計測

図7に示すような、マット（艶消し）および皮革調の表面加飾を施した樹脂についてセンサによるなぞり計測を行った。なお、それぞれの加工の深さは $32\mu\text{m}$ と $93\mu\text{m}$ である。図11にそれらに対してなぞり計測を行った結果を示す。加飾の違いにより、同じ材質の樹脂であるが、最初の抵抗増加とすべった後の抵抗変化の振幅が大きく異なることが分かる。このように、センサの出力は加飾の種類に依存するため、これを分析すればその質感の違いを評価できるといえる。

[今後の研究の方向、課題]

センサの光と力に対する出力が材質や表面加飾によって変化することは明らかになったが、その違いをどのように人の感覚と結び付けるかが今後の課題である。すでに一部着手しているが、人が実際に触って評価する官能試験の結果と、センサ出力の特徴的な変化の相関を分析することで、セン出力から感覚を表す指標を構築することを目指して研究を進める。

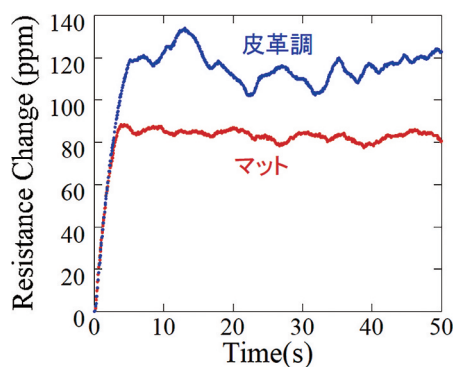


図11 表面加飾による計測結果の違い

[成果の発表、論文等]

1. 難波勇太, 安部隆, 寒川雅之: “光・ひずみ複合MEMS センサによるポリオキシメチレン樹脂加工表面の質感評価”, 平成 29 年度電気学会 E 部門総合研究会, 姫路, 6 月 29 日, PHS-17-15, pp.5-9 (2017) 【電気学会優秀論文発表賞受賞】.
2. 難波勇太, 安部隆, 寒川雅之: “光・ひずみ複合触覚センサを用いたポリオキシメチレン樹脂の表面形状・色計測による質感評価”, 第 34 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 11 月 1 日, 広島, 01am2-PS-117 (2017).
3. 荒木凌馬, 寒川雅之, 野間春生, 安部隆, “繊細な把持制御に向けた近接触覚複合マイクロカンチレバーセンサの小型化・多素子化”, 第 8 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 11 月 1 日, 広島, 01pm4-PN76 (2017).
4. 佐藤周平, 安部隆, 寒川雅之: “フッ素エラストマを用いた MEMS 触覚センサの耐水性向上”, 平成 30 年電気学会全国大会, 3 月 16 日, 福岡, 3-174, p. 252 (2018).
5. 難波勇太, 安部隆, 寒川雅之: “光・ひずみ複合触

- 覚センサを用いたポリオキシメチレン樹脂の表面形状・色計測による質感評価”, 電気学会論文誌 E, Vol. 138, No. 6, pp. 250–256 (2018).
6. 菅史賢, 荒木凌馬, 安部隆, 野間春生, 寒川雅之: “柔軟物把持制御用近接触覚センサの接触部形状の検討とカンチレバーの小型高密度配置による荷重分布計測”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 6月4日, 北九州, 1P2-M09 (2018).
 7. R. Araki, T. Abe, H. Noma, M. Sohagawa: “Miniaturization and High-Density Arrangement of Micro-cantilevers in Proximity and Tactile Sensor for Dexterous Gripping Control”, Micromachines, Vol. 9, No. 6, 301 (2018).
 8. F. Suga, R. Araki, T. Abe, H. Noma, M. Sohagawa: “Suppression of Deformation for Gripping Soft Objects Using Miniature Tactile Sensor with Hemisphere PDMS”, The 9th Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology (APCOT 2018), Jun. 26, Hong Kong, 123 (2018).