

電気粘着ゲルを用いた柔軟固定機構の開発

慶應義塾大学 ○三浦 大空, ◎柿沼 康弘

要旨

現状のロボットハンドの大部分を占めるメカニカルチャックは、ハンド表面が人の指先に比べて硬く摩擦係数が小さい。そのため、把持対象物をハンド間で滑らせるといった繊細な制御には複雑な機構が必要である。そこで本研究では、表面粘着性を電氣的に制御可能な電気粘着ゲル(Electro-Adhesive Gel; EAG)を把持機構に応用することでEAG表面間での滑りを制御し、その有用性を検討した。

1. 緒言

人間のような手指の巧緻性を工学的に再現することを目指したロボットハンドに関する研究[1][2]が盛んに行われており、器用な動作の実現には視覚、触覚情報の利用が不可欠である。特にロボットハンド機器の大部分を占めるメカニカルチャックは、ハンド表面が人の指先に比べて硬く摩擦係数が小さいため、物体の把持にはセンサを用いた繊細な制御を行う必要があり、機構が複雑になってしまうという課題がある。このような背景からロボットハンド表面やハンド自体に柔軟材料や機能性材料を用いたソフトグリップの研究が進められている。平行チャックに改質MR流体を応用したグリップ[3]では、従来のMR流体グリップでは難しかった壊れやすく小さな物体の把持の改善が行われた。しかし解放時に物体が柔軟膜に張り付き解放できないという課題が残されている。

西村らは、ER流体をゲル化した機能性エラストマの一つである電気粘着ゲル(Electro-Adhesive Gel; EAG)を柔軟片側電極基板上に成形した電気粘着ゲルシート(Electro-Adhesive Gel Sheet; EAGS)を開発し、これを柔軟固定機構に応用した。その電気抵抗性を監視することで滑りや把持状態を検知できることを示し、センサ機能と電場制御による表面粘着機能を複合した高機能固定素子としての可能性を示した[4]。

本研究では、EAGSをロボットハンドに適用することを想定して簡易把持機構に応用し、EAG表面間で物体の滑りを制御する方法を検討した。

2. EAGの概要

EAG(Fig. 1)は、シリコンゲルに絶縁性微粒子(ER粒子)が分散した構造をとる。EAGでは、ER流体の粒子鎖形成論に基づく粘弾性変化(ER効果)とは異なり、電場の印加に伴うEAG表面のER粒子の沈降およびシリコンゲルの隆起に基づく表面粘着性変化(EA効果)が生じる(Fig. 2)。EA効果を発現させるためには、EAGに電場を印加する必要がある。柿沼らは平行平板電極で挟み込む両側電極構造を考案した(Fig. 3(a))。そして、対向材料が導体に限定されてしまう問題の改善、汎用性の向上を目的とした、片側電極基板上にEAGを成形した片側電極構造(Fig. 3(b))の開発[5]が行われた。西村らは、この対向材料が導体に限定されない特徴に着目し曲面形状に対応できる、片側電極構造に柔軟電極を適用したEAGS(Fig. 4)を開発した[4]。EAGSはせん断時に生じる弾性変形に伴い電気抵抗が変化することが確認されている。これは、弾性変形により電極間の単位体積あたりのER粒子密度が変化することに関係していると考えられている。

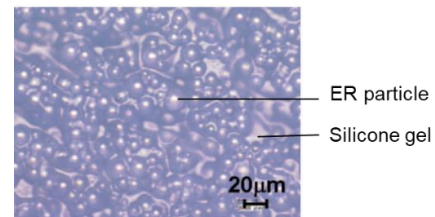


Fig. 1 Surface of EAG

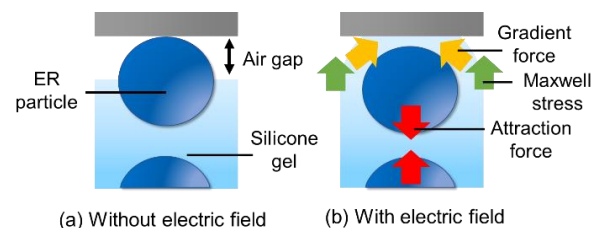


Fig. 2 Mechanisms of EA effect

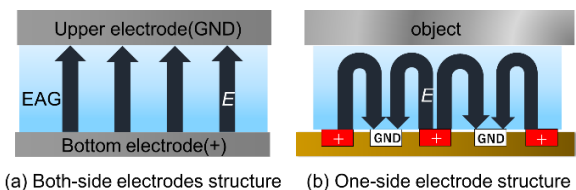


Fig. 3 Concept chart of both-side electrode structure and one-side electrode structure

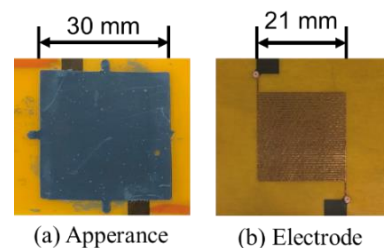


Fig. 4 EAGS

3. 簡易把持機構へ適用した把持試験

EAGSをロボットハンドへ適用することを想定し、簡易把持機構(Fig. 5)を用いて一定荷重の物体を把持するのに必要な押しつけ力と電極間電位差の関係を検討する。簡易把持機構の片側はX軸ステージ上にロードセルが設置されており、その先に治具、スポ

ンジ, EAGS の順で取り付けしている。もう片側は, 台に固定した治具にスポンジ, EAGS の順で取り付けしている。

EAGS に一定電圧を印加して把持対象物を把持した状態から開放する方向に X 軸ステージを移動させ, 落下した時の押しつけ力をロードセルで測定した。また, 各印加電圧で 5 回ずつ測定を行った。把持対象物にはアルミニウム合金(質量: 46.8 g, Sa: 1.150 μm), 未加工 PLA 樹脂(質量: 21.3 g, Sa: 33.863 μm), 加工 PLA 樹脂(質量: 21.8 g, Sa: 1.379 μm)を用いた。またアルミニウム合金と PLA 樹脂の質量が約 25 g 異なるため, 質量 20.1 g のおもりを PLA 樹脂に取り付けてほぼ同等の重さとした。

測定結果を Fig. 6 に示す。アルミニウム, PLA 問わず電極間電位差が増大することで表面粘着力が強まり, 一定荷重の物体を把持する際に必要な押しつけ力が低減していることが確認できる。よって EAGS は導体のみならず不導体対象物も把持することができる。また PLA 樹脂 2 つを比較すると, 各電位差で加工 PLA 樹脂が約 0.05 N とわずかに押しつけ力が小さい。これは, 把持対象物表面が平坦なほど EAGS との真実接触面積が増大するためである。一方, 表面粗さがほぼ等しいアルミニウム合金と加工 PLA 樹脂を比較すると, 電極間電位差が増大するほど必要な押しつけ力に差が生じ, 1000 V 時には約 0.15 N ほど異なる。これは導体と不導体で電場分布が異なるためである(Fig. 7)。Fig. 7(a)の導体では, 導体に向かうように電場が発生するため EAGS 表面の電場強度が強い。一方, Fig. 7(b)の不導体ではアーチ状の電場が発生し, EAGS 表面の電場が相対的に弱くなる。そのため, アルミニウム合金は PLA 樹脂に比べ表面粘着力が強く, 必要な押しつけ力が大きく低減している。

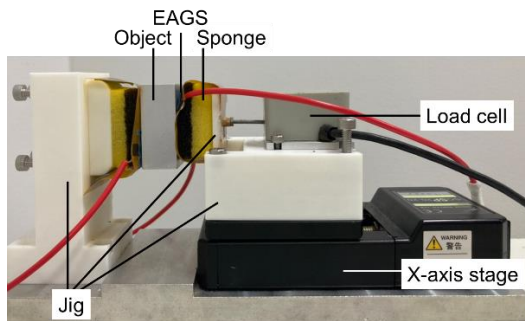


Fig. 5 Simple gripping device

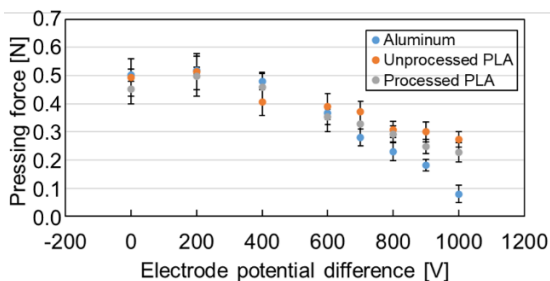


Fig. 6 Relation between pressing force and potential difference between electrodes

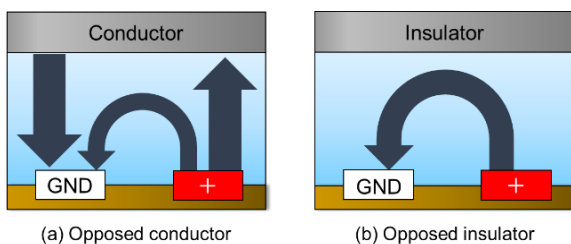


Fig. 7 Relation between electric lines of force and the opposed materials

4. EA 効果を応用した滑り制御

EAGS の電極間電位差を調整し EAG 表面の粘着性を制御することで, 押しつけ力を変えことなく把持対象物を EAG 表面間でゆっくりと滑らせることができるか検証した。Fig. 5 の把持対象物の上方に変位センサを設置し, 滑り量を計測した。まず, EAGS に電圧を 1000 V 印加した状態で X 軸ステージを把持対象物方向に移動させアルミニウム合金を把持し, ステージ位置を固定する。その後, 電圧を毎秒 38 V ずつ減少させ, 把持対象物に変位センサから 1 mm 離れた時に電圧減少を停止することで把持対象物が落下する様子を撮影した(Fig. 8)。電圧を減少し始めてから約 7 秒後に電圧減少が停止し, EAG 表面上を把持対象物がゆっくりと滑る様子が確認された。約 13 秒後にアルミニウム合金の上端が EAGS 内部の電極上端に達し, 把持対象物と EAG との接触面積が小さくなると, 急激に滑り速度が上がり, 落下した。よって EAG 表面の粘着性を調整することで, 押しつけ力を変化させることなく把持対象物の滑りを制御できることが示唆された。また, 電圧低下停止時から電極上端に達するまでの平均滑り速度は約 0.3 mm/s と非常に低速で滑らせることができたことから, 滑り速度を広い範囲で調整できる可能性が示された。

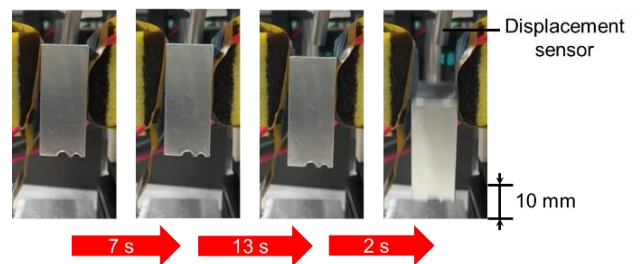


Fig. 8 Sliding adjustment between EAGSs

5. 結論

本研究では, EAGS を把持機構の表面に適用し, 電極間電位差を増大させることで表面粘着力が強まり, 把持対象物の把持に必要な押しつけ力を低減させることができた, この効果は把持対象物が導体, 表面が平坦であるほど強くなることを確認した。表面粘着性を調整することで, 把持対象物の滑りを制御できる可能性が示された。

今後の展望としては, EAGS を実際にロボットハンドに適用していくことを計画している。

参考文献

- 小澤隆太, 田原健二, 多指ロボットハンドの制御法, 日本ロボット学会誌, 36, 5 (2018), 306-315.
- 並木明夫, 高速視覚フィードバック制御のロボット応用, 84, 3 (2018), 243-247.
- 福崎琢也, 津上祐典, 西田健, 小物体把持のための改質 MR 流体を用いるユニバーサルグリップの開発, 第 18 回システムインテグレーション部門講演会, 2017.
- 西村 涼, 日置由夏, 安斎秀伸, 櫻井宏治, 長妻明美, 青山藤詞郎, 柿沼康弘, 電気粘着ゲルシートによる固定時の電気抵抗特性, 精密工学会誌, 88, 1 (2022), 117-123.
- 柿沼康弘, 渡邊拓昭, 青山藤詞郎, 安斎秀伸, ER ゲルを適用した力伝達素子における片側電極設計, 日本機械学会論文誌(C 編), 73, 733 (2007), 192-199.