

柔軟片側電極基板を用いた電気粘着ゲルシートの開発と性能評価

慶應義塾大学理工学部 ○日置由夏, ◎柿沼康弘

要旨

近年、ロボット産業ではハンドリング技術の向上が求められ、機能性流体を用いたロボットハンドの研究が進められている。そこで本研究では機能性エラストマとして、印加電場に応じて表面の粘着性が変化する電気粘着ゲル(EAG)を用い、これに柔軟片側電極を適用することで、ロボットハンドなどの曲面形状に適応可能な柔軟電極 EAG シートを開発した。作製した EAG シートは電場制御による粘着力変化、シート変形時でも粘着効果が確認された。

1. 結論

近年、ロボット産業ではハンドリング技術の向上が求められ、機能性流体や機能性エラストマを用いたロボットハンドの研究が進められている。そこで、本研究では機能性エラストマとして電気粘着ゲル(Electro-Adhesive Gel:以下 EAG)に着目した。EAG とは、印加電場に応じて表面の粘着特性を瞬間的かつ可逆的に変化させることができる機能性材料である。この EAG をロボットハンドに用いることで、外部からの印加電場に応じた表面の粘着性制御が可能なロボットハンドの開発を最終目標とする。従来の EAG では、堅硬な電極基板を用いているため、平面への設置に限られていた。そこで、本研究では、曲面形状の表面に設置することを目的として、柔軟片側電極基板を適用した EAG シートを開発し、その性能評価を行った。

2. EAG の粘着原理

EAG は、絶縁性微粒子と粘着性をもつシリコーンゲルで構成されている。本研究で用いた絶縁性微粒子は、芯体にアクリル系ポリマーを持ち、導電性の酸化錫でコーティングされた無機・有機複合微粒子である。

図 1 に示すように、無電場時には絶縁性微粒子が EAG 表面に突出し、対象物と接触しているため、対象物は抵抗なく移動することが可能である。一方、電場を印加すると、絶縁性微粒子が誘電分極することで粒子間引力が生じ、加えて界面で電気勾配力が発生する。その結果、絶縁性微粒子が EAG 内部に凝集しようとする動きをみせる。その一方で、シリコーンゲルは表面に押し出され、対象物に接触し、粘着効果を発現する。これを電気粘着効果(Electro-Adhesion 効果:以下 EA 効果)といい、電極間電位差に応じて固定力が上昇することが確認されている[1]。

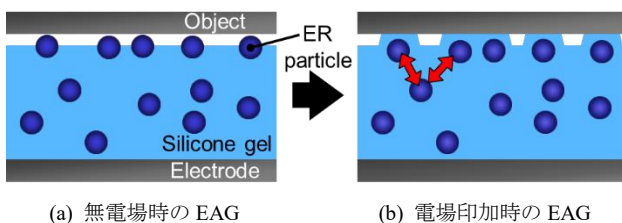


図 1 EAG の粘着原理

3. 柔軟片側電極基板を適用した EAG シートの概要

本研究で開発した柔軟電極 EAG シートはパターン電極が印刷されたポリイミド製の柔軟基板上に EAG 層を作製した構造である。(図 2)

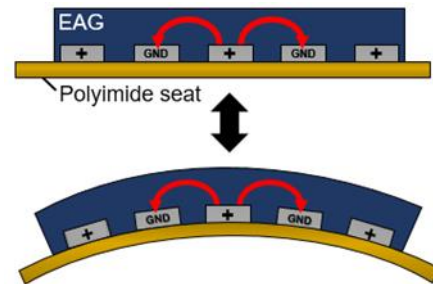


図 2 柔軟電極 EAG シートの構造

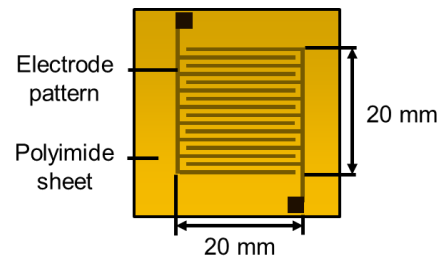


図 3 柔軟電極 EAG シートの構造

図 3 に示すように、柔軟片側電極基板の電極パターンには、陽極と陰極が交互に並んだくし型電極を用いた。EA 効果発現に必要な EAG 表面の電場強度、絶縁破壊の可能性、EAG 層の内部応力の関係を考慮し、最適と考えられる 200 μm 前後の EAG 層厚さをもつ EAG シートの作製を行った。作製した EAG シートは、図 2 に示すように曲面状に変形することでロボットハンドなどへの曲面形状への応用が可能になると考えられる。

作製した EAG シートに対し、曲面の耐久試験として、最も EAG 層の厚い 482 μm のシートを用い、曲率半径 1.5 mm まで湾曲しても EAG 層の剥離、亀裂は観察されなかった。(図 4)

また、耐電圧試験として、最も EAG 層の薄い 170 μm のシートを用い、電極間に 2 kV まで電圧を印加しても絶縁破壊は観察されなかった。

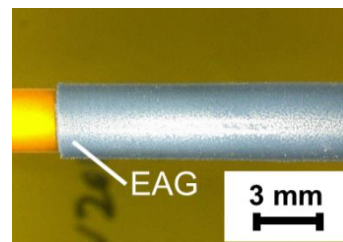
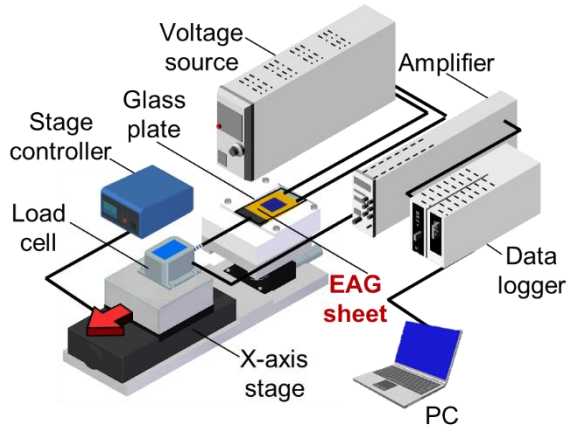


図 4 曲面への耐久試験結果

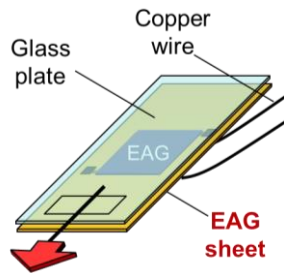
4. 柔軟電極 EAG シートの水平方向固定力試験

作製した柔軟電極 EAG シートに対して水平方向固定力試験を行った。図 5 に示す測定装置を用い、固定対象物には絶縁性のガラス板と ITO 膜で覆われた導電性のガラス板を用意した。

まず、治具上に EAG シートを固定し、その上に固定対象物を設置する。その後、シート電極間に 0-800 V の電圧を 100 V ごとに印加した状態で、固定対象物を 0.5 mm/s で移動させたときに生じる最大固定力を測定した。



(a) 水平方向固定力試験装置概略図



(b) EAG シート

図 5 水平方向固定力試験装置

図 6 に示す測定結果より、固定対象物が導電体の場合、EAG 層厚さ 250 μm 以下において EAG 表面での電場強度が確保され、EA 効果が発現し、電極間電位差に応じた固定力の増加が観察された。一方、EAG 層厚さ 360 μm 以上では電極間電位差による固定力の大きな変化はみられなかった。また、固定対象物が絶縁体では導電体の 80 % 程度の固定力になることを確認した。

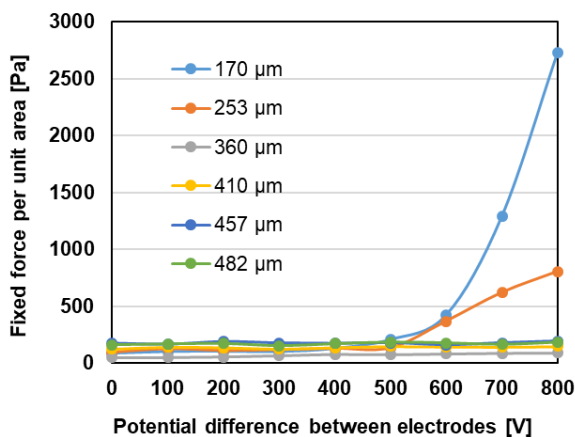


図 6 水平方向固定力試験結果(導電膜付きガラス)

5. 柔軟電極 EAG シートの変形時の固定力試験

EAG 層厚さ 170 μm の柔軟電極 EAG シートを曲面形状に変形した状態での水平方向固定力を測定した。測定には平面形状での水平方向固定力試験と同様の装置を用い、固定対象物には曲率半径 7 mm のアルミ合金製の円柱部材を用意した。また、従来の堅硬な基板を用いた片側電極 EAG と比較するため、図 7 に示すように変形不可能な EAG シートを用意した。

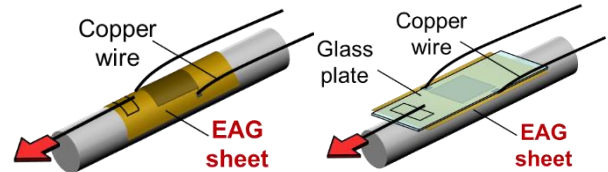


図 7 変形時の固定力測定装置

柔軟電極 EAG シートとガラス板に固定したシートの水平方向固定力測定結果を図 8 に示す。結果より、変形不可能な EAG シートは電極間電位差による固定力の大きな変化はみられなかった。一方、柔軟電極 EAG シートは曲面形状にならって変形することで、600 V 付近から印加電圧に応じて固定力が増加することを確認した。この結果から、柔軟電極 EAG シートは、シートが対象物形状にならうことで、複雑形状の対象物も固定できる点に高い優位性があると言える。

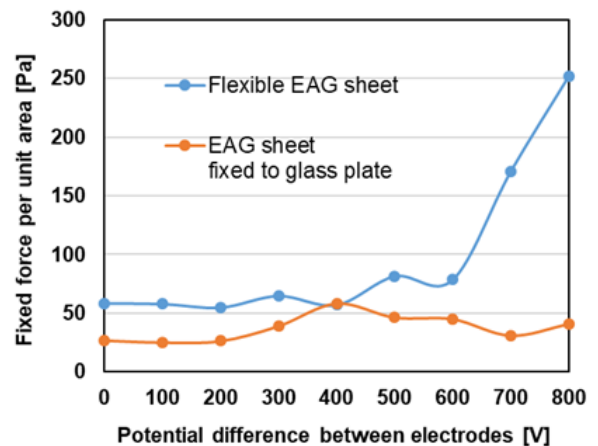


図 8 シート変形時の水平方向固定力試験結果

6. 結論

本研究では柔軟片側電極基板を適用した EAG シートの開発とその性能評価を行った。得られた結果を以下に示す。

1. 柔軟電極 EAG シートは、EAG 層厚さ 250 μm 以下で EA 効果を発現することがわかった。
2. 柔軟電極 EAG シートはシート湾曲時にも電極間電位差に応じた固定力の増加が確認された。変形不可能な片側電極 EAG と比較し、複雑形状対象物の固定にも応用できる可能性を示した。

参考文献

[1] 柿沼康弘, 青山藤詞郎, 安齊秀伸, 桜井宏治, 磯部和之, 田中克敏, “ER ゲルにおけるせん断応力発生メカニズム”, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.36, No.1, pp.15-21, 2005