

電場解析に基づく EAR の高性能化

慶応義塾大学 ○伊藤かな, ◎柿沼康弘, 株式会社リコー 吉野正樹, 茂呂優希

要旨

電気粘着ゴム (EAR) は電場印加に伴い瞬間的かつ可逆的な固定力を発現する機能性材料である。そのため柔軟媒体搬送機構への応用が期待されている。しかし固定力に寄与する力、固定性能を左右する構成パラメータについては未解明である。本研究ではこれらを解析的かつ実験的に調べた。その結果、静電気力に比べ、グラディエント力が固定力の主な発生要因であることがわかった。また弾性層の厚さが固定力に大きく影響することもわかった。

1. 結論

フィルム、布、紙などの柔軟媒体は、薄く、柔らかいといった特徴をもつため、搬送には高度な技術を必要とする。その要求に応じて様々な柔軟媒体搬送機構が開発されてきた一方、より簡便で性能の優れた保持機構の開発が求められている^[1]。

印加電場に応じて瞬間的かつ可逆的に保持力を発生する機能性エラストマとして電気粘着ゴム (Electro-adhesive Rubber; 以下, EAR) が開発された。EAR は様々な部品表面に成形できることから、柔軟媒体の新規保持機構としての応用が期待されている。しかし EAR の固定力発生メカニズムや材料組成が固定力に与える影響は明らかにされていない。そこで本研究では電場解析を駆使し、EAR の固定力発生メカニズムを明らかにすることを目的とした。またこの結果を踏まえ固定力に影響を与える因子の検討を行い、更なる EAR の高性能化を図った。

2. EAR の概要

EAR は厚さ数百 μm のシート状の機能性材料であり、先行研究で開発された電気粘着ゲル (Electro-adhesive Gel; 以下, EAG) を改良して開発された。図 1 に EAR の概観と構造を示す。EAG はエラストマに絶縁性微粒子を分散した構造をとるのに対し、EAR はエラストマ部に粒子を分散せず、表面にのみ粒子を配置した構造を持つ。これにより、引張に対する強度を改善し、製造工程も簡略化された。電極構造としては基板上に陽極と陰極を交互に配置した片側電極を採用した。電極間電位差を与えアーチ状の電界を EAR 表面に作用させることで、電気的引力が発生し、EAR 表面に置かれた柔軟媒体を固定することができる。

3. 解析方法と固定力測定方法

本研究では電場解析によるシミュレーションと固定力測定実験を行った。電場解析ソフトとして ANSYS Maxwell 16.0 を用いた。このソフトでは、マクスウェル方程式に基づき静電場解析が行われる。

固定力測定実験装置を図 2 に示す。ベース上に EAR 基板をセットし、EAR の表面に固定対象の柔軟媒体として紙を置く。紙の一端と電動リニアステージ上に設置したロードセルを糸でつなぎ、電動ステージを一定速度で送ることで、紙を EAR 表面上で滑らせ、その際に生じる抵抗力を測定した。紙が EAR 表面を滑った直前に生じ

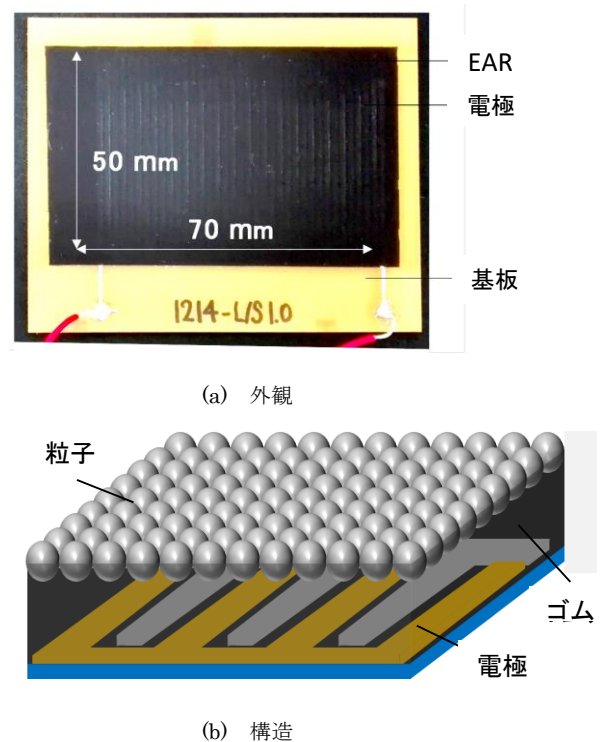


図 1 EAR の外観と構造

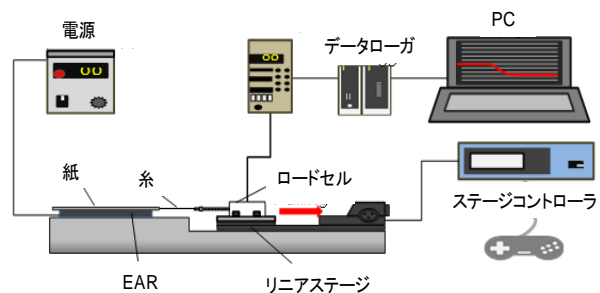


図 2 実験装置の外観

る最大の抵抗力を水平方向固定力と定義し、その固定力を対象物の面積で除した値で評価した。

4. 固定力発生原理

EARの固定力に寄与する電気力として、電場に比例する静電気力と電場の2乗勾配に比例するグラディエント力が固定力に与える影響について検討した。始めに電場解析により片側電極の電極間電位差と粒子の誘電率を変えた時に生じる静電気力とグラディエント力の変化を調べた。その結果、電極間電位差と粒子の誘電率を大きくすると静電気力とグラディエント力はそれぞれ大きくなった。この傾向は実際に固定力測定実験を行った結果と一致した。次に、印加電圧を変えたときに発生する単位面積あたりの静電気力とグラディエント力の大きさを比較した。結果を図3に示す。これよりEARが発生するグラディエント力の大きさは静電気力の約5.4倍であることがわかった。したがって、EARで生じる固定力は、グラディエント力が支配的に働いていることが明らかになった。

5. 固定力に影響を与える構成パラメータ

EARの構成パラメータとして、絶縁体、金属基板、基層厚さ、弾性層厚さ、表層厚さ、電極間隔、電極幅がある。この構成パラメータが固定力に与える影響について調べた。これら8つを制御因子として、実験計画法により各因子の効果を調べた。評価指標は、EARと紙の界面近傍における電場の2乗値の勾配とした。図4に各因子の水準別平均を示す。弾性層厚さによる固定力への影響が最も大きいことがわかる。さらにこの結果について分散分析を行い、固定力への影響は弾性層厚さの次に電極間隔、電極幅による影響が大きいことがわかった。

この結果に基づき、電極幅・電極間隔が0.2 mm, 0.5 mm, 1.0 mmの3つのEARを準備し、固定力測定実験を行った。固定対象物には電気伝導率が低いポリイミドフィルムを用いた。図5に片側電極に印加した電極間電位差と水平方向固定力の関係を示す。電極幅・電極間隔を小さくすることで、固定力は大きくなり、解析結果と同様の結果が得られた。

6. 結論

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 電場解析の結果、EAR表面で生じる固定力は、グラディエント力が支配的に働いていることがわかった。
- 2) 弾性層を薄く、電極間隔・電極幅を狭くすることで固定力は大きくなることわかった。
- 3) 固定対象物を電気伝導率が低いポリイミドとした時、EARの固定力は解析結果と一致した。

7. 参考文献

- [1] 橋本 巨, “柔軟媒体の搬送技術とその展望”, 精密工学会誌, Vol.78, No.5, 2012, pp.359-360
- [2] Yosuke NAITO, Yusuke URAKAMI, Yasuhiro KAKINUMA, Tojiro AOYAMA, Hidenobu ANZAI, “Performance Evaluation of ER-Gels with Different Material Parameters”, 精密工学会誌, Vol.77, No.787, 2011, pp.3850-3860

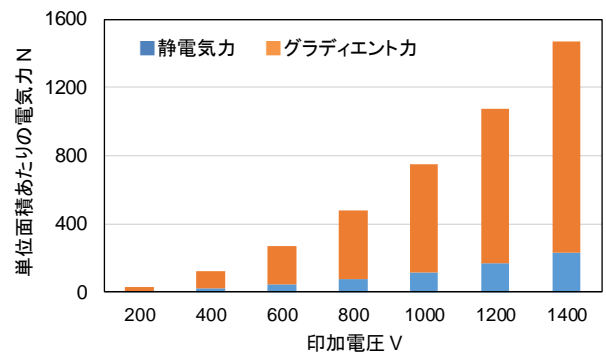


図3 静電気力とグラディエント力の割合

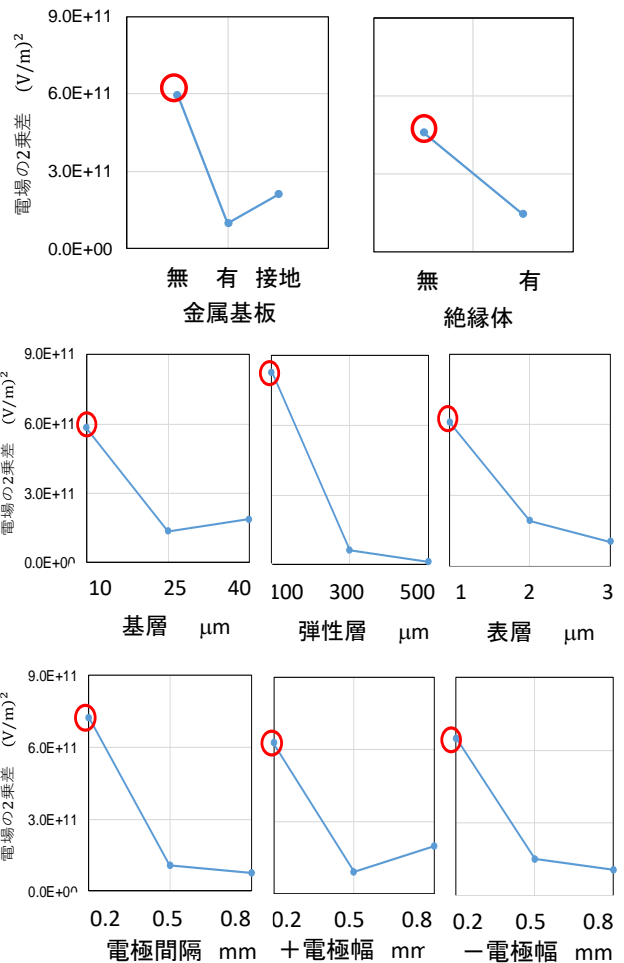


図4 各因子の水準別平均

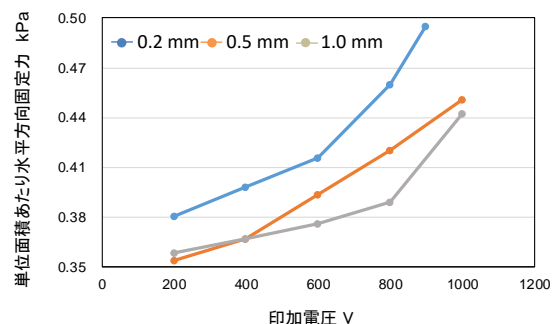


図5 固定力測定実験