

## ノート

## 1 mmの変位量を有する静電アクチュエータの開発

長谷川 孝<sup>\*1)</sup> 殿谷 保雄<sup>\*1)</sup>

## Development of electrostatic actuator having a displacement of 1mm

Takashi Hasegawa<sup>\*1)</sup>, Yasuo Tonoya<sup>\*1)</sup>

キーワード: 静電アクチュエータ, 気中放電, 絶縁体

Keywords: Electrostatic actuator, Air discharge, Electrical insulator

## 1. はじめに

静電アクチュエータは構造が単純であるため, 小型・軽量化が容易である。また電圧駆動であり, 電流変換を伴わないので信号追従性(応答性)に優れている。しかしながら活用範囲はMEMS産業が主であった。MEMS以外の産業, 例えばメカトロニクス産業において, 変位量1 mm以上のリレー用スイッチでの活用を考えた場合, 従来のMEMS産業用静電アクチュエータでは変位量が1 mm未満と小さく, 製品化が困難である。1 mm以上の変位量を確保するには, 印加電圧の増加と, 電圧の増加によって生じる電極間放電の回避が必要である。本研究では, 静電アクチュエータをリレー用スイッチとして活用できるようにするため, 製品化への基盤技術に繋がる, 1 mmの変位量を有する静電アクチュエータを開発し, 実験した<sup>(1)</sup>。

## 2. 静電アクチュエータの試作と構造

2.1 試作機の材料と試作 電極間に絶縁体を介在させると, 電極間放電は回避できるが, 電極間が空気のみで満たされた場合と比べて, 静電気力が低下するとともに, 帯電により, アクチュエータの往復運動を妨げる問題が生じる。そこで, 静電気力の低下を抑制するため, 板厚が0.6 mmと薄く, 比誘電率が約10と高い, ポリフェニレンエーテル樹脂(PPE樹脂)ベースの絶縁体を選択した。なお, 空気の絶縁破壊電圧は3 kV/mmであるが, 0.6 mm厚の絶縁体の絶縁破壊電圧は, 37.8 kV(メーカー公称値)である。

また, 静電気吸着力を抑制するため, 静電気吸着力の低減効果がある凹凸表面を有し, 帯電抑制効果が期待できる拡散性領域の表面抵抗率を有した研磨用紙を絶縁体表面に貼付した。

アクチュエータ駆動部電極については, 軽量で強度を有する電極とするため, ABS樹脂製の直径50 mm, 板厚0.2 mmの円板を電極の土台に用い, その円板に直径50 mm, 板厚0.1 mmのアルミ板を貼付して作製した。駆動部のロッドに

は, 支持部との摩擦を低減するため, 直径3 mmの円柱プラスチック材を用いた。そのロッドを円板電極のアルミ板反対面の中心部に固定した。また駆動部の電極(ロッド固定面)と支持部の間にばね定数0.0069 N/mm(メーカーカタログ値)のばねを設置した。

2.2 試作機の構造(機構) 試作機の構造図を図1に示す<sup>(2)</sup>。試作機は, ファンクションジェネレータとDC-DCコンバータを組み合わせ使用し, 対向配置したアクチュエータの駆動部電極と固定部電極に極性の異なる直流高電圧パルス(0~15 kV可変)を同時印加して, 電極間に静電気吸引力を発生させ, その後, 印加電圧を0 Vとして繰り返した。これにより, 駆動部と固定部の電極間に働く静電気吸引力と, 駆動部に取り付けたばねの復元力とによって, アクチュエータが往復運動する機構とした。ここで $d$ は, アクチュエータの変位量を示す。

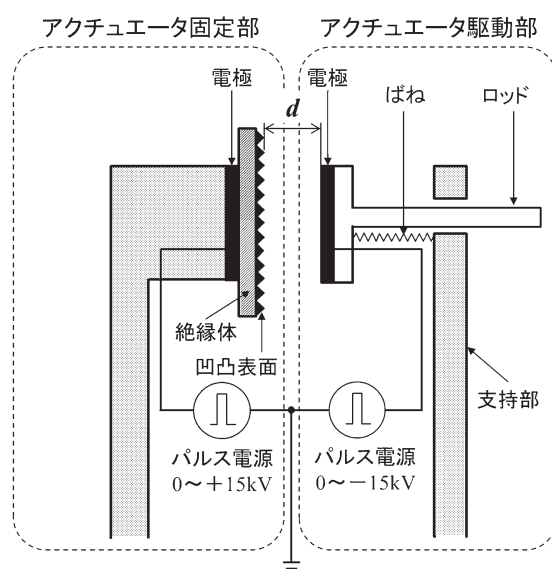


図1. 試作機の構造図

### 3. 実験

3.1 印加電圧と駆動部ロッドの変位量の測定 試作機において、印加電圧と駆動部ロッドの変位量の関係を検討した。駆動部ロッドの変位量はレーザ式変位センサ（キーエンス製IL-030）で測定し、無負荷状態で変位センサの値を0（図1の $d$ の値は任意）として、電圧を0Vから上昇させて $d$ の値が0mmになるときの印加電圧を測定し、駆動部ロッドの変位量との相関を求めた。

3.2 パルス波印加時の駆動電圧の確認 試作機のアクチュエータとしての応答性を確認するため、無負荷状態で図1の $d$ の値が1mmになるよう電極を対向配置し、パルス波印加時の駆動部ロッドの変位量が1mmに達するとき（ $d=0$ mm）の駆動電圧を求めた。

### 4. 実験結果と考察

図2に示すように、アクチュエータの両電極間における気中放電発生の回避策として、電極間へ絶縁体を挿入し、アクチュエータ駆動部を軽量化したことで、印加電圧を増加しても電極間で放電が発生せず、アクチュエータ動作が可能となった。

駆動部ロッドの変位量の測定結果を図3に示すように、印加電圧を大きくすることで駆動部ロッドの変位量が増加した。これにより、アクチュエータの駆動力も増加したと考える。ただし、ばらつきが大きいので、再現性については今後検討が必要である。

パルス波印加時の試作機の駆動電圧を表1に示すように、絶縁体の挿入によって、変位量1mmにおいて表1に示す電圧が印加できた。また絶縁体表面に研磨用紙を貼付し、アクチュエータ駆動部との接触表面を凹凸形状にしたことで、周波数5Hz以下で変位量1mmの往復運動を可能とした。しかし時間の経過にともない、変位量1mmが減少する傾向を示した。これは絶縁体がアクチュエータの連続駆動にともなって充電されたためであり、表面の凹凸化だけでは静電気吸着力の低減効果が持続できないことがわかった。

なお参考として、駆動部電極側を接地した場合の、駆動電圧より計算した各入力パルス周波数での静電気発生力（推定値）を表1に付記した<sup>(3)</sup>。

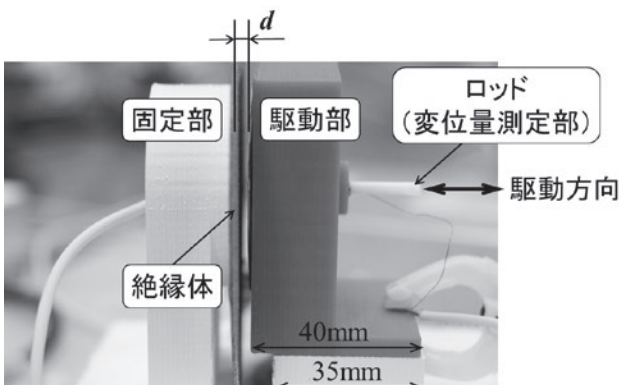


図2. 試作機の写真

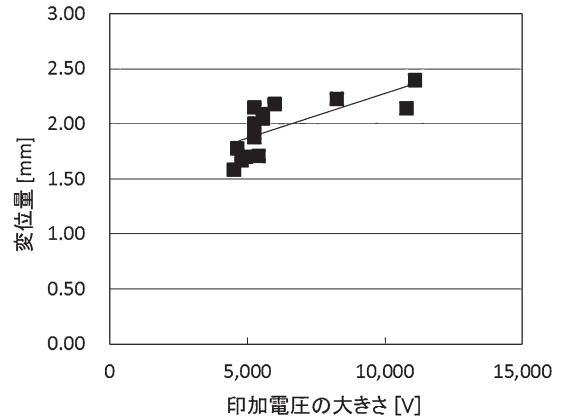


図3. 印加電圧と駆動部ロッドの変位量の関係

表1. パルス波印加時の試作機の駆動電圧

入力パルス周波数 [Hz]	駆動電圧 (設定値) [kV]	変位量 [mm]	静電気発生力 (計算による推定値) [N/m <sup>2</sup> ]
2	10.5	1	434
3	12.0		567
4	13.5		718
5	15.0		887

### 5. まとめ

1mmの変位量を有する静電アクチュエータを考案し、その変位量と駆動電圧との関係を検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) アクチュエータの両電極間における気中放電発生の回避策として、電極間への絶縁体の挿入を提案した。絶縁体に薄板で比誘電率が高い材料を選択し、アクチュエータ駆動部を軽量化したことで、電極間で放電が発生せず、アクチュエータ動作が可能となった。
- (2) 印加電圧の増加にともなって駆動部ロッドの変位量が増加した。アクチュエータの駆動力も増加したと考える。
- (3) 試作機において、周波数5Hz以下で変位量1mmの往復運動を確認した。
- (4) 変位量1mmは、アクチュエータの連続駆動にともなう絶縁体への充電によって減少傾向を示した。

(平成27年7月13日受付, 平成27年7月30日再受付)

### 文献

- (1) 山本晃生:「静電アクチュエータとその応用〜ヒトとの親和性をめざす薄く透明なアクチュエータ〜」, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.13, No.2, pp.8-12 (2008)
- (2) 西嶋隆, 山本晃生, 樋口俊郎, 稲葉昭夫:「積層用両面駆動型静電フィルムアクチュエータを用いた薄型直動テーブルと小型駆動装置の開発」, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告, No.5, pp.7-12 (2003)
- (3) 鈴木隆介, 実吉敬二:「積層型微細静電アクチュエータの動作評価」, 第30回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2012AC2I2-4 (2012)