マクロスケールでの静電アクチュエータ

東京大学　新領域創成科学研究科
山本晃生

１．はじめに

静電気力は磁気力と比べると微小領域において相対的に強くなるとされ，MEMS アクチュエータに代表されるマイクロスケールでの活用が中心的に検討されてきた。一方，代表寸法が cm オーダのマクロスケールにおいても，静電気力の特徴を考慮して適切にアクチュエータを設計すれば，電磁アクチュエータにも劣らない性能を発揮できる。そうしたマクロスケールの静電アクチュエータには構造的な柔軟性を持たせやすいという特徴もあり，近年ではソフトアクチュエータの一種としても注目を集めている。具体例としては，HASEL（Hydraulically Amplified Self-healing Electrostatic actuator）[1]，Electro-ribbon アクチュエータ[2]，DEA（Dielectric Elastomer Actuator）[3,4]などが，柔軟かつ高出力な静電アクチュエータとして注目され，世界的にも活発に研究が行われている。

このようにマクロスケールでの静電アクチュエータへの注目は近年の世界トレンドにもなりつつあるが，一方で日本国内では，フィルム状素材をベースとした高出力な静電フィルムアクチュエータの研究開発が以前より行われている[5-8]。本稿では，筆者も携わってきた静電フィルムアクチュエータを中心に，マクロスケールにおける静電気力の活用原理，具体的な駆動方式と応用例，そして実用化に向けた課題と展望を述べる。

２．マクロスケールで静電気力を上手に活用する仕組み：薄型化と積層化

マイクロ分野で静電気力が多用される理由は，静電気力が「平面力」であり，「体積力」である磁気力に対して小型化するほど力密度で優位になることや，平面的な電極構造が半導体プロセスと親和性が高いためである。では，この平面力の特徴をマクロスケールで活かすにはどうすればよいだろうか。

2-1　静電気力の物理的限界

まずは静電気力の大きさを概算してみよう。図 1(a)のように，少し横にずらして平行に並べた二枚の電極間に電圧を印加すると，電極間にはギャップを閉じようとする垂直方向の静電気力と，水平方向位置を揃えようとする水平方向の静電気力が生じる。このいずれかを用いてアクチュエータが構成できる。ギャップ部の電界が一様であるとすれば，これらの力はギャップ中電界（E）のマクスウェル応力（$\varepsilon E^2/2$）に，それぞれの方向のギャップ断面積をかけて計算できる。すなわち，ギャップサイズが決まれば，あとはマクスウェル応力によりアクチュエータ発生力が定まることになる。

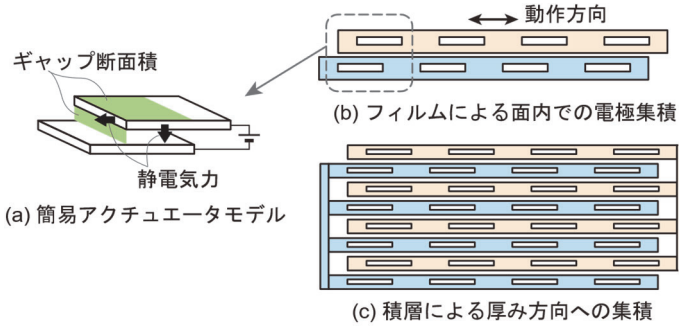

図１　アクチュエータのモデル