

AWB 研究グループ 山本研究室

山本 晃生

工学系研究科 精密機械工学専攻

概要

AWB 研究グループでは、AWB (Attentive Workbench)の研究開発により、作業者に手を差し伸べる生産システムの構築を目指している。AWB とは、作業者の意図を認識し、その認識結果に基づき「手をさしのべる」システムであり、単に作業を自動化するのではなく、人を作業主体とみなして、その作業を適切に支援することで、作業者の身体的・精神的な負担を低減し、作業の効率化をはかることを目的としている。AWB において、実際に「手をさしのべる」際には、何らかのアクチュエータが必要となる。本報告では、デスク環境での作業を対象として、環境中に埋め込んで、書類やトレイをはじめとする軽量物の搬送を行うアクチュエータシステムについて検討した結果を述べる。

1 はじめに

AWB 研究プロジェクトにおいては、新しい作業支援システムを考える上で、“作業者に手を差し伸べるシステム”をキーワードとしている。手を差し伸べるとは、機械が作業を代行するのではなく、作業はあくまでも人間が主体となっていくが、負担が大きいときにそれを軽減したり、ちょっとした手助けが欲しいときに、その意図を解して手伝ったりするものである(図1)。

システムが実際に作業者に「手を差し伸べる」ためには、何らかのアクチュエータが必要となる。人間が主体となっていく作業に対し、その作業を妨害することなく適切かつ自然な形で支援するためには、アクチュエータは、目に見えない形で作業環境中に埋め込まれているのが、一つの理想であると思われる。そのような理想を実現するために、実際にどのような方式が最適であるかは分かっておらず、多くの試みを通じて模索していく必要があると考えられるが、本研究においては、その一つの可能性として、紙やプラスチックトレ

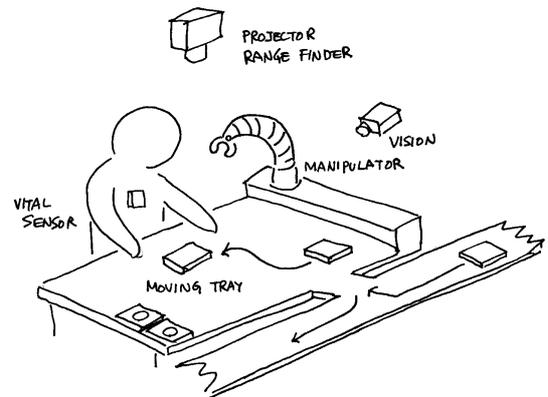


図1 Attentive Workbench の概念

イなどの軽量物を搬送する埋込型アクチュエータについて検討を行った。

2 埋込型アクチュエータシステムの提案

本研究で提案するアクチュエータシステムでは、アクチュエータ要素はデスク表面や壁面に目に見えない形で埋め込まれる。このアクチュエータシステムは、デスク上や壁面におかれた紙やプラスチックトレイなどの軽量物を被搬送物として、保持・搬送することができる。他のシステムによる作業意図の認識結果に基づき、必要に応じて適切な書類やトレイを作業者のもとへと搬送し、また、不要となったものは壁面やデスク隅へと片づける、という形で作業支援にあたる。

このようなシステムを実現するために、本研究では静電力を用いたアクチュエータを用いることを検討する。既存のアクチュエータは、そのほとんどが電磁力を主たる駆動源としているが、電磁力は磁性体にしか作用しないため、電磁アクチュエータで物体を搬送しようとした場合、被搬送物側に磁性体を埋め込んだ専用トレイが必要となる。それに対し、静電気力は幅広い対象に対して力を及ぼすことができるため、紙やプラスチック

クなどを直接搬送することができる。また、静電気力は、平面的に電極を形成するだけで発生可能なため、システムの薄型化が容易であり、デスク上や壁面内へ容易に組み込むことが可能である。

3 静電アクチュエータ

本研究で検討する静電アクチュエータの原理を、図2に示す^[1]。アクチュエータは3相構造の電極を有するステータと、搬送対象となる紙・プラスチックなどの誘電体(=被搬送物)から構成される。まず、ステータ3相電極に一定電圧を数秒〜数十秒印加することで、被搬送物の下表面に電荷を誘導し、電極と等しいピッチの電荷パターンを形成する(図2におけるa~b)。続いて、ステータ側の電圧パターンを1相分シフトすると、被搬送物側に誘導された電荷の一部は瞬時には移動できないため、それらの電荷に働く静電気力により、被搬送物全体が電圧パターンのシフト方向へと搬送力を受け(図2-c)、電極1ピッチ分移動する(図2-d)。これを繰り返すことにより、被搬送物を搬送することができる。

図2中の(a)~(b)にかけての電荷誘導プロセスでは、表面電流と誘電分極の二つの作用により電荷が誘導される。誘電分極には電子分極、原子分極、双極子分極、空間電荷分極の4つが存在し、

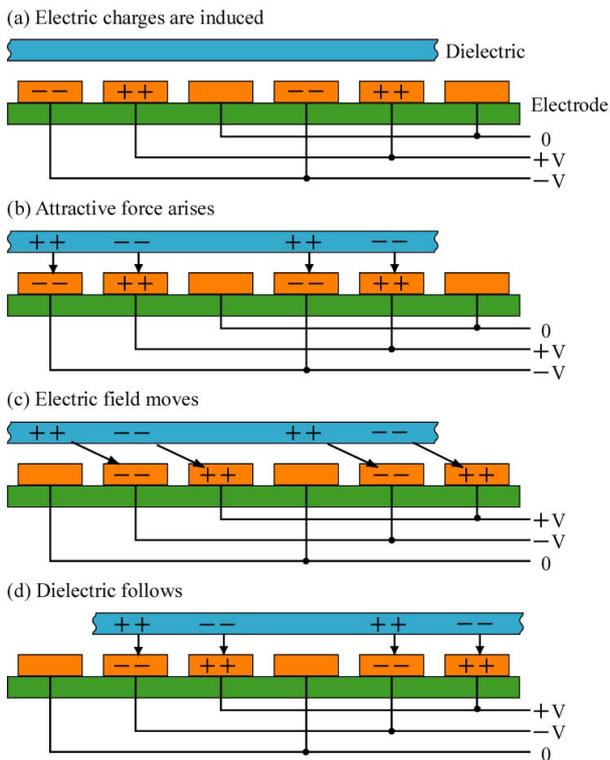


図2 静電アクチュエータ

電子、原子分極は瞬時的に形成、拡散が起こるため瞬时分極と呼ばれる。双極子、空間電荷分極は電界の変化に対して比較的長時間掛けて形成・拡散が起こり、このような現象は誘電緩和と呼ばれる^[2]。

一方、誘電体表面には表面電流が流れるが、この表面電流は、ステータ電極と誘電体表面との間の静電容量と表面抵抗により決まる時定数をもつ。上記の電荷誘導過程においては、表面電流によっても電荷誘導が生じ、誘電緩和を伴う誘電分極と同様の振る舞いをみせる。

すなわち、本アクチュエータでは、表面電流による電荷と、誘電緩和を伴う分極電荷とが駆動力に寄与すると考えられる。なお、一般に、表面電流と、誘電緩和をともなう分極とは振る舞いが類似しているため、測定上、両者を区別することは困難であると思われる。

なお、図2に示したのは1自由度での模式図であるが、電極構造をマトリクス状にすることで、平面内を2自由度で搬送することも可能である。

4 透明ステータ

前節で述べたアクチュエータは、ステータ側に3相の電極を形成するだけという簡易な構造であるため、平面的に薄く製作することができる。そのため、デスク表面や壁面に貼り付けることで、作業の妨げとなることなく作業支援を行うことが可能となる。また、ステータ電極は透明化することも可能なため、透明ステータを用いて、きわめて自然な形で環境中に埋め込むことができる。図3に透明ステータの製作例を示す。このステータは、透明なプラスチックフィルム上に透明導電体であるITO(酸化インジウム・スズ)を電極として形成したものである。



図3 透明ステータ

5 回転型による基礎性能評価

上記の静電アクチュエータにより搬送を行うためには、被搬送物の表面抵抗や誘電特性が特定の条件を満たす必要がある。すなわち、固定子側の電圧パターンをシフトした際に、被搬送物側の電荷移動の時定数が、搬送物そのものの移動時間に比べて十分に長くなければ、搬送力を発生することができないことから、被搬送物の電荷誘導の時定数には最適な値があることが想定される。

そこで、これらの条件の一端を明らかにすべく、図4に示す構成の回転型アクチュエータを使って性能検討を行った³⁾。図4のアクチュエータは、図2のアクチュエータ電極を円周方向に配置したものであり、直動型と異なりストロークの制約が無いいため性能評価が容易である。

実験に用いた装置の写真を図5に示す。ガラスディスクおよびプラスチックディスクをロータ (=被搬送物) として用い、これらをエアベアリングにより保持している。これにより、摩擦の十分に少ない条件でアクチュエータの本来の性能を評価することができる。

ロータとして用いたガラスディスクおよびプラスチックディスクの主な定数を表1に示す。

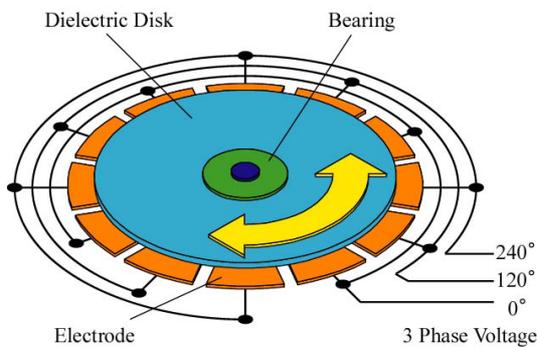


図4 回転型アクチュエータ

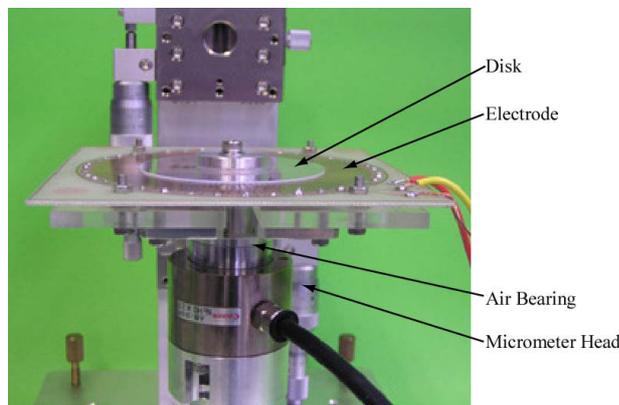


図5 回転型アクチュエータ実験装置

表1 実験に用いたディスク材料

材質	soda-lime glass	polycarbonate
直径[mm]	65	65
厚さ[mm]	0.64	1.2
質量[g]	4.7	4.2
比誘電率	7.4	2.9
表面抵抗[Ω]	10^{12}	10^{13}

以下の実験では、DC電圧による初期電荷誘導後、3相正弦波を印加することでアクチュエータを駆動した。図2においては、電圧をステップ状に切り替えているが、それに代えて正弦波を用いることにより、なめらかな駆動を実現できる。

印加電圧振幅と、アクチュエータ発生トルクとの関係を図6に示す。発生トルクは印加電圧の2乗におおよそ比例していることがわかる。また、最大回転速度と印加電圧との関係を図7に示す。最大回転速度も印加電圧の2乗に比例しており、発生トルクと最大回転速度との間には高い相関関係があることが確認できる。

表面抵抗は表面の水分量に大きく影響されるため、環境の湿度により表面抵抗値は変動する。この表面抵抗値の変化は駆動搬送特性に大きく影響を及ぼすことが予想される。そこで、実験環境の湿度を変化させながら、駆動特性を測定した。なお、図6に示したように、本アクチュエータの発生トルクは微小であり測定が難しいことから、この実験では最大回転速度のみを測定した。図

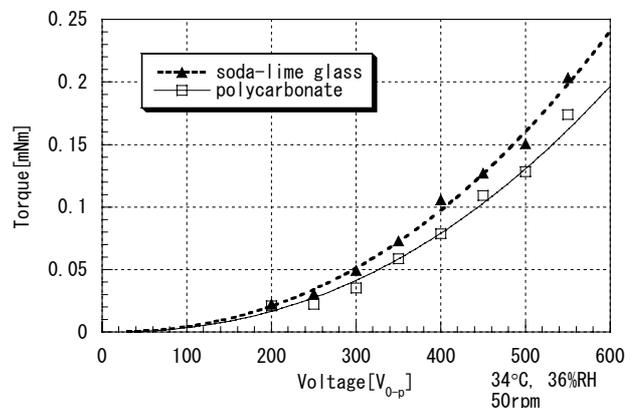


図6 各印加電圧における発生トルク

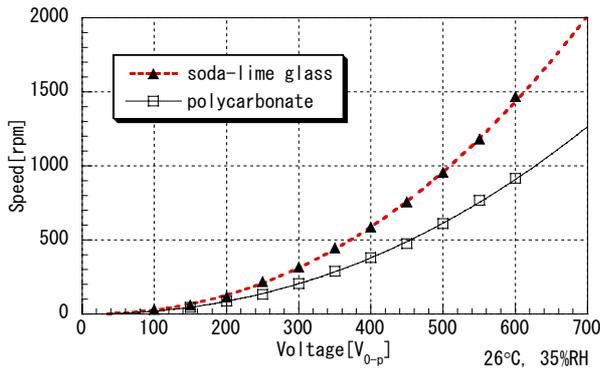


図7 各印加電圧における最大回転速度

6,7 に示したように、発生トルクと最大回転速度との間には良い相関が見られるので、最大回転速度の測定結果から、駆動性能を推測できる。

測定の結果を図8に示す。また、各湿度において測定したディスクの表面抵抗値をもとに、横軸を表面抵抗として図8のグラフを書き換えたものを図9に示す。この結果より、ポリカーボネートディスクにおいては、表面抵抗 $10^{13}\Omega$ 付近で最大性能が得られていることがわかる。一方、設定湿度との関係で、ガラスディスクの特性曲線においては明確なピークが得られていないが、 $10^{13}\Omega$ 近傍にてピークとなる可能性が高いと考えられる。

実際に搬送性能が最大となる表面抵抗値は、ステータ電極と被搬送物との間の静電容量によっても変化するため、被搬送物の設置の仕方によっては最適な表面抵抗値が変化する可能性もあるが、上記の結果より、およそその目安として $10^{13}\Omega$ 前後の表面抵抗を持つことが、本方式での搬送には望ましいことが明らかとなった。

上記の実験は、プラスチックとガラスを対象とした結果であるが、被搬送物を紙とした場合にもやはり表面抵抗 $10^{13}\Omega$ 付近が適切であると考えられる。一般に利用されている PPC (普通紙コピー) 用紙は、表面抵抗値が低くなるよう調整されているため、そのままでの搬送は難しいが、今後、紙の表面処理などを工夫することにより、十分搬送が可能であると考えられる。なお、一部の紙は通常環境において $10^{13}\Omega$ 付近の表面抵抗を有しており、例えばキムワイブ (クレシア, S-200) などは非常に良好に搬送が可能であった。

6 まとめ

AWB (Attentive Workbench)における軽量物搬送用の環境埋込型アクチュエータとして、静電

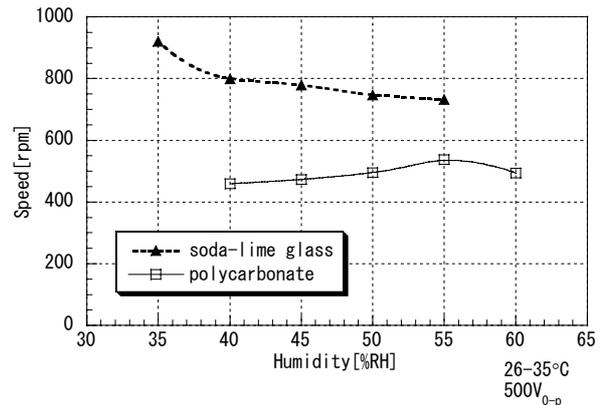


図8 湿度による駆動特性の変化

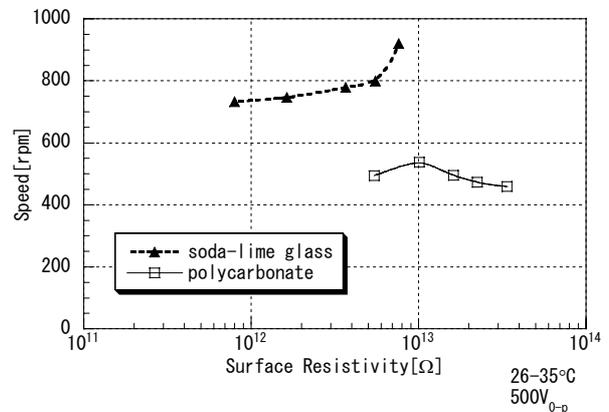


図9 表面抵抗値による特性変化

アクチュエータを提案し、その性能を評価した。表面抵抗率換算で約 $10^{13}\Omega$ 前後の場合に、最も効率良く搬送可能なことが明らかとなった。ポリカーボネートを用いた実験により、プラスチック素材を被搬送物として用いた場合、特別な構造を設けることなく搬送できることが明らかとなった。このことから、AWBにおいて、プラスチックトレイなどを搬送するためのアクチュエータとして本アクチュエータが十分利用可能であると考えられる。

参考文献

- [1] 柄川, 新野, 樋口: 「パルス駆動誘導電荷形静電フィルムアクチュエータ」, ロボット学会誌, 15(3), 373-380, 1997
- [2] 電気学会: 「誘電体現象論」, オーム社, 1999
- [3] 朴, 山本, 樋口: 「静電電力を用いたプラスチックディスクの回転駆動」, 2002 精密工学会春季大会, 433, 2002