

作業環境内に埋め込み可能な静電搬送システム

山本 晃生 樋口 俊郎
工学系研究科精密機械工学専攻

概要

作業者の意図を認識し、その認識結果に基づいて「手をさしのべる」アテンティブエンバイロメント (AE) システムにおいては、作業者に対してフィジカルな支援を行うためのアクチュエータが不可欠である。作業者に心理的圧迫感を与えない自然な支援を行うためには、アクチュエータは、机や壁面などの作業環境に目に見えない形で埋め込まれていることが望ましい。

本研究では、そのようなアクチュエータの一つとして、紙・フィルム・プラスチックトレイなどの軽量物を搬送する静電搬送システムの開発を行っている。この搬送システムは薄型・軽量であることを特徴としており、机上や壁面などの作業環境内に容易に埋め込むことが可能である。

本報告では、複数の搬送物をそれぞれ独立に2自由度で駆動するためのシステム構成方法として、“メッシュ形電極”を利用した静電アクチュエータを提案し、平面内2自由度での搬送が可能であることを示す。また、アクチュエータ上に複数の搬送物がある場合に、それぞれの搬送物を独立に駆動する制御手法について検討した結果を報告する。

1 はじめに

アテンティブエンバイロメント研究グループでは、作業者の意図・心理状態・作業状況などを認識し、その認識結果に基づいて作業者に「手をさしのべる」ことができる作業支援環境 (=アテンティブエンバイロメント: AE) の構築を目指している[1]。システムが実際に作業者に「手をさしのべる」ためには、何らかのアクチュエータが必要となる。人間が主体となる作業に対し、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、アクチュエータは作業環境内に埋め込まれていることが望ましい。

本研究では、そのようなアクチュエータの一つとして、机上・壁面などに埋め込んで、紙・フィルム・プラスチックトレイなどの軽量物の搬送を行う静電搬送システムの開発を行っている。このシステムは、誘導電荷形静電アクチュエータ[2]をベースとした平面搬送システムである。誘導電荷形静電アクチュエータは、フィルム等の軽量物を被搬送物として直接駆動でき、機構が簡素、薄型化・大面積化が可能、駆動用電極に透明導電体を用いて透明化が可能などの特徴をもつ。また、被搬送物の正確な位置決めが必要なく、駆動中の取扱いも容易である。

本研究で開発をめざす静電搬送システムにおいては、このアクチュエータを机や壁面に埋め込むことで、必要書類やトレイを作業者のもとへと搬送し、処理後は壁面やデスク隅へと片付けるといった作業支援を行う。システムの概念図を図1に示す。システム内に埋め込まれた静電アクチュエータにより、システム上に存在する様々な搬送物の一つ一つを、作業の状況にあわせて適切な場所へと搬送する。

システムに組み込まれる静電アクチュエータには、アクチュエータ上の複数の被搬送物を、2自由度に独立駆動させることが要求される。誘導電荷形静電アクチュエータにおいては、これまでも平面2自由度での駆動が可能な方式が複数提案されてきたが[3,4]、大面積のシステムを構築するためには、製作上の難点を排除して、できる限

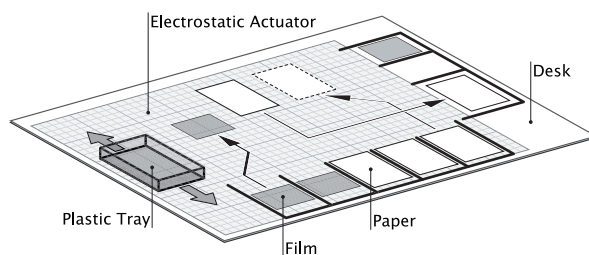


図1. 平面静電搬送システムの概念図

り簡易な構造とする必要がある。そこで、本研究では、従来提案されてきた2自由度駆動方式に代わり、新たに“メッシュ形電極”による2自由度駆動方式を導入した。本方式は、電極構成が単純であり、従来方式に比べ、システムをより簡素にすることが可能であると期待される。

本報では、メッシュ形電極における2自由度駆動の評価実験と、複数搬送物に対する選択的駆動制御手法の提案・検討結果について述べる。

2. 駆動原理

本システムで用いる誘導電荷形静電アクチュエータは、3相に結線された電極をもつ固定子と、 $10^{13}\Omega$ 程度の表面抵抗を有する高抵抗体層をもつ搬送物の二つの構成要素からなる。搬送物は、適切な表面抵抗を有する絶縁体であれば良く、様々な素材のものを搬送物とすることが可能である。

図2に搬送原理の概略を示す。まず、固定子3相電極に一定電圧を印加し、搬送物の高抵抗体層に誘導電荷パターンを形成する(1)。このとき、搬送物は固定子に吸引され、摩擦により保持されている(2)。次に、固定子側の印加電圧パターンを1相分シフトすると、搬送物表面の誘導電荷は瞬時には移動できないため、シフト後の電極電荷から働く静電気力が駆動力となり(3)、搬送物全体が印加電圧パターンのシフト方向へと電極1ピッチ分

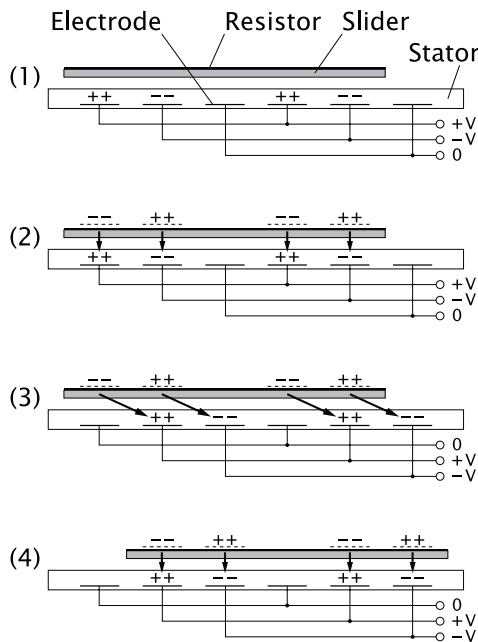


図2. 搬送原理

移動する(4)。これを繰り返すことにより、搬送物をステップ状に搬送することが可能である。実際の印加電圧の一例(1相分)を図3に示す。残る2相への印加電圧は、図3の電圧パターンを1/3周期ずつずらしたものとなる。

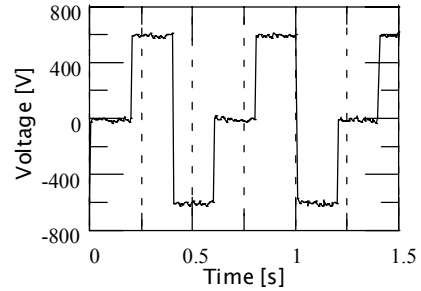


図3. 駆動電圧波形

3. メッシュ形電極の提案

3.1 電極パターンの検討

誘導電荷形静電アクチュエータにおいて、2自由度駆動を行うための電極パターンとして、これまでに複数の方式が提案されてきたが、本研究では、構造が単純で電極および制御装置の製作が容易である点から、絶縁コーティングされた金属線を電極として網状に編み込んだ“メッシュ形”電極を、新たに2自由度駆動用の電極構造として提案する。本研究で試作したメッシュ形電極の概略を図4に、写真を図5に示す。電極幅 $50[\mu\text{m}]$ 、電極ピッチ $400[\mu\text{m}]$ の金属メッシュを、エポキシ樹脂中に埋設した。樹脂部を含めた厚さは $200[\mu\text{m}]$ である。メッシュの各電極は、X軸、Y軸方向それぞれ3相に結線されている。

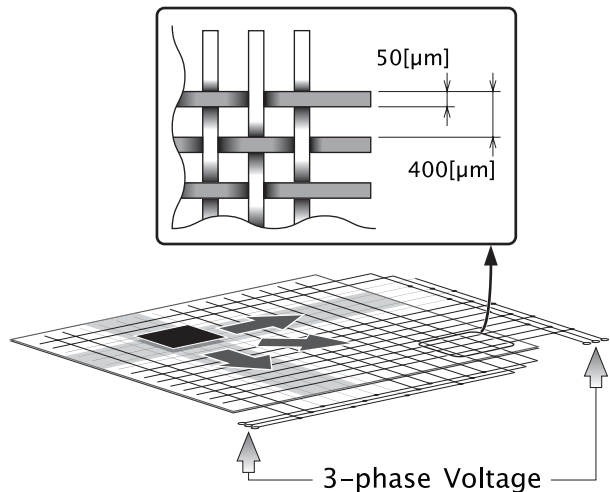


図4. メッシュ形電極

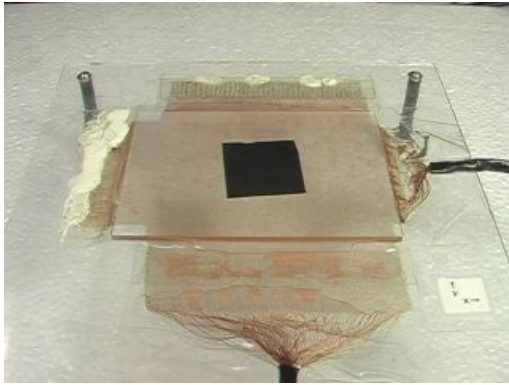


図 5. 試作したメッシュ形電極

3.2 2 自由度駆動実験

PET フィルム表面に高抵抗体層としてカーボンブラックを塗布したものを搬送物としてメッシュ電極上に配置し、X 軸方向および Y 軸方向それぞれの電極に 3 相駆動電圧を印加し、2 自由度駆動を試みた。その結果、約 ± 550 [V]以上の駆動電圧にて 2 自由度駆動が実現できた。図 6 に、X 軸方向と Y 軸方向の両電極に駆動電圧を印加して斜め方向に駆動を行った際の、移動子の X 軸方向および Y 軸方向の変位を示す。また図 7 に、X 軸方向、Y 軸方向、X-Y 軸に対して 45 度の方向に駆動させた際の駆動軌跡を示す。これらの結果より、本アクチュエータが、平面内 2 自由度で搬送物を駆動できることが確認できた。

4. 任意移動子の選択的駆動

4.1 選択的駆動手法の提案

今回試作した固定子電極では、3 相に結線された全ての電極に対し、共通の 3 相電圧パターンを印加することも可能であるが、任意の 3 本だけに 3 相電圧パターンを印加することもできる。よって、アクチュエータ上に複数の搬送物が存在する場合でも、任意の搬送物が存在する電極列にのみ選択的に駆動電圧を印加することで、その搬送物のみを選択的に搬送できる。これにより、複数搬送物に対し、一部の搬送物のみを動かす、複数をそれぞれ異なった方向へ搬送する、といったように選択的な駆動が行える。

しかし、この手法においては、図 8 のように、複数の搬送物が同一の電極列上に存在する場合は、両搬送物への制御が干渉するため、一方のみ

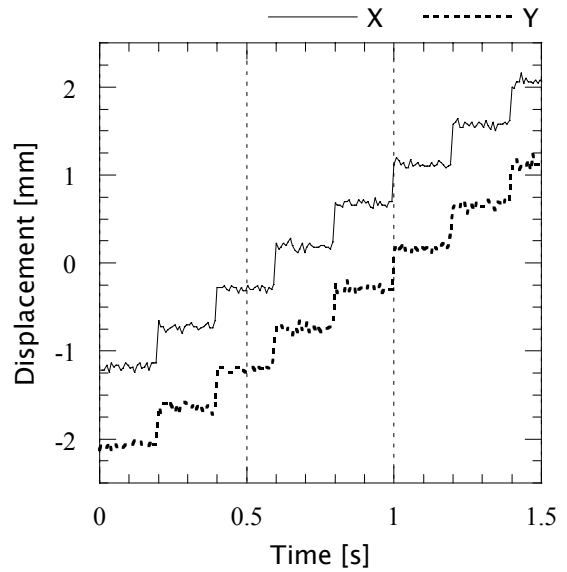


図 6. 斜め駆動時の X 方向, Y 方向変位

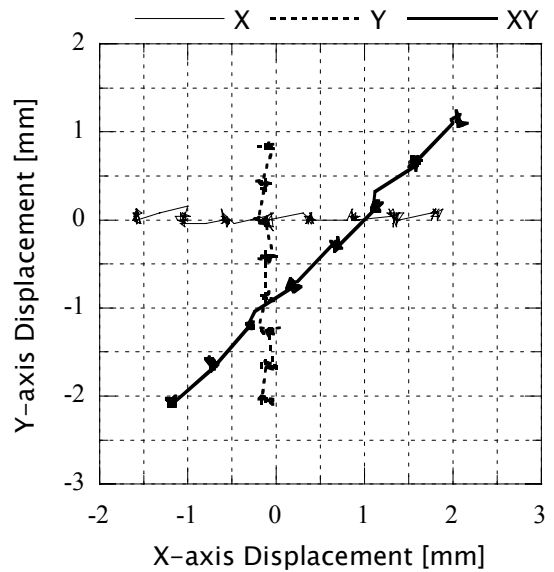


図 7. 駆動軌跡 (X 方向, Y 方向, X-Y 方向)

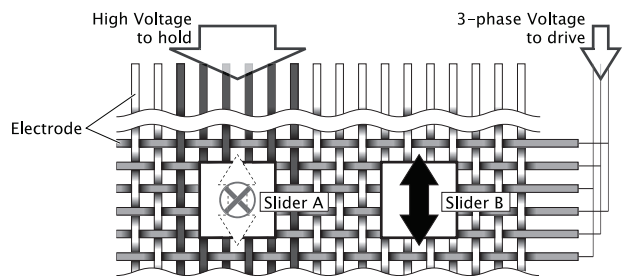


図 8. 部分的電圧印加による搬送物保持

を選択的に駆動することができないという問題がある。この問題を回避するためには、同一列上の複数搬送物の中から任意のものを選択して搬送できる手法を考案することが必要である。

そこで本研究では、駆動に用いる電極列に直交する電極列へと部分的に高電圧を印加することで、同一電極列上に存在する複数搬送物の中から、任意の搬送物のみを選択的に搬送制御する手法を検討した。

4.2 選択駆動実験

ここで提案する選択駆動の手法は、図 8 に示すように、横方向電極への駆動電圧の印加（縦方向への駆動）中、その直交方向の電極の一部に高電圧を印加することで一方の移動子（図 6 中の Slider A）を静止保持し、もう一方の移動子（Slider B）のみを搬送するというものである。

今回は、実験装置の制約上、複数の搬送物の動きを同時に観測することが困難であったため、単一の搬送物を駆動している最中に、保持電圧を on/off して、その動きを制御できるかどうかを観察した。実験の結果を図 9 に示す。図 9 下段のグラフに示す電圧を、横方向の電極列に対して連続的に印加して搬送物を往復駆動している最中に、縦方向の電極列に、図 9 中のパルス電圧（電圧 ± 600 [V]、周波数 1 [Hz]）を静止保持用電圧として印加した。その結果、静止保持用電圧の印加中は、駆動用電圧（ ± 600 [V]）が印加され続けているにもかかわらず搬送物を静止保持できることが確認された。また、静止保持用電圧を取り除くことで、再び搬送が開始されることも確認できた。これにより、静止保持用電圧を用いて、駆動と保持の二つの状態を制御できることが確認された。

さらに、図 8 に示したように、二つの搬送物を同一電極列上に配置した状態から、一方のみに静止保持用電圧を与えて、駆動実験を行ったところ、静止保持用電圧を印加しない側の搬送物のみを選択的に駆動することにも成功した。

5. おわりに

固定子にメッシュ形電極を用いた誘導電荷形静電アクチュエータにおいて、平面 2 自由度駆動を実現した。また、複数搬送物の中から一部の搬送物のみを選択的に駆動する方法として、駆動用

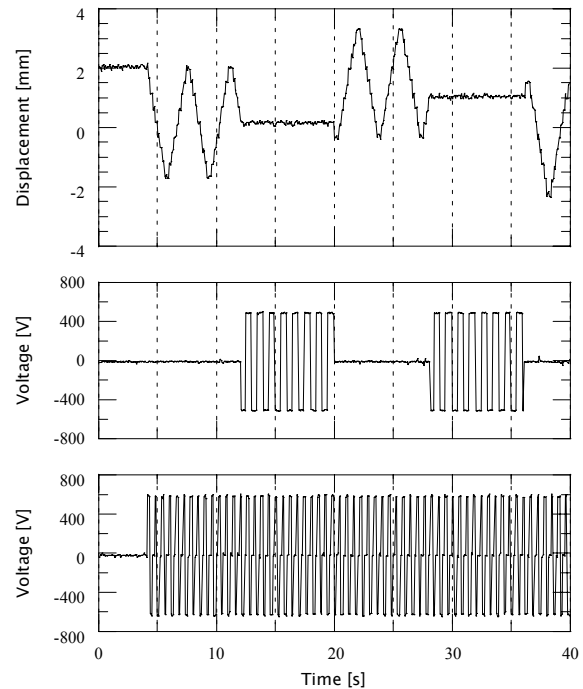


図 9. 保持電圧印加による駆動と保持
[変位(上), 保持用電圧(中), 駆動用電圧(下)]

電圧印加中の電極に直交する電極群に静止保持用高電圧を部分的に印加する手法を提案し、選択的駆動が可能となることを確認した。今後は、搬送物の位置を認識する装置と組み合わせることで、複数の搬送物に様々な動作をさせる実験を行い、図 1 に示したシステムの実現をめざしたい。

参考文献

- [1] 木村他, 「作業配慮型生産システム」, 2003 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 (2003) p.640
- [2] 柄川他, 「パルス駆動誘導電荷形静電フィルムアクチュエータ」, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.3 (1997) pp.373-380
- [3] 樋口他, 「平面 2 自由度静電アクチュエータの試作」, 1992 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (1992) pp.329-330
- [4] 住野他, 「透明静電アクチュエータを利用した超薄型ポスター掲示機の開発」, 第 12 回 “電磁力関連のダイナミクス” シンポジウム (2000) pp.569-570