

実世界情報システムプロジェクト ～アテンティブエンバイロメント研究グループ～ 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。

これまでに、提案する搬送原理を用いてシート状の紙・ガラス・プラスチックが搬送可能であることを、1自由度回転モデルを用いて示してきた。また、搬送系を平面2自由度に拡張するための方法として、“メッシュ形電極”を利用したシステムを提案し、その有効性を示してきた。

これらの成果を、実際の机上や壁面に埋め込んだ形で示すためには、搬送システムをデスクサイズまで大型化する必要があることから、現在、大型化に適した電極製作方法について検討を進めている。本報告では、大型の電極製作により適した方法として、印刷による電極作製について検討した結果を述べる。

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。人間が主体となって行う作業に対し、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、作業後は対象物を壁面やデスク隅へと片付けるといった作業支援を行う。システムのご概念図を図1に示す。作業デスク等の面内に埋め込まれた静電アクチュエータにより、デスク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

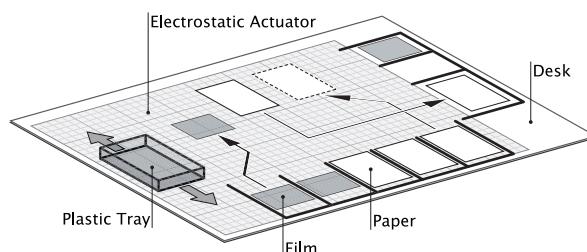


図1. 平面静電搬送システムのご概念図

自由度に独立駆動させることが要求される。昨年度報告において、2自由度駆動を実現するための電極構成として、“メッシュ形電極”を提案し、その有用性を示したが、昨年度製作したメッシュ状電極は、金属線を編み込んで製作したものであり大面積化が困難であった。そこで本年は、より大面積化に適した方法として、印刷による2自由度電極の製作を試みた。

本報告では、第2章で静電アクチュエータの駆動原理およびメッシュ形電極の構成について述べた後、第3章において、本年度製作した印刷によるメッシュ形電極の詳細を述べる。

2. 駆動原理

2.1. 1自由度動作原理

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、 $10^{13} \sim 10^{15}[\Omega]$ 程度の表面抵抗を有する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

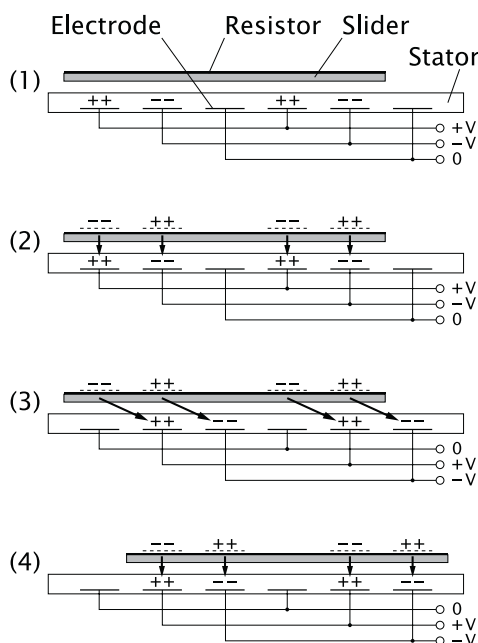


図2. 搬送原理

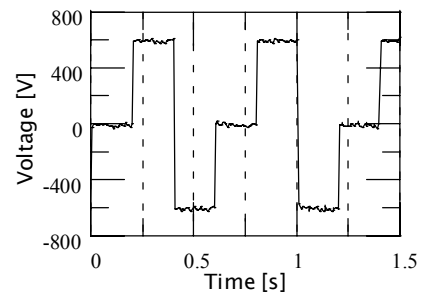


図3. 駆動電圧波形(1相分)

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。

2.2. 2自由度メッシュ形電極[3]

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、昨年度、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”電極を提案、試作した。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[μm]、電極ピッチ400[μm]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[μm]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。これら直交する二組の電極群の内、一方のみに電圧を印加することで、Xも

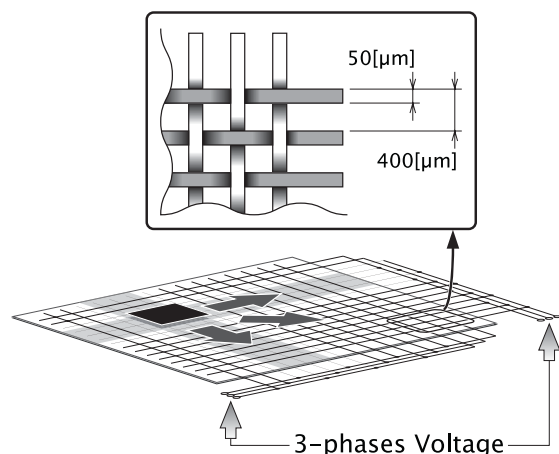


図4. メッシュ形電極の構造

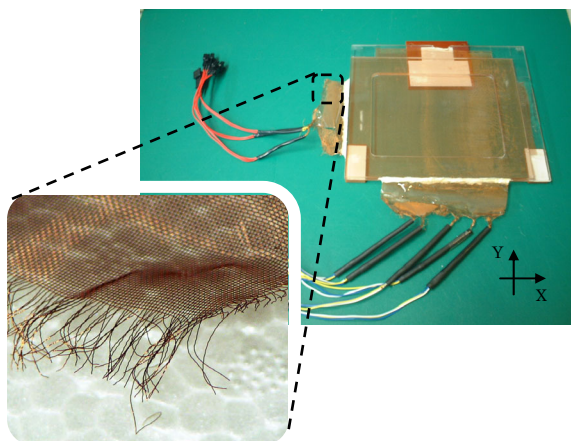


図 5. 金属線を編込んで製作したメッシュ形電極

しくは Y 軸への駆動が可能であり、また、両群に同時に電圧を印加することで、斜め方向への駆動も可能であることが確認できている。さらに、印加電圧を電極ごとに個別に制御することで、複数の移動子の中から、任意のもののみを選択的に駆動することも可能である。

3. 印刷によるメッシュ形電極の製作[4]

3.1. 印刷メッシュ形電極の提案

前記のメッシュ形電極では、金属線が容易にうねり等を生じるため、電極を大面積にしようとした場合、等間隔で正確に直交したメッシュに編み込むことは難しい。また、電極の配線にも多くの労力を要するため、そのような面からも大面積化が困難である。

そこで、本報では、これに代わる電極製作方法として印刷技術によるメッシュ形電極の製作を提案する。提案する電極構造を図 6 に示す。導電性インクにより平行電極を印刷した 2 枚のフィルムに、一定電極本数毎(図では 6 本)に切り込みを入れ、これを互いに直交させて編み込み、メッシュ形の電極構造を製作する。この手法では、金属線を用いる方法に比べ製作がより簡易であるた

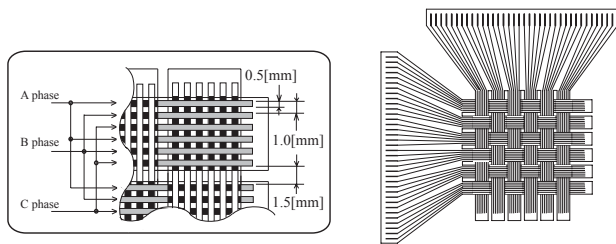


図 6. メッシュ形印刷電極

め、大面積化することも容易になると期待される。

3.2. 電極の製作

シルクスクリーン印刷により、厚さ 50[μm]の透明なポリエステルフィルムに $4.0 \times 10^{-5} [\Omega \cdot \text{cm}]$ の導電性インクを用いて平行電極線を図 7 に示すように印刷した。電極幅は 0.5[mm]、電極ピッチは 1.0[mm]とした。この電極パターンを印刷したフィルム 2 枚に電極 6 本ごとに切り込みを入れ、互いに直交して編み込むことで、図 8 に示すメッシュ形電極を製作した。編み込んだ後、フィルム全体をエポキシ樹脂で固定し、電極の上面を厚さ 25[μm]のポリイミドフィルムで覆った。完成後の樹脂部を含めた厚さは約 200 ~ 300[μm]となった。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。

3.3. 駆動実験

メッシュ形印刷電極上に移動子を配置し、X 軸方向および Y 軸方向のそれぞれの電極に 3 相駆動電圧を印加し、駆動実験を行った。なお、移動子と固定子の間には、摩擦軽減のため、直径 20[μm]のガラス粒子を少量散布した。移動子は、PET フィルム表面に高抵抗体層としてカーボンブラッ

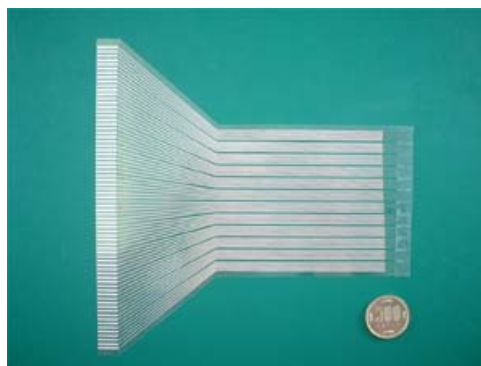


図 7. 印刷電極線 (1 軸分)

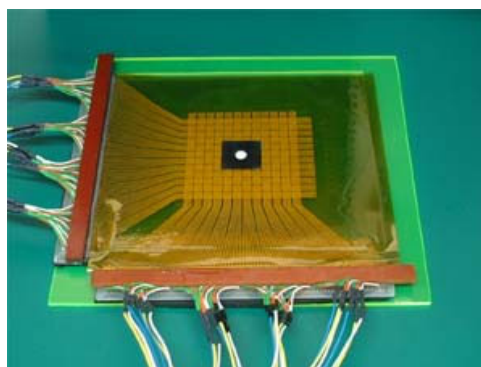


図 8. メッシュ形電極と移動子の配置 (中央部にある黒いフィルムが移動子)

クを塗布し、表面抵抗率を約 $10^{14}[\Omega]$ に調整した大きさ $30[\text{mm}] \times 30[\text{mm}]$ のものを使用した。移動子の上面には後述する光電管式変位計により、駆動変位を測定するため、直径 $8[\text{mm}]$ の白色のシールを貼っている。実験は駆動電圧 $400 \sim 600[V_{0-p}]$ ($50[V]$ 間隔で測定)、周波数 $1, 1.5, 2[\text{Hz}]$ で行った。電圧波形は任意波形発生器 (YOKOGAWA 社 AG1200) にて生成し、高電圧アンプ (NF 社 HVA4321) により 1000 倍に増幅し、Photo-MOS Relay によるスイッチング回路を経由して各電極に印加した。電圧印加時の移動子の駆動変位は、光電管式変位計 (Zimmer 社 Model 200) にて測定した。

まず、X もしくは Y 方向のいずれか一方の電極のみに 3 相電圧を印加し、他方の電極を開放して駆動した。周波数 $1[\text{Hz}]$ のときは、 $400 \sim 600[V_{0-p}]$

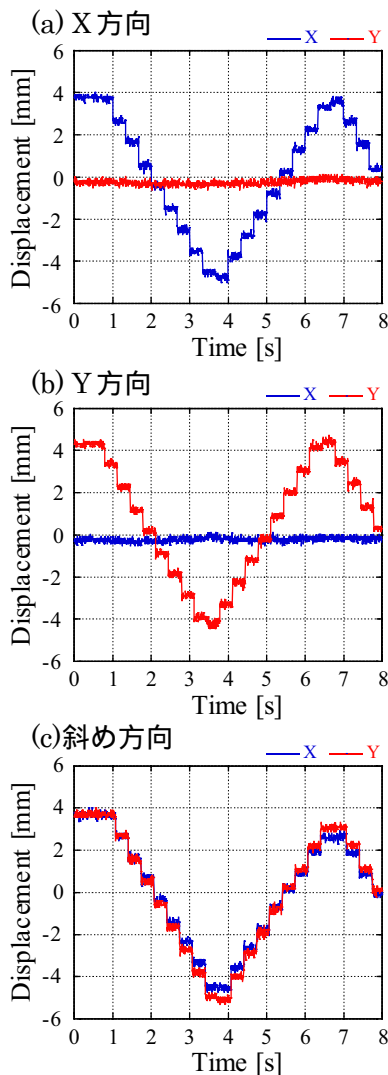


図 9. 駆動実験結果
(電圧 $600[V_{0-p}]$, 周波数 $1[\text{Hz}]$)

のいずれの電圧においても、図 9(a),(b) に示すような駆動が確認できた。周波数を 1.5 および $2[\text{Hz}]$ とした場合は、駆動は不安定もしくは不可能であった。次に、X, Y 両方向の電極に 3 相電圧を印加して斜め 45 度の方向への駆動を試みた。この場合、 $1[\text{Hz}]$ においてのみ $550[V_{0-p}]$ 以上の駆動電圧で図 9(c) に示すような駆動が確認できた。斜めに駆動する場合は、両方向の電極に駆動電圧が印加されるために移動子と電極との間の摩擦力が増大し、駆動力の弱い低電圧時は移動子の駆動ができなくなったものと推測される。周波数を 1.5 および $2[\text{Hz}]$ とした場合は、駆動は不可能であった。

以上のように、製作した電極においては、低周波数 (= 低速度) でのみ駆動が可能であり、高速な駆動は実現できなかった。この原因としては、電極カバーフィルム表面の摩擦や、X, Y 軸間の干渉などが考えられる。今後、軸間干渉を防ぐ製作時の編み込み方法や、フィルム材質などについて検討していく必要がある。

4. おわりに

シルクスクリーン印刷と導電性インクを用いるメッシュ状印刷電極の製作方法を提案した。製作したメッシュ状印刷電極を用いた駆動実験により、平面 2 自由度駆動が実現可能であることを確認した。なお、編み込んだメッシュ状電極をカバーするフィルムの厚みや素材が、駆動に大きく影響する傾向が見られた。今後は、素材や各部寸法の最適化を行う必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 木村他, 「作業者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] 山本他, 「薄型平面静電アクチュエータによる軽量搬送物駆動システム」, 2004 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (2004), pp. 495-496
- [4] 山本他, 「メッシュ状印刷電極を用いた 2 自由度平面静電アクチュエータ」, 2004 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 (2004), pp. 117-118