

1. はじめに

Advanced Automation Technology Center (AATC) は先端自動制御技術の設計、開発及びクライアントへの技術トランスファー等の業務を行っています。技術分野は広範で、インテリジェント・ドキュメントシステム、3Dマシンビジョン、センサー技術、テレロボティクス、フィールド・ロボティクスや人工筋肉等のトランスジューサ技術などが含まれます。また、AATCは新しいトランスデューサ技術の分野でSRIの他の研究室と密接に連携をとり、施設や装置も共有しています。研究室には最新の分析・組立設備と、特殊な測定・試験用から一般用のものまでの各種装置、環境チャンバ、モデルショップ、化学装置、スプレー組立施設、CADセンターなどを備えています。また、SRIのPhysical Electronics Laboratoryとも緊密な関係にあり、ここには無菌室等のマイクロ組立施設があります。

AATCは米国、日本、欧州において多くの政府や企業と共同で研究を行っています。SRIは非営利の研究所であるため、開発された技術はスポンサーである企業に譲渡されます。米国政府がスポンサーの場合には、製造会社に製造ライセンスを与えることが可能です。

AATCは広範囲なロボット工学とトランスデューサ技術に関する研究を行ってきました。前者では、例えばパイプライン検査ロボットの実験室用プロトタイプを開発しました。パイプラインロボットは、新しい磁気ホイールを利用して直径15cmの天然ガスパイプの壁面や天井を移動可能です。また、基礎的なトランスデューサに関する研究開発にも力を注いでおり、例えば人工筋肉の研究に加えて、センサー(流量計、加速度計等)、マイクロモータ、無菌室の自動制御に応用できる新しい浮上装置を開発しました。AATCは世界に先駆けて、室温で受動的に自己浮上する(バイアス力のない)磁気構造を実証しました。センサー分野で重点的に研究している分野に、血圧を無理なくかつ継続的に測定できるトノメトリ

ー技術の研究を行っています。ここ数年間AATCはこの技術の開発を行い、現在ではそのうちのいくつかが市場に出回っています。

2. 人工筋肉の研究

AATCは1992年以来、マイクロマシンプロジェクト、機能デバイスの高度化技術の研究開発の一環として人工筋肉の研究を行ってきました。自然の筋肉に類似した人工筋肉という用語は、基本的にスケールによって性能が変化することのないアクチュエータを意味し、大型アクチュエータは、マイクロアクチュエータが機械的に連結した集合体と考えることができます。例えば、単一電磁音声コイルアクチュエータはスケールによって性能が変化する(小型では劣る)ため人工筋肉とはいえず、マイクロアクチュエータの機械的集合体ではありません。これに対して、圧電材料は基本的にスケールによって性能が変わることはなく、大きな多層圧電アクチュエータはマイクロアクチュエータが機械的に連結した集合体で構成されています。

本研究開発の目標は、自然の筋肉に匹敵する性能をもつ人工筋肉を研究開発することであり、このような人工筋肉は、全体的な性能が既存のアクチュエータをはるかに凌ぐと予想されます。今後、小型ロボット、インクジェット・プリンタ、マイクロ光スキャナ、マイクロポンプや広範囲で多様なマイクロデバイスに応用できると考えられます。また、人工筋肉はスケールに依存しないため、ロボット、スピーカー、モータ等のマクロデバイスにも広く応用されると思われます。

図1にSRIが開発した電歪ポリマーの動作原理を示します。他の研究機関で研究されている電歪ポリマーが分子の変化によって駆動するのに対し、SRIの電歪ポリマー(EP)材料はバルク静電力(マクスウェル応力)によって作動します。図1に示すように、比較的柔軟なポリマーが2つのコンプライアントな電極に挟まれています。コンプライアントな電極に電圧差が生じると、静電力がポリマーを圧縮・伸長

することによってポリマーが駆動されます。

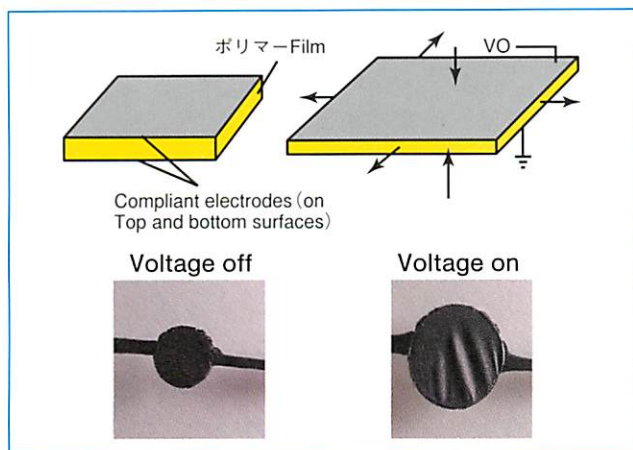


図1. 静電ポリマーの操作原理（上の写真で、円形の黒い部分は伸び縮み可能な電極）。

図2に人工筋肉と他の既存の高速アクチュエータ技術の比較を示します。ここで注目すべき点は、人工筋肉の性能は自然の筋肉をすでに凌いでいることです。

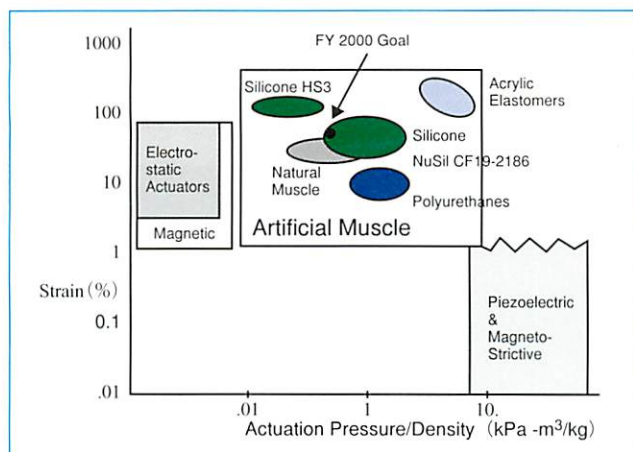


図2. 高速アクチュエータ技術の比較

人工筋肉の材料として多くのポリマーを試みてきました。絶縁ポリマーはすべて何らかの応答を示しますが、特に優れているのがシリコンとアクリルのエラストマです。アクリルエラストマは歪みが200%以上で、全ての既知の電場駆動材料よりもエネルギー密度が高いことが注目されます。アクリルエラストマは強力な材料ですが、急速な弾性損失が起こるため、シリコンの応答速度の方が大きくなります。シリコンの帯域幅は1 kHz以上ですが、アクリルエラストマは現在100Hz以下です。シリコンの応答速度を維持

しながら、アクリルの歪みとエネルギー密度の性能を達成する方法について、現在集中的に研究を行っています。

AATCでは、ポリマーに加えて多くの電極材料についても検討を行っています。金のような金属は剛いため無理に伸ばすと亀裂が生じますが、適当なパターンを焼きつけることによって誘電性を保持したまま80%まで伸張できることを明らかにしました。より歪みが大きい場合は、一般にバインダーとしてカーボンブラックやカーボンナノチューブのような材料を用いることが可能です。

また、当センターでは人工筋肉の組立方法を開発してきましたが、ポリマー溶媒を用いたスピニングに成功し、厚さ1 μm 程度の人工筋肉を作成することができました。この電歪ポリマーを応用した人工筋肉では他の静電駆動技術よりも駆動電圧が高くなる傾向がありますが、膜をより薄くすることにより電圧を低下させることが可能です。

当センターでは、この人工筋肉を用いて、人工筋肉アクチュエータを設計し、実証しました。一例として、270度以上曲げられる人工筋肉バイモルフおよびユニモルフ、平面から半球形に駆動できる人工筋肉ダイヤフラム、一連の単純な線形アクチュエータなどがあります。マイクロ光スキャナおよびミニポンプのような応用レベルのデバイスでは、本人工筋肉技術が利用可能なことも実証しました。また本人工筋肉は特異な駆動特性があり、その特性を生かしたアクチュエータデザインの研究を実施しています。例えば、一方向にあらかじめ歪みを与えておくと、歪みを与えない方向により大きな力及び伸びを与えることが可能となります。

3. 終わりに

AATCにおける人工筋肉の研究は性能では応用レベルに達しました。歪み、圧力、エネルギー密度、応答時間といった性能パラメータは過去2年間に530倍も改良され、また材料、組立およびアクチュエータの各レベルにおいて、人工筋肉の基本設計を理解するための技術は非常に進歩しました。近い将来、AATCにおける人工筋肉研究は基礎と応用の両分野でかなり注目されると思われます。