

# 多様な運動を実現するアクチュエータ技術

Actuator Technologies to Realize Various Motions in Mechatronic Systems

秋葉 敏克      高橋 博      戸谷 公紀

■ AKIBA Toshikatsu      ■ TAKAHASHI Hiroshi      ■ TOYA Kiminori

将来のメカトロニクス機器では、小型、多自由度の駆動、及び柔軟性など、アクチュエータ<sup>(注1)</sup>に対して多様な機能と動きが求められる。

東芝は、このようなニーズに対応するため、多様な動きを実現するアクチュエータとその応用として、小型で3自由度の動きを実現する圧電球面アクチュエータとそれをを用いた監視カメラ、湾曲型空圧ゴムアクチュエータとそれをを用いた装着者の把持動作をアシストするパワーアシストグラブ、及び静電力を用いたシンプルな構造のデュアル駆動アクチュエータとそれをを用いた小型光学ズームカメラシステムを開発した。

Next-generation mechatronic systems are expected to have various motions for working with humans or performing complex processes. To realize such systems, the actuators in the systems need to have new functions and features such as adaptability to human behavior, very small structure, and actuation with multiple degrees of freedom.

To meet these requirements, Toshiba has developed three applications using new actuators. These are a surveillance camera equipped with a spherical piezoelectric actuator that can drive the camera with motion having three degrees of freedom (3DOF), a power-assisted glove system that adapts to human movement using flexible rubber actuators, and a zoom camera system using a dual-drive actuator that can drive two moving sliders with a simple structure by electrostatic pulling force.

## 1 まえがき

ロボット技術は、主に産業用ロボットとして進化を続けており、将来的には、生産現場で人と協調作業を行っていくことも予想される。また最近では、人型ロボットやコミュニケーションロボットなどの研究も進み、人の生活空間での作業支援に活躍の場を広げていくことも考えられる。

しかし、人との協調作業や、生活空間での共存を考えると課題も多く、例えば、小型で複雑な動きの実現や、人の行動に応じた対応が求められてくる。これらの課題を克服するキー技術の一つが、ロボットを駆動するアクチュエータである。

将来のニーズに応えるために東芝は、小型で多様な動作モードを持つアクチュエータや、人の行動を予測し対応できるメカトロニクス機器の開発を進めており、ここでは以下に示す開発事例について述べる。

- (1) 圧電球面アクチュエータの開発と監視カメラへの応用  
多自由度の複雑な動きを実現する際、通常は複数の単軸駆動機構を組み合わせるが、装置が大型化する。そこで、磁石の吸引力を用いて被駆動体をガイドレスで支持し、複数の駆動ユニットを協調動作させることで、一つの機構で被駆動体の3自由度の回転運動を実現する圧電球面

(注1) 入力されたエネルギーを物理的な運動へ変換する機構。

アクチュエータを開発し、監視カメラに応用した。

- (2) 湾曲型空圧ゴムアクチュエータの開発とパワーアシストグラブへの応用  
簡単な構造で、指のような湾曲状態でアシスト力を発生させることができる湾曲型空圧ゴムアクチュエータを開発した。これを、人が把持動作を行うときの指の初期動作情報から把持動作形態を推定し、手の甲側から把持に応じたアシストを行うパワーアシストグラブへ応用した。
- (3) デュアル駆動アクチュエータの開発と小型光学ズームカメラシステムへの応用  
超小型アクチュエータを目指して、固定側の多相電極と可動部側の電極間に静電気力を発生させ、駆動信号を切り替えて可動部を駆動するデュアル駆動アクチュエータを開発した。対向する固定電極間に2個の可動部品を挟み込んだシンプルな構造であるが、駆動信号の工夫でそれぞれの可動部品を独立に駆動することができ、小型化に非常に有利である。これを小型光学ズームカメラシステムのズームレンズ駆動に応用した。

## 2 多自由度圧電球面アクチュエータ

### 2.1 小型監視カメラへの応用

一般的な監視カメラシステムは、パン(左右方向)、チルト(上下方向)の2自由度の回転を実現するために、アクチュエー

タを積み上げて構成することから装置が大型化してしまう。しかし、人の手首は、関節と筋肉の動きを組み合わせることで、腕と手の境を中心に2自由度の回転自由度を実現しており、コンパクトな構造でパン及びチルトとほぼ同じ動きができる。このように、一つの機構で多自由度の動きを実現すれば、機器の小型化ができる。

そこで、可動部を球体として、圧電素子で直接摩擦駆動し、手首のように、一つの駆動機構で多自由度の回転運動を実現する圧電球面アクチュエータ<sup>(1)</sup>を開発した。このアクチュエータを用いた小型監視カメラシステムは、目だたない監視作業と移動体の追跡機能を実現できる。

## 2.2 3自由度圧電球面アクチュエータの特長

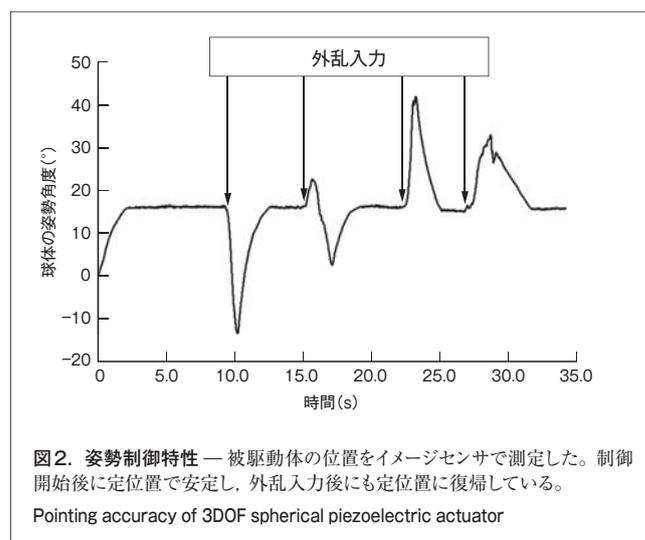
開発した監視カメラシステムと圧電球面アクチュエータを図1に示す。外形寸法はカメラ部を含めて、74(幅)×65(高さ)×74(奥行き)mmである。固定部に3組の駆動ユニットと一つの磁石を配置し、磁石の吸引力で可動部となる球体を支える構造で、駆動ユニット先端と球体の摩擦力で駆動する。球体の姿勢角度は、2か所に設置した2次元イメージセンサで検出する。

3組の駆動ユニットの動きを制御することで、球体を任意の回転方向に駆動でき、一つの駆動機構で3自由度の回転駆動が可能になる。その結果、どの姿勢からでも別の姿勢に最短の動きで移動できる。また、駆動ユニット先端だけで球体に接するため、摩擦接触部が少なくトルク損失を低減できる。

電磁モータ方式は、磁気回路を可動範囲全体に設けるため、部材の集中配置ができず広い駆動範囲が実現できないが、このアクチュエータでは、要素部品を下部に集中配置できるので、カメラの駆動範囲も広く取ることができる。

## 2.3 姿勢制御特性

アクチュエータの基本特性として、姿勢制御特性を測定した。姿勢制御は、2個のイメージセンサ情報から球体の姿勢角度を検出し、目標姿勢との誤差をフィードバックして行う。位置決め性能は、姿勢制御時に外力を4回入力して、その前後の姿勢角度の差分を角度誤差として評価した。また、安定性に



関しては、姿勢安定時の標準偏差で評価した。

姿勢制御特性を図2に示す。制御開始から約2秒後に姿勢が安定し、その後、外力を印加しても球体は元の姿勢へ復帰している。4秒から6秒までの姿勢角度の平均値と、外力入力後の32秒から34秒までのそれを比較した結果、角度誤差は0.5°であった。また、姿勢安定性は、4秒から6秒までの区間で標準偏差( $\sigma$ )が0.13°であった。これにより、監視カメラのトラッキング性能としては十分な姿勢制御特性を備えていることが確認できた。

## 3 湾曲型空圧ゴムアクチュエータ

### 3.1 パワーアシストグラブへの応用

把持行動は人の重要な行為の一つであり、高齢などの原因で把持力が低下した人にはそれを支援する機器が必要になってくる。しかしながら、人の動作を支援するためには、機器の近接状態での使用や、身体に装着した使用なども想定されるため、人の動きに近い駆動や、ソフトに駆動力を伝えることなど、機器と身体の親和性向上が技術課題の一つとなる。

そこで、ゴムチューブ内に強化繊維を配置して指のような柔軟な動きを実現する、湾曲型空圧ゴムアクチュエータ<sup>(2)</sup>を開発した。これをパワーアシストグラブに応用して、装着者の把持動作を推定してアシストする、機器と身体の親和性が高いシステムを開発した。

### 3.2 湾曲型空圧ゴムアクチュエータの構成

湾曲型空圧ゴムアクチュエータの構造を図3に示す。へん断面の中空ゴムチューブの周方向に強化繊維を配置して周方向への膨張を抑え、軸方向への変形を促している。また、軸方向の強化繊維を下部に配置して、下部側面の変形を抑える構造としている。中空の空気室の圧力を上げることによって、図3のように円弧状に変形し、例えば0.35 MPaの供給圧力で

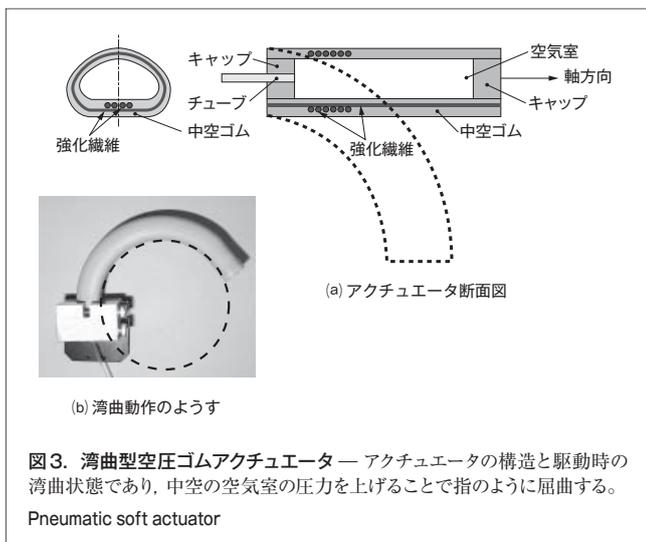


図3. 湾曲型空圧ゴムアクチュエータ — アクチュエータの構造と駆動時の湾曲状態であり、中空の空気室の圧力を上げることで指のように屈曲する。  
Pneumatic soft actuator

は、90°の湾曲状態で約2Nの力を発生する。

### 3.3 パワーアシストグラブの試作

人の手は非常に大きな自由度を持っており、様々な動作を実現している。ここでは、すべての動作をアシストする必要はないと考え、把持形態として、“にぎる”、“つかむ”、“つまむ”の3種類を想定した。これらの動作をアシストする把持形態を実現するように、パワーアシストグラブの構造を設計した。

試作したパワーアシストグラブ(図4(a))は、ひとさし指と中指のゴムアクチュエータを1組として同時に駆動する。同様に、薬指と小指を1組、指の付け根部の4本を1組とし、親指を含めて、4組の駆動自由度を持つ構造とした。

実測した指関節屈曲力の10%の力でアシスト駆動を行うこ



図4. パワーアシストグラブとその把持形態 — 試作したパワーアシストグラブは、9本のゴムアクチュエータで構成され、駆動空気圧を調整することで、3種類の把持形態をアシストできる。  
Power-assisted glove and its forms of holding

とを想定し、ゴムアクチュエータの発生力を2Nに設定した。パワーアシストグラブの発生力(人の力がない場合)は、300gのペットボトルが保持できる程度である。また、パワーアシストグラブの装着部質量は約140gである。

3種類の把持動作は、動作初期段階の指関節の角度変化パターンを指関節部の角度センサで検出し、あらかじめデータベース化した装着者の角度パターンと比較することで推定する。把持動作の推定後、各動作に対応したアシスト形態の駆動信号で、パワーアシストグラブを制御する(図4(b))。

### 3.4 把持動作アシスト試験

把持対象物として、直径50mmの筒(にぎる)、30mm厚の本(つかむ)、直径30mmの金属片(つまむ)を想定した。試験は、対象物をランダムに30回把持し、グラブの動作状態が被験者の意思と一致した場合をOK、誤動作又は非動作の場合をNGとした。その結果、被験者によっては80%程度の確率で推定できることがわかり、このシステムの把持動作アシスト制御の有効性が確認できた。

動作アシストを行う際に、筋電位などの生体信号を用いる方式も提案されているが、生体信号は覚せい状態では安定しないなどの問題があり、活動中の動作推定が難しい。開発した推定方法は、指の角度という物理量と作業者の実行動作データを用いているので、実際に活動している覚せい状態でも動作推定に有効である。

## 4 静電型デュアル駆動アクチュエータ

### 4.1 小型光学ズームカメラシステムへの応用

携帯電話やインターホンなどでは、極薄の筐体(きょうたい)に小型カメラモジュールが搭載されている。しかし、光学式ズームを搭載するには2群レンズの駆動が必要となる。現状では、センササイズに依存するため光学系の小型化が難しいことや、超小型アクチュエータの実現が難しいこともあり、薄型筐体用の光学ズームカメラの実用化はなかなか進んでいない。

そこで、アクチュエータの超小型化を推進するために、簡易な構造で、複数のレンズを独立に駆動できる静電型デュアル駆動アクチュエータを開発し、2.5倍のズーム比を持つ小型光学ズームカメラシステム<sup>(3)</sup>に応用した。

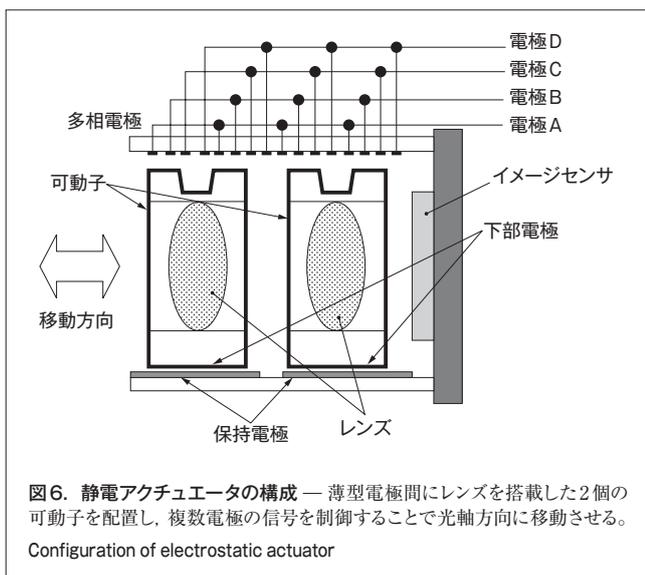
開発したアクチュエータは、対向する固定電極板に2個の可動部品を挟み込んだシンプルな構造で、固定電極構造と制御方法を工夫することにより2個の可動部品を独立に駆動できる。試作した小型光学ズームカメラモジュールと取得した画像データを図5に示す。撮像素子は130万画素のCMOS(相補型金属酸化膜半導体)センサを使用した。試作品のズーム比は2.5倍であり、ドライブ回路なども搭載し、モジュール寸法は22(幅)×14(高さ)×17(奥行き)mmである。また、ドライブ回路込みで25mWの低消費電力化を実現した。



#### 4.2 静電型デュアル駆動アクチュエータの動作原理

ズーム光学系に搭載したアクチュエータ部の構成を図6に示す。レンズを搭載した可動子を、4相の多相電極と、可動子を保持する2系統の保持電極で挟み込んだサンドイッチ構造となっている。2個の可動子は、上面が共通の多相固定電極に、下面が別系統の保持電極に対向して配置されている。

可動子は、上部の多相電極(例えば、電極Aと電極B)への電圧印加と、下部の保持電極への電圧印加、別系統の上部電極(電極Bと電極C)への電圧印加を切り替えることで、1相分だけ移動する。また、多相電極は共通で、2系統の保持電極を各レンズ群の可動子と対向させて、一方が移動時には



他方は保持することができ、同一構造の中で2群のレンズを個別に駆動できる。

#### 4.3 駆動精度

このアクチュエータの可動子の繰返し位置決め試験を実施した結果、位置決め安定性としては $0.54 \mu\text{m}$  ( $\sigma$ )を確認した。また、最小移動ステップは $16 \mu\text{m}$ 、光軸方向の駆動速度は $1 \text{ mm/s}$ であり、光学系の焦点深度特性を考慮すると、ズームカメラの焦点調整に十分な精度を持っている。

このモジュールを携帯電話へ搭載するにはいっそう小型の光学系の設計が必須になるが、レンズ筐体に薄型電極を挟み込むだけのサイズで、駆動システムを実現するめどが分かった。

### 5 あとがき

ロボットなど、将来のメカトロ機器の多様な動きに対応するアクチュエータの開発例として、3自由度球面圧電アクチュエータの監視カメラへの応用、湾曲型柔軟ゴムアクチュエータのパワーアシスト機器への応用、及び静電型デュアル駆動アクチュエータの小型光学ズームカメラシステムへの応用について述べた。

ヒューマンセントリックなシステムを実現するためには、このような各種アクチュエータの実用化とともに、人間系のセンシング技術の確立や、十分な信頼性確保なども必要である。今後も、将来メカトロニクス機器の多様なニーズに応えられるよう研究開発を続けていく。

### 文献

- (1) 高橋 博, ほか. "3自由度球面圧電モータの開発". 2008年度精密工学会秋期大会学術講演会講演論文集. 仙台, 2008-09. 精密工学会, p.829-930.
- (2) Miyagawa, T., et al. "Pneumatic soft actuators using fiber reinforced rubber". Proc. of the 6th Mechanics Design and Tribology Division Meeting in JSME, Sendai, 2006-05, JSME, p.298-299.
- (3) 古賀章浩, ほか. モバイル機器向け超小型カメラにおけるレンズ駆動静電マイクロアクチュエータ技術. 電気学会論文誌E. 123, 2, 2003, p.49-55.



秋葉 敏克 AKIBA Toshikatsu

研究開発センター 機械・システムラボラトリー主任研究員。アクチュエータ、MEMSなどメカトロ応用機器の研究・開発に従事。日本機械学会、精密工学会、電気学会、計測自動制御学会会員。Mechanical Systems Lab.



高橋 博 TAKAHASHI Hiroshi

研究開発センター 機械・システムラボラトリー主任研究員。次世代アクチュエータを中心としたメカトロ応用機器の研究・開発に従事。日本機械学会、精密工学会会員。Mechanical Systems Lab.



戸谷 公紀 TOYA Kiminori

研究開発センター 機械・システムラボラトリー。アクチュエータ技術の研究・開発と柔軟媒体搬送技術の研究に従事。日本機械学会会員。Mechanical Systems Lab.