

圧電素子の急速変形を利用したマイクロロボットアーム

Micro robot arm utilizing rapid deformations of piezoelectric elements

樋口 俊 郎*・山 形 豊*・工 藤 謙 一*

Toshiro HIGUCHI, Yutaka YAMAGATA and Ken-ichi KUDOH

1. は じ め に

圧電素子の急速変形を利用した移動機構は静止摩擦力と圧電素子の急速な変形に伴う衝撃的な慣性力を利用した移動機構であり、極めて単純な機構でありながら2nmから10 μ m程度のステップ状の微動が可能であることが確認されている¹⁾。この機構はXYテーブルのような平面的な位置決め機構だけではなく立体的な動作にも適していると考えられる。そこでこの機構を用いて2種類のマイクロロボットアーム用関節駆動機構を試作したのでその概要について報告する。試作した関節は一つが単純な回転型の物であり、もう一つは位置関節で3自由度の動きを可能にした関節である。

2. 圧電素子の急速変形を利用した移動機構

2.1 移動原理

この機構の移動原理を図1に示す。移動体はベース上におかれて、摩擦力で保持されている。この端面に慣性体が圧電素子を介して接着されている。ここでは圧電素子を使用した場合について説明するが電歪素子を使用しても同様の原理に基づく移動が可能である。以下に図1-(a)をもとに左方へ移動するときの駆動方法を説明する。

I. 移動ステップ①～②

(これを駆動パターンNo. 1と呼ぶ)

- ①：圧電素子を縮めた状態からサイクルを開始する。
- ②：急激に圧電素子を伸ばすと衝撃的な慣性力が発生し、移動体と慣性体が逆方向に移動する。

II. 移動ステップ③～⑤

(これを駆動パターンNo. 2と呼ぶ)

- ③：慣性体を一定の加速度で加速しながらゆっくりと引き戻してやる。このとき移動体が静止した状態に保つ必要があるため、慣性体の加速による慣性力が移動体とベースの間の静止摩擦力よりも小さくなるように加速度

を制御する。④：素子が元の長さに戻ったところで慣性体の動きを急に止めてやれば、慣性体が移動体に衝突するような形になり、移動機構全体が静止摩擦力に打ち勝って運動を始める。⑤：移動機構はここで得た運動エネルギーを動摩擦力によって失うまで移動して停止する。

以上①～⑤で1サイクルの移動が完了するので、これの繰り返しによって、長い距離の移動が実現できる。

III. IIとIを相乗した駆動

(これを駆動パターンNo. 3と呼ぶ)

加速しながら素子を縮め、④で直ちに急激に素子を伸ばして元の長さに戻すという駆動方法も考えられ、この場合はIIとIにおける移動量の和に相当する移動が1回で起こる。この電圧パターンがもっとも移動距離を大きくとれ、効率的であると考えられるため以下の実験では主としてこのパターンNo. 3を使用している。

以上の3種類の駆動パターンに対する、圧電素子の印加電圧パターンを図2に示す。この波形を定めるためここではふたつのパラメータを導入する。一つは圧電素子を急速に変形させるときの立ち上がり時間であり

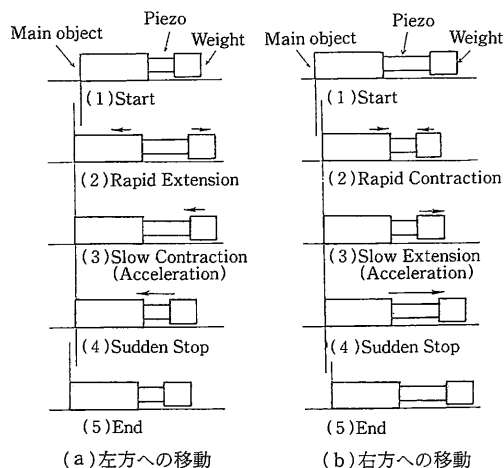


図1 移動原理

*東京大学生産技術研究所 第2部

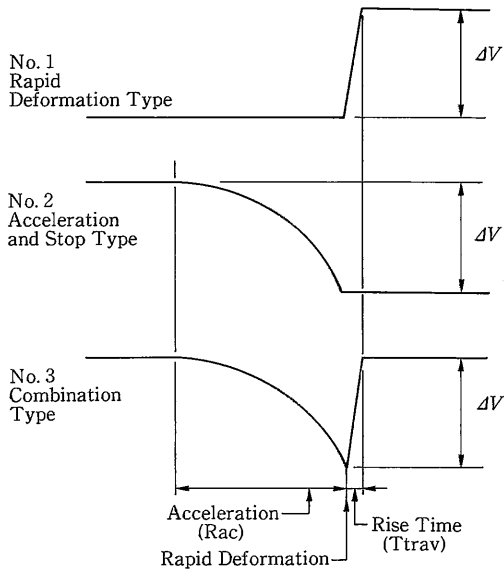


図2 圧電素子に加える電圧パターン

(T_{trav}), もう一つは慣性体をゆっくり引き戻すときの加速度 (R_{ac}) である。

IV. 逆方向への駆動

図1-(b)のように, I, IIのサイクルを伸びと縮みを置き換えることにより, 逆方向への移動もまったく同様に行うことができる。

2.2 本機構の特徴

この機構の特徴としては,

①摩擦により保持された移動体に圧電素子と重りを取り付けただけの簡単な構造で数nmから数 μ mのステップ

状の移動を起こすことができる。

②数nm程度という高い分解能と原理上は無限の可動範囲を持つ。

③移動体は静止位置が摩擦力で保持されるので, 位置決め完了後はパワーを必要としない。また静止時の安定性が高く, 位置決め系の固有振動数も高められる。

④構成が簡単なため多自由度の機構への応用も容易である。

3. 一自由度回転型関節

3.1 一自由度回転型関節の構成

図3に一自由度回転型関節の構造図をしめす。この関節はアームとそれに取り付けられた軸とそれを押しつけるスプリングおよびスタンドからなり, スタンドと軸のフランジ部分との間で固体摩擦を発生し, 保持力を発生している。軸に取り付けられたスプリングは, 軸のフランジ部をスタンドへ押し付ける力を発生している。軸とスタンドの間およびスタンドと軸のラジアル方向は固体潤滑材のベアリングで支持されている。アームは中心から先端までの長さが50mmで, 軽量化を図るためアルミニウム製であり, 2個の圧電素子と慣性体が接着されている。この圧電素子と慣性体は回転軸の中心を通る半径と直角でかつ中心からの距離が同じになるように設計されており, 偶力を発生することができる。圧電素子はPMN系積層形のもので外形が $2 \times 3 \times 10$ mmで150Vの印加電圧で8 μ mの伸びを生じ, 伸びを抑制した場合は20kgfの力を発生する。慣性体は約10mm角の立方体で質量は7.2gである。また摩擦面の材質は, S45C-S45Cである。

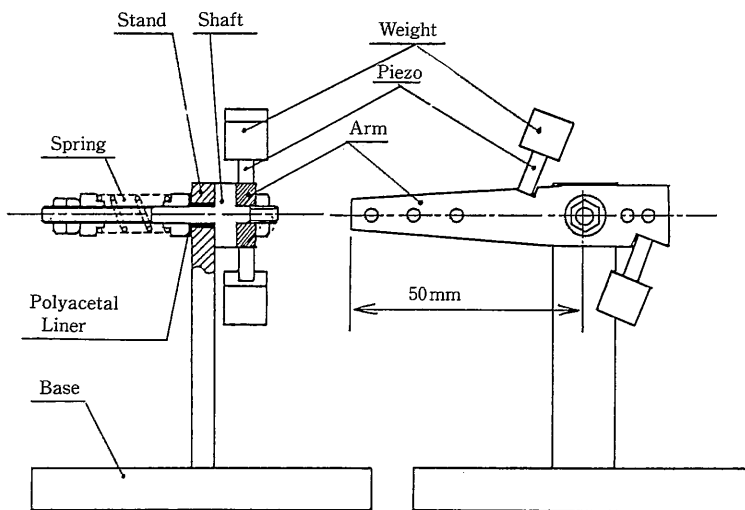


図3 一自由度回転型関節

3.2 圧電素子の駆動方法

偶力を発生させるため二つの圧電素子は並列に接続され同じ電圧で駆動されている。駆動波形はパーソナルコンピュータ内で生成されD/Aコンバータより出力され電力増幅回路を通して圧電素子に供給されている。

3.3 一自由度回転型関節の実験結果およびまとめ

図4に1ステップ当たりの回転角度と駆動電圧振幅の関係を示す。最大で1ステップあたり 1×10^{-5} radの回転量が得られている。またこれはアームの先端の動きに換算すると約5ミクロンであり一軸移動機構の例から推定するとアーム先端で0.1μm以下の分解能が得られると考えられる。本機構では外部から負荷力をかけられると負荷力と逆らう方向の移動量は減少し、負荷力と同じ方向の移動量は増加することがわかっているが、この関節は最大でアーム先端の力に換算して20gf程度の負荷力に逆らって動くことができる。

4. 三自由度回転型関節

4.1 三自由度回転型関節の構成

図5に3自由度関節の構成を示す。関節の部分はボールジョイントになっており、下側からボール押さえにより力をかけられボールカバーとの間で固体摩擦を発生するようになっている。ボール押さえは上部に固体潤滑材がはめ込まれこの部分での摩擦を少なくしている。アームはアルミニウム製でボール中心からの長さが80mmで断面は一辺18mmの正三角形である。ボールは

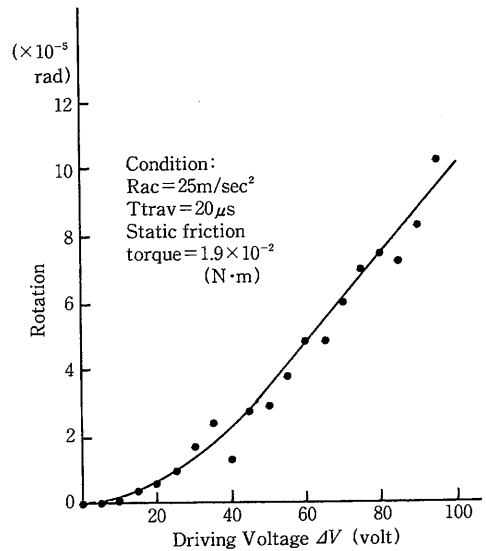


図4 駆動電圧振幅と回転角の関係

直径が12.7mmで材質は焼き入れを施したS35Cである。またボールカバーの材質はS45Cである。圧電素子および慣性体は正三角形の断面を持つアームに6組取り付けられている。圧電素子は、一自由度型回転関節と同じもので寸法は $2 \times 3 \times 10$ mmであり、慣性体は約8mm角の立方体で質量は4gである。これにより3つの回転自由度に

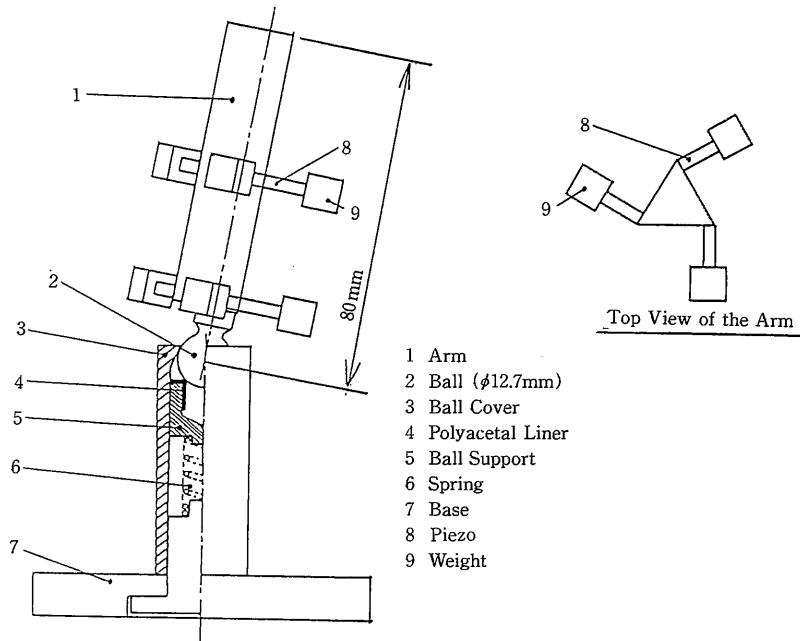


図5 三自由度回転型関節

研究速報

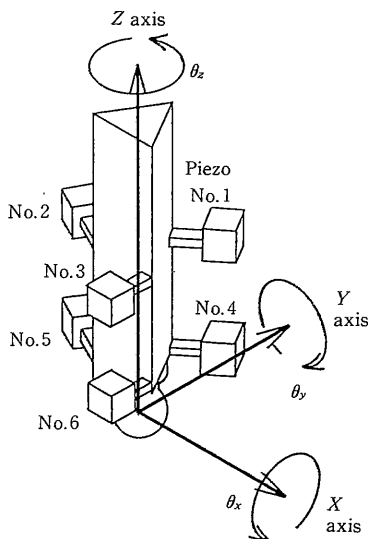


図6 座標系の定義

対してそれぞれ独立に回転力(偶力)を発生できる。

ボールによる支持を採用したことでこの関節は、3個の回転の自由度を持つことになる。そこでこのアームの動きを記述するために図6に示すように圧電素子にNo.1からNo.6まで番号をつけ、X、Y、Z軸およびそれぞれの軸回りの回転 θ_x 、 θ_y 、 θ_z を定義する。 θ_x 、および θ_y は、可動範囲は ± 20 度であり、 θ_z の可動範囲は無制限である。

4.2 圧電素子の駆動方法

6個の圧電素子はそれぞれ異なった電圧振幅で駆動され、結果としてx、y、z軸周りのトルクを自由に発生することができる。駆動電圧波形は一自由度型の関節と同様にパーソナルコンピュータによってx、y、zの軸の回転に対応する電圧波形が生成されそれらがアナログ回路によって構成された分配回路で6個の圧電素子に対応する波形に分配された圧電素子に供給されている。

4.3 三自由度型関節の実験結果およびまとめ

図7にx、yおよびz周りの1ステップ当たりの回転量と駆動電圧の関係を示す。これからこの関節はx、yおよびzのどの軸周りにも回転が可能であることがわかる。また、一軸駆動機構の実験結果から推定すると $0.1\mu\text{m}$ 以下の位置決め能力をアーム先端で持っていると考えられる。また負荷能力としてはアーム先端で θ_x 方向で15gf程度の力に逆らって動くことができると思われる。

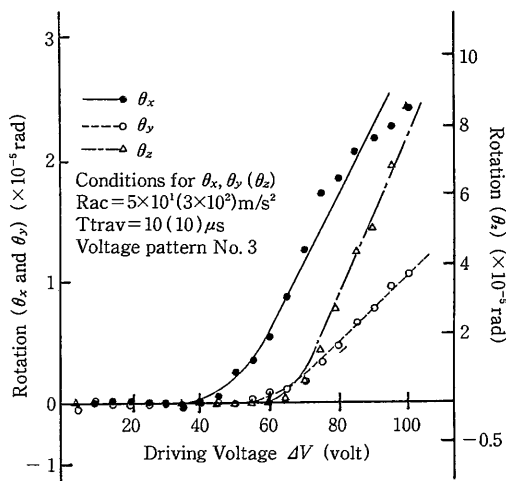


図7 回転角度と駆動電圧振幅の関係

5. 結論および今後の課題

圧電素子の急速変形を用いた一自由度型の回転関節および3自由度型回転関節を製作しそれがアーム先端で $0.1\mu\text{m}$ 程度の微動が可能でありまた1自由度型で20gf、3自由度型で15gf程度の負荷能力を持つことが判明した。また回転速度としてはアーム先端の速度で2から5mm/secの値が得られている。これらから圧電素子の急速変形を利用した移動機構はマイクロロボットの関節の駆動機構として十分使用可能であるといえるだろう。また3自由度型の関節はサーボモータのような従来型のアクチュエータでは実現が困難であると考えられるがこの関節機構は同じ自由度のロボットアームを製作した場合でも1自由度の回転関節を組み合わせた場合と比較すると関節の数を減らすことができ、ロボットアームの剛性を高めるために有利であると考えられる。

また今後の課題としては、2関節以上のロボットアームを本機構を用いて製作し本機構の可能性を探ること、そして関節機構の構造を再検討しさらに小型化を進めることがあげられる。また将来的な応用分野としては生物細胞の操作や医学の分野のマイクロサージェリーあるいはマイクロメカニズムの組立などが考えられる。

(1990年3月9日受理)

参考文献

- 1) 樋口俊郎, 渡辺正浩, 工藤謙一:「圧電素子の急速変形を利用した超精密位置決め機構」精密工学会誌vol 54, No. 11 (1988 Nov.), pp 2107