256 圧電バイモルフ振動子と弾性体ボディを用いた小型移動機構

A Small Locomotion Mechanism using a Bimorph Piezoelectric Resonator and an Elastic Body

○藤井 北斗, 小西 哉

信州大学繊維学部

○FUJII Hokuto and KONISHI Hajime

Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, Tokida 3-15-1, Ueda 386-8567, Japan

We have developed a small and simple mechanism which consists of an elastic body and a bimorph resonator as an actuator. The locomotion velocity of the mechanism depends on the frequency of driving voltage. Measured frequency characteristics of the locomotion velocity and the thrust of the mechanism show the peak values of 128 mm/s and 1.3 mN at a driving voltage of 30 V_{pp} and a driving frequency of 646 Hz. The proposed mechanism has potential for many possible applications in medical and industrial fields.

Key words: Bimorph Piezoelectric Resonator, Small locomotion Mechanism, Frequency Characteristic, Elastic Body

本研究は小型化に適している圧電バイモルフ振動子を用いた, 簡単な構造と, 高い制御性をもったマイクロマシン用小型移動機構の開発を目的としている。

試作した小型移動機構の外観を Fig. A1 に示す。走行レーンとの接地点が3点になるように加工した帯状PET フィルムをループ状に湾曲させ, 圧電バイモルフ振動子両端を接着した。機構全体の質量は 0.74 g であった。外部電源からリード線を経由して電源供給を行った。本機構は振動子の振動により機構全体を繰り返し伸縮させ, 外界との摩擦力または反発力により, 水平方向への駆動力を得ることにより移動するものである。機構は部品点数が2点であり, 簡単な構造となっているため小型化に適している。

移動機構の移動速度と移動方向は, 正弦波駆動電圧の振幅と周波数により制御することができる。本実験では PET フィルム側を機構前方, バイモルフ振動子固定側を機構後方と定義した。

走行レーン (ポリカーボネイト板) 上で, 移動速度の駆動周波数特性を測定した。測定結果を Fig. A2 に示す。複数の移動速度のピーク周波数を確認した。前進最高速度は 128 mm/s (30 V_{pp}, 646 Hz), 後退最高速度は 64 mm/s (30 V_{pp}, 312 Hz) であった。各ピーク周波数での, 移動速度の駆動電圧特性を測定した。また, 駆動電圧 15 V_{pp} と 30 V_{pp} を印加した際の, 移動速度の駆動周波数特性を比較し, ピーク周波数が駆動電圧に依存することを確認した。

駆動電圧 30 V_{pp} における推進力の駆動周波数特性を測定した。結果を Fig. A3 に示す。前進最高速度を得た 646 Hz 付近で 1.3 mN, 後退最高速度を確認した 312 Hz 付近で 1.2 mN の推進力を確認した。また, 推進力の駆動電圧依存性を測定し, 評価した。

これらの結果から, 本機構は駆動電圧の周波数を変化させることにより, 機構の移動方向と移動速度を容易に制御できる特徴を有しており, 小型移動機構として有望であることがわかった。

Fig. A1 Schematic of the proposed locomotion mechanism.

Fig. A2 Frequency dependence of the locomotion velocity of the proposed locomotion mechanism at a driving voltage of 30 V_{pp}.

Fig. A3 Frequency dependence of the locomotion force of the proposed locomotion mechanism.

1. 序論

産業分野では工場の複雑化したパイプライン内部のメンテナンス、医療分野ではマイクロサージェリなど、人間が直接入り込んで作業することができない、狭くまたは危険な環境が多く存在する。このような環境における作業では、作業機械も必然的に小型になることを要求される。このため、これらの小型機械システムにおける、効率的な移動手段の開発が望まれ、さまざまな研究が行われている^[1-4]。

本研究は、構造が簡単で小型化が容易と考えられる、圧電バイモルフ振動子を用いた、小型機械システム用の移動機構の開発と、その動作の解析を目的としている。

2. 移動機構の製作

長さ 120 mm×幅 20 mm×厚さ 0.1 mm の帯状 PET film を、ループ状に湾曲させて、圧電バイモルフ振動子（ムラタエレクトロニクス製、PKF02C5、長さ 40 mm×幅 2.2 mm×厚さ 0.66 mm）の両端をつなぐように接着した。PET film は走行レーンと 3 点で設置するように加工した。リード線を用いて外部から電力の供給をした。機構の概観を Fig. 1 に、仕様を Table I に示す。

本機構は振動子の振動により機構全体を繰り返し伸縮させ、外界との摩擦力または反発力を利用して、水平方向への駆動力を得ることにより移動するものである。本機構は重心が低い構造のため、安定した走行を得ることができる。機構は部品点数が 2 点という簡単な構造となっているため、小型化に適している。

本実験では PET film 側を機構の前方、バイモルフ固定側を機構の後方と定義した。

Fig. 1 Schematic of the proposed locomotion mechanism.

Table I
Specifications of the proposed locomotion mechanism.

Size	64 mm×32 mm×20 mm
Mass	0.74 g
Actuator	Bimorph Piezoelectric Resonator

3. 移動機構の速度特性

ポリカーボネイト製走行レーン上で以下の測定を行った。

駆動周波数 0～1000 Hz、振幅 15 V_{p-p} と 30 V_{p-p} の正弦波駆動電圧を印加して、移動速度の駆動周波数特性を測定した。測定結果を Fig. 2 に示す。

Fig. 2 Frequency dependence of the locomotion velocity of the proposed locomotion mechanism at driving voltages of 15 V_{p-p} and 30 V_{p-p}.

機構の移動速度と移動方向は、印加した電圧の駆動周波数に依存することが確認できた。駆動電圧の振幅によって、移動機構の進行方向が異なる駆動周波数があることを確認できた。

駆動電圧 30 V_{p-p} を印加した際、正方向では 492 Hz と 646 Hz に、負方向には 312 Hz と 560 Hz にピークがあり、移動速度のピークが複数あることが確認できた。駆動周波数 646 Hz において前進最高速度 128 mm/s、駆動電圧 30 V_{p-p}、312 Hz において後退最高速度 64 mm/s が得られた。

駆動周波数 610 Hz～780 Hz の範囲における移動速度の周波数特性を拡大して Fig. 3 に示す。駆動電圧 15 V_{p-p} および 30 V_{p-p} 印加時のピーク周波数は、676 Hz および 646 Hz であり、駆動電圧の振幅によって移動速度のピーク周波数がシフトすることが分かった。すなわち、同一周波数で駆動しても、移動速度は駆動電圧によって変化する。

Fig. 3 Comparison of frequency characteristics at driving voltages of 15 V_{p-p} and 30 V_{p-p}, and driving frequencies of 610-780 Hz.

そこで、駆動電圧 $30\text{ V}_{\text{p-p}}$ 印加時の移動速度のピーク周波数における、移動速度の駆動電圧特性を測定した。正方向へ移動した 492 Hz と 646 Hz での移動速度を Fig. 4 に、負方向へ移動した 312 Hz と 560 Hz での移動速度を Fig. 5 に示す。

Fig. 4 に示すように、前進方向では $5\sim 30\text{ V}_{\text{p-p}}$ の駆動電圧範囲で移動速度は線形に増加した。一方、後退方向では Fig. 5 に示すように駆動周波数 312 Hz 印加時に、 $10\sim 20\text{ V}_{\text{p-p}}$ の駆動電圧で移動速度は線形に増加し、 $20\text{ V}_{\text{p-p}}$ 以上の駆動電圧で飽和した。また Fig. 5 に示すように、同一駆動周波数でも駆動電圧によって進行方向を反転させることが可能であることが分かった。

Fig. 4 Driving voltage dependence of the locomotion velocity of the proposed locomotion mechanism at driving frequencies of 492 Hz and 646 Hz .

Fig. 5 Driving voltage dependence of the locomotion velocity of the proposed locomotion mechanism at driving frequencies of 312 Hz and 560 Hz .

4. 移動機構の推進力特性

移動機構の推進力の測定法を Fig. 6 に示す。ポリカーボネイト板上を移動する機構を、電子天秤の力検出部に直接接触させ、A-D コンバータを用いてパソコンに取り込んだ。A-D コンバータの分解能を最大限に活用するために、増幅器を用いて電子天秤の出力信号を増幅した。

駆動電圧 $30\text{ V}_{\text{p-p}}$ を印加した際の、推進力と移動速度の周波数特性を Fig. 7 に示す。移動速度が 0 mm/s 付近においては移動方向が明確に定まらないため、移動方向を明確に判断できたピーク周波数付近のみで推進力を測定した。

前進最高速度を得た 646 Hz 付近において 1.3 mN 、後退最

Fig. 6 Schematic of the measurement system of locomotion force.

Fig. 7 Frequency dependence of the locomotion force of the proposed locomotion mechanism.

高速度を得た 312 Hz において 1.2 mN の推進力が得られた。

移動速度のピーク周波数における推進力の駆動電圧特性を測定した。 646 Hz における移動速度と推進力を Fig. 8 に、 312 Hz における移動速度と推進力を Fig. 9 に示す。

駆動周波数 646 Hz においては、駆動電圧の増加に対して移動速度が単調に増加するが、推進力は 8 V 以上でほぼ一定であった。それに対して駆動周波数 312 Hz においては推進力と移動速度は駆動電圧に対してほぼ同一の変化を示した。

このように推進力の駆動電圧依存性は駆動周波数によって異なった。

Fig. 8 Driving voltage dependence of the locomotion force and velocity of the proposed locomotion mechanism at a driving frequency of 646 Hz .

Fig. 9 Driving voltage dependence of the locomotion force and velocity of the proposed locomotion mechanism at a driving frequency of 312 Hz.

5. 結論

圧電バイモルフ振動子と弾性体ボディを用いた小型移動機構を開発し、その性能評価を行った。

駆動電圧の周波数と振幅を変えることによって、方向と移動速度を制御できることを確認した。

駆動周波数 646 Hz において前進最高速度 128 mm/s、駆動周波数 312 Hz において後退最高速度 64 mm/s を得た、そのときの推進力は前進時の 646 Hz では 1.3 mN、後退時の 312 Hz では 1.2 mN であった。

駆動電圧の増加に対して、移動速度および推進力は必ずしも単調に増加しない。そのため駆動電圧によって移動速度のピーク周波数がシフトすることがわかった。

これらのことから、本機構は駆動電圧と駆動周波数を変化させることによって、移動速度と推進力の組み合わせを多様に制御することができると考えられる。

本機構は制御が容易であり、また部品点数が少なく単純な構造であるため、小型化が容易である。このことから、小型の作業機械を必要とする広い分野への応用が可能であると考えられる。

今後は振動子の変位特性の測定と、移動機構の動作の解析、そして本機構を応用した実用的なシステム開発を行うことが課題である。

参考文献

- [1] Shuxiang Guo, Toshio Fukuda and Kinji Asaka: A new Type of Fish-Like Underwater Microrobot, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 8, pp. 136-141 (2003).
- [2] Yoseph Bar-Cohen: Electric Flex, IEEE Spectrum, Vol. 41, pp. 18-23 (2004).
- [3] 矢口 博之: 高速走行可能な管内移動マイクロアクチュエータ, 日本応用磁気学会誌, Vol. 28, pp. 107-112 (2004).
- [4] 井上 雅章: 圧電バイモルフ振動子を用いた小型推進機構の研究, 信州大学大学院工学系研究科機能機械学専攻修士論文 (2001).