

だ円振動子対を用いた群体給送機構の連成振動抑止*

笹木 亮^{*1}, 小泉 邦雄^{*1}
佐々木 基文^{*1}, 木下 功士^{*1}

An Absorption of Coupled Vibration for The Colony Type Feeder with Pair Resonator

Tohru SASAKI^{*2}, Kunio KOIZUMI,
Motofumi SASAKI and Kouji KINOSHITA

^{*2} Faculty of Engineering, Toyama University,
3190 Gofuku, Toyama-shi, Toyama, 930-8555 Japan

This paper deals with the pair resonator generates an elliptic vibration for colony type feeder. The resonator consists of loop and leg part and vibrates respectively. Each part was actuated by bimorph type piezoelectric member. The resonator can generate elliptic motion at the center point of the upper member by the deflection of loop part and the bending of leg part. If the resonators that be put in a train are actuated at the same frequency, the colony type feeder, consists of the resonators, can feed objects on the upper surface of its train. The resonator needs rigid fixation on the bottom end for generating an elliptic vibration. However, there is no space to place the mechanism for fixing rigidity, because the feeder needs a narrow gap between each resonators. Therefore, we developed the pair resonator, stucked two resonators of each other on the bottom end. Since the pair resonators, be put in order, vibrate like a tuning fork without rigid fixation, the feeder can generate arbitrary elliptic vibration on all feeding surface without a long gap to each others. The trial one of the feeder can change locus of elliptic vibration with changing input phase.

Key Words: Feeding Drive, Vibration of Mechanism, Coupled Vibration, Piezo-Element

1. 結 言

近年の電子機器や精密機器の小型化に伴う部品の微小化, 軽量化, 薄箔化や, 医療・バイオ分野, 食品加工分野における自動化の要求から, 従来の給送物には無い機械的特性を持つ対象をハンドリングする必要性が生じており, これらに対応する新しい給送技術が求められている。これらの対象には微小質量のため慣性力を利用した振動給送が困難となるものや, 薄箔化により静電力の影響が増し給送面に吸着して, 従来の給送機構では給送不可となるものがある。また, 中には機械・電子部品のように一定形状を保たず, 柔軟で不定形な対象のため給送困難となる場合がある。

このような新素材あるいは新分野への応用を目指す給送機構の研究として, 柔軟な高分子ゲル膜を用いることで機構自体を駆動源とするアクチュエータ⁽¹⁾や, 柔軟なゴム製アクチュエータ上に進行波を発生させることで給送を行う機構⁽²⁾が開発されている。これらは給送面に一定形状の波を発生させる波動フィーダであり, 給送面全体で給送を行う。また, 微小物の給送で

は, 基板上に設けた微小なカンチレバー型アクチュエータで給送する, 人工繊毛型マイクロ給送機構⁽³⁾が研究されている。これは給送対象に個々の振動子が直接給送力を与えるもので剛体フィーダの1種といえる。これらは給送技術の応用範囲を広げるものと期待できるが, 新しい給送対象に十分対応できない場合もある。

そこで本研究では任意のだ円振動を発生できる振動子を並べ群体にすることで, 波動フィーダと剛体フィーダの両方の利点を持ち, 主に柔軟な箔材や軟粘性を持つ対象を給送可能とする群体給送機構を考案した。その駆動要素として, ループ型と片持ちはりの2つの形状を組み合わせ, 上下・水平方向振動を独立に駆動できる振動子を開発した。両方向を同時に励振でき

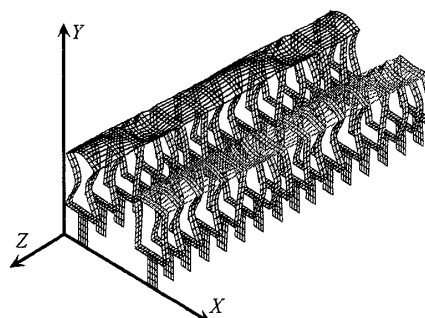


Fig.1 Model of colony type feeder

* 原稿受付 2004年11月26日。

*1 正員, 富山大学工学部(〒930-8555 富山市五福3190)。

E-mail: tsasaki@eng.toyama-u.ac.jp

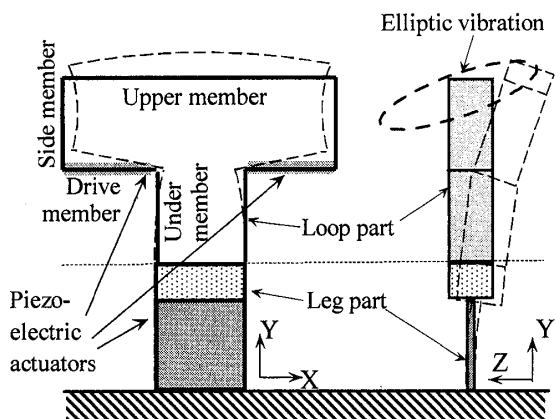


Fig.2 Loop type resonator

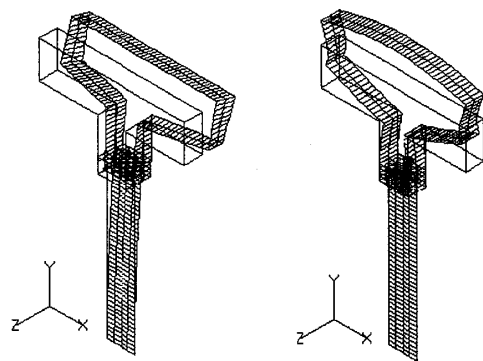
ば、だ円振動を発生でき、入力位相を変えることで軌跡の形状を変化できる。これを図1のように給送方向に複数個並べれば群体給送機構を構成し、従来の剛体フィーダと異なる給送振動面を形成できる。

本報では、振動子を複数個並べ群体給送機構を実現する際、給送の妨げとなる振動子間の連成振動を、振動子を2個1組とする振動子対を用いて抑止する方法を考案した。任意給送面形状を作り出すことが可能な群体給送機構の連成振動抑止効果について述べる。

2. ループ型振動子⁽⁴⁾

本研究で群体給送機構の駆動要素として用いる振動子は、図2のようにループ部と脚部から成る。ループ部は板材を円形にしたものであり、脚部も直交する板材で構成される。振動子はループ部の駆動部と脚部に構成されたバイモルフ型ピエゾ素子により駆動される。

有限要素法解析による固有モードの1例を図3に示す。解析モデルは上部材と脚部、横部材と下部材を同じ長さとし、全ての部材の剛性、密度を同じとした。図3(a)は先端に質量を付加した片持ちりの基本モードと同じ曲げ振動で、上部材は z 方向に振動する。このときループ部は z 方向に幅を持つ板材であることから、剛体とみなせるほど十分剛性が高く、曲げ振動に影響を受けない。また、図3(b)ではループ部が x - y 面内でたわみ振動し、上部材は y 方向に振動する。ループ部を支える脚部は x - y 方向には十分剛性が高いため、たわみ振動に影響を受けない。よって同一振動数で両方のバイモルフ部材を駆動すれば、垂直・水平方向を同時に励振でき、 y - z 面内でだ円振動が発生できる。振動子はループ部と脚部が互いに独立に駆動できることから、両者への入力位相により発生するだ円振動の主軸の長さ、方向、軌跡の回転方向を可変にできる。この振動子を z 方向に複数個並べ、上部材を給送面とすれば物体を給送できる。また、給送面上の振幅分布



(a) Cantilever mode

(b) Deflection mode

Fig.3 Natural modes of resonator

と回転方向を可変にして、給送方向を切換えたり、給送面上の加速度を部分的に変え位置決めを行うなど、給送物に応じた給送形態が実現可能である。

本研究では振動子にT字型と呼ぶタイプを用いる。この形状は、ループ部をT字型とし下部材を脚部方向に延長して低剛性とすることで給送面である上部材面を平坦に振ることができる。また、ループ部全体の y 方向長さを脚部に対し短く押えることで、給送の妨げとなる y 軸回りのねじれ振動など高次の振動モードの発生を抑える効果を狙ったものである。

3. 連成振動の抑止

3.1 振動子対構造

本振動子の場合、だ円振動発生のため、脚部の曲げによる片持ちりのモードを得るためには、固定端が完全に拘束されている状態、すなわち非常に剛性が高く質量の大きな固定部を必要とする。本研究における給送機構は、振動子を複数個、給送方向に並べた構成であるため、固定部を大きくすると、振動子同士が離れてしまい給送面である上部材面のピッチが給送物に対し大きくなる。これより給送物に対する振動面の挙動が剛体フィーダに近くなり、本研究の目的である給送物に応じた振動面形状を作り出せず不利である。また仮に、非常に剛性の高い固定部を実現した場合、振動子を駆動すると固定部全体に大きな振動を伝える。各振動子は同一振動数で駆動するため、駆動していない他の振動子まで励振され、連成振動が発生し、任意の位相制御が不可能になる。このように給送機構を構成するには、固有振動数が非常に近い振動子を並べて駆動しても、互いを励振する振動伝達がなく、独立に固有モードを発生する固定と防振が必要である。

高剛性の固定無しでも固有モードを発生する方法として、図4のような2個の振動子を固定部で合体させた振動子対を考案した。これは音叉のように2個の振

動子の水平方向振動が互いに逆相となり、その固有振動数は固定の状態により変化しない。振動子対の片側だけに着目すると、単独の振動子の片持ちはりモードと同じである。一方の振動子で発生した振動は、対向する振動子が発生する逆相の振動によって相殺され、連成振動が抑止できる。また、固定状態で固有振動数が変化しないことから、対自体に防振を施すことができ、振動子対と他の機器の振動絶縁が可能である。

3.2 振動子対の動作

振動子対により構成された群体給送機構は、それぞれの振動子対を同一振動数で駆動し、入力位相を変化させることで、給送面である上部材面上に任意のだ円振動を発生させることができる。図5(a)に対向する振動子A、Bのだ円振動軌跡を示す。水平方向振動が逆相であるが、脚部に対するループ部への入力位相を変化させることで、だ円振動軌跡を任意に変化させることができる。給送機構を構成すれば、給送面上に均一な振動を与える既存の振動給送機構と異なり、給送対象に応じて給送面を柔軟に変形させる利点を持つ。

図5(b)に給送形態の1例を示す。給送物が長いシート状物体のように、いくつかの振動子で支える対象の場合、給送面である上部材面はだ円振動軌跡において中心よりも上方にある時に給送物と接触する。隣り合う振動子の水平方向振動が逆相である場合、単なるだ円振動の摩擦力による効果だけでなく、互いの振動子が給送方向に給送物を受け渡す効果が望める。これは非常に剛性が低く変形する給送対象に有効である。いわゆる織毛が物体を送るような動きが可能であり、給送面上に形成される波の進行方向は、進行波型フィーダとは異なり、給送方向と同じとなる。振動子対の配置も直線状だけではなく、曲線や円形状、さらには分岐させることも可能である。各振動子対を給送物の特性に合った給送形態にすることで、1つの給送機構で様々な給送物に対応できるほか、局部的に給送形態を変化できるため、異なる給送物を連続して給送できる。

加えて、非常に薄い箔材など変形しやすい給送物を送る場合、局部的に駆動・停止することで、たるみや絡みを生じさせない給送が可能である。いわゆる波動フィーダと剛体フィーダの特性を局所的に切り替えて利用可能である。従来の給送機構に比しても、対象が軟粘性を持ち吸着する場合、ベルトコンベアなどでは別に分離機構を要するが、本機構の場合は振動を付加することで吸着防止と給送を同時に行える利点を持つ。

3.3 連成振動抑止実験

振動子対による連成振動抑止の効果について、図6のような振動子対モデルを試作し測定を行った。

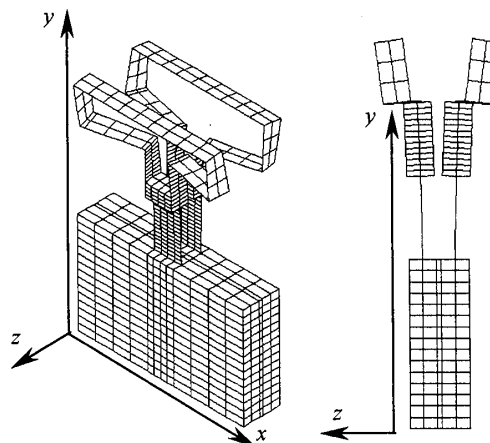
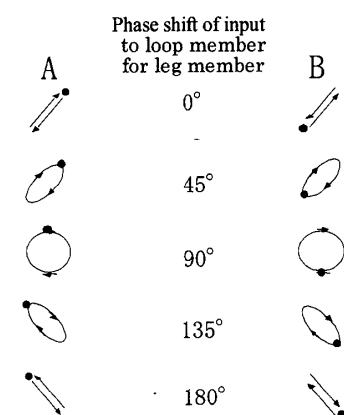
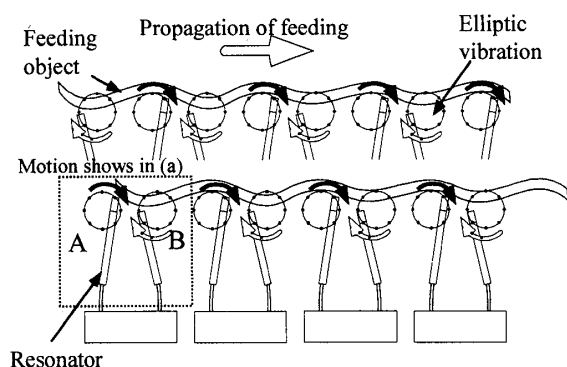


Fig. 4 Natural mode of pair resonator



(a) Motion of pair resonator



(b) Model of feeding with resonator's train

Fig. 5 Motion of feeder with pair resonator

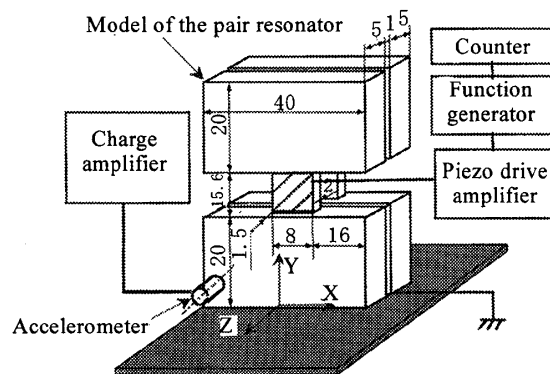


Fig. 6 Vibration absorption experiment

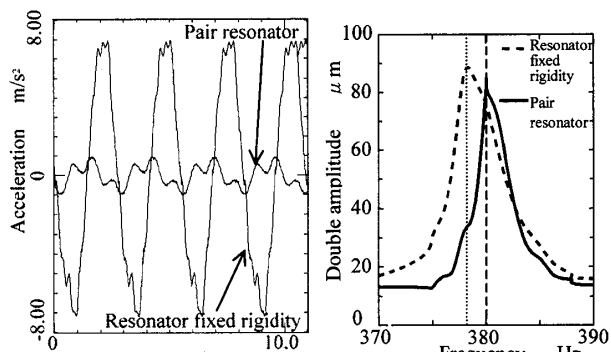


Fig.7 Acceleration

Fig.8 Frequency response

鋼材 ($t=5\text{mm}$) を放電加工でループ部と固定部に模した形状に切り出し、脚部とみなす部分にピエゾセラミックス板 ($t=0.2\text{mm}$) を貼りバイモルフ構造とした。このモデルを用いて、単独の振動子の固定部をバイスで固定し駆動した場合と、2個の振動子を固定部で貼り合わせ一体の振動子対とし、固定せず単にゴムシート上に置いた状態で駆動した場合の、固定部における加速度を測定をした。上部材 z 方向振幅が $50\mu\text{m}$ となるように、脚部のみに単独の振動子の場合 91.2V 、振動子対の場合 75.2V 、共振周波数である 380Hz で駆動した。単独振動子、振動子対共に固定部に加速度センサを図6上の z 方向に貼り付けた。加速度波形を図7に示す。それぞれの加速度の実効値は、単独の振動子が 2.692m/s^2 、振動子対が 0.178m/s^2 であり、振動低減効果は 23.59dB であった。振動子対は振動子に比べ、十分に振動伝達を低減している。加速度には微小な高周波振幅が見られるが、これは振動子対全体の剛体振動によるものでループ上部の変位への影響は少ない。図8にループ部 z 方向の変位周波数応答を示す。振動子単体と振動子対の場合で共振周波数の変動はわずかであり、周波数特性に大きな変化は見られなかった。これより隣り合う振動子対が近接して設置された場合でも、水平方向振動の位相が任意に制御可能となる。

4. 群体によるだ円振動

4.1 実験装置

4対の振動子対 (8個の振動子) を並べ、給送機構を試作した。振動子は図9のように鋼材 ($t=5\text{mm}$) を、放電加工でループ部の厚み 0.3mm 、脚部の厚み 2mm で切り出した。このループ駆動部と脚部にそれぞれピエゾセラミックス板 ($t=0.2\text{mm}$) を分極方向を同じにして裏表に接着し、バイモルフ構造とした。対内の振動子同士の間隔は、より小さい方が任意の給送面形状を作り出すのに有利であるが、駆動した際、振動子同士が接触しない距離以上に離す必要がある。試作機では2個の振動子の固定部に鋼材 ($t=1\text{mm}$) をスペーサとし

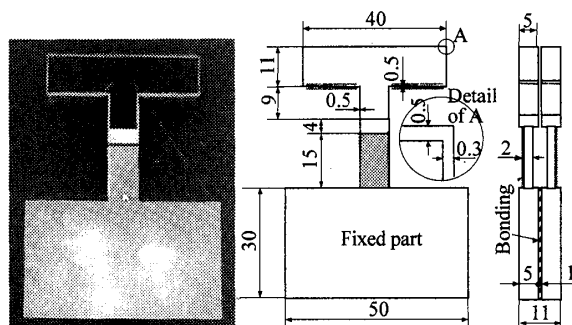
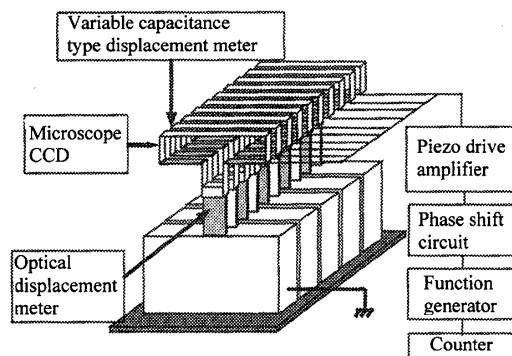
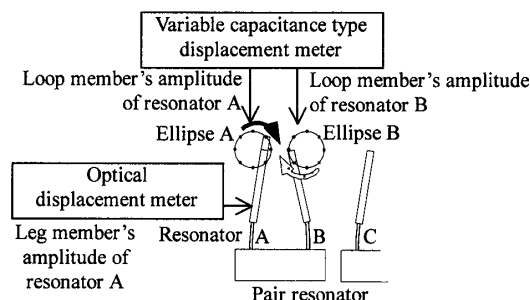


Fig.9 Test piece of resonator (T-script type)



(a) Experimental apparatus



(b) Measurement of ellipse

Fig.10 Colony Type Feeder

て挟み込み、接着して振動子対とした。8個の振動子のループ部駆動による y 方向および脚部駆動による z 方向の変位共振周波数は平均 446Hz であった。また、最大発生振幅は y 方向 $70\mu\text{m}$ 、 z 方向 $200\mu\text{m}$ であり、ヒステリシスは微小であった。

実験装置の構成を図10(a)に示す。各振動子対は対同士の振動伝達を抑え、また対内の振動子同士と振動子対間の振動子同士の間隔が等しくなるよう、ゴムシート ($t=1\text{mm}$) をスペーサとして挟んだ。全ての振動子対の固定部にボルトを通し、スペーサがつぶれない程度に軽く固定し、対同士の振動伝達防止のため、ゴムシート ($t=1\text{mm}$) 上に設置した。発振器からの入力を分配し各出力に対し任意の位相を与えられる位相分配機を用い、各振動子対ごとにループ部駆動部と脚部へ独立に電圧を印加し駆動する。だ円振動の軌跡は図10(b)のように対内の2個の振動子上部材面の y 方向と一方の脚部の z 方向の振幅を光ファイバー型変位計

と静電容量型変位計を用いて測定した。振動子 A, B はそれぞれ対内の対向する振動子であり、振動子 C はそれと隣り合う振動子対の振動子である。これらの横部材面上のだ円軌跡を顕微鏡 CCD カメラで撮影した。

4.2 だ円振動発生実験

試作した機構で、発生するだ円振動を独立に制御する実験を行った。各振動子対の水平・垂直振幅が共に $50\ \mu\text{m}$ になるようにループ駆動部 32.2~52.2V, 脚部 8.9~16.1V, 周波数 446Hz の電圧を印加し、ループ部の脚部に対する入力位相を変化させた。

同じ振動子対内の対向する振動子 A, B のループ部への入力に, A, B の脚部に対して $\phi=45^\circ$ の位相ずれを与えた時の各部の振幅と振動軌跡を図 11 に示す。脚部に対し同じ位相ずれをループ部に与えたため、振動子 A, B のだ円振動軌跡は、ほぼ同じ形状となった。各振動子は剛性に個体差を持ち、入力に対し出力振幅に振動子毎に異なる位相ずれを持つため、だ円形状に歪みが生じるが、振動子毎に位相遅れを調整することで整った形状のだ円振動が発生可能である。

また、横部材上方の軌跡を表す顕微鏡画像を図 12 に示す。全てのループ部に脚部と同相の入力を与えた場合、図 12(a) のように対内の対向する振動子 A, B と隣り合う別の振動子対内の振動子 C には、ほぼ同じ形状のだ円振動が発生した。これは連成振動を抑え、給送面上のだ円振動を揃えて給送機構全体の給送能力を高められることを示す。また、それぞれ脚部に対し異なる入力位相を加えた場合、図 12(b) のように互いに独立した形状のだ円振動を発生できた。これより給送面の働きを部分的に変化させることができ、位置決めなどへ応用が望める。加えてループ部と脚部への入力は独立であり、だ円振動の垂直・水平方向振幅の割合も可変にできる。このように本機構では、ループ部と脚部に与える入力の位相変化に応じて、上部材におけるだ円振動の形状を任意に変化できることが分かる。

以上より群体給送機構において、振動子対を構成することで連成振動問題を解決し、任意給送面を形成できることが示された。給送物には、例えば薄箔材のように給送面への吸着の分離のために垂直方向振動をより多く要するものなど、その特性によって異なる振動面形状が必要となるものがあるが、本機構は給送する物体の特性に応じた給送面形状を作り出し、従来、給送困難とされている対象にも応用可能である。

5. 結 言

本報で行った実験より得られた成果を以下に示す。

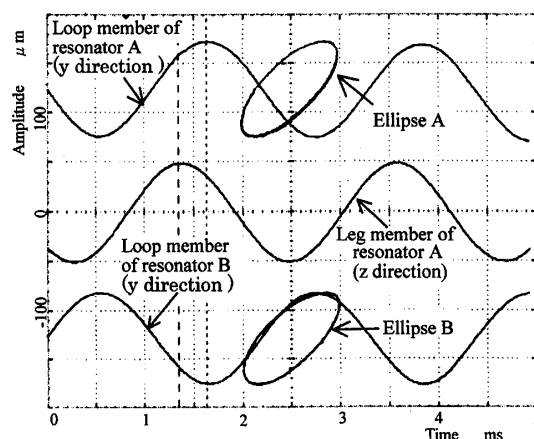


Fig.11 Elliptic vibration of pair resonator

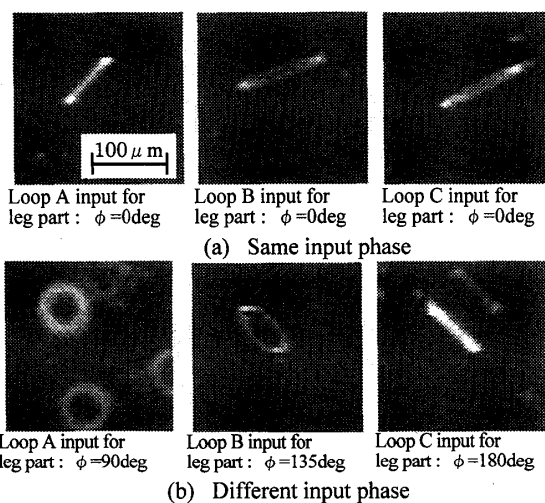


Fig.12 Changing of ellipse with input phase

- だ円振動する振動子を 2 個 1 組とし固定部において貼り合わせることで、音叉のようなモードで振動する振動子対を実現し、振動伝達を軽減して連成振動を抑止することができた。
- 振動子対では、単独の振動子のように終端において堅固な固定無しに、だ円振動を発生できる。
- 振動子対を用いて試作した群体給送機構で、振動子を近接して並べた状態でも任意のだ円振動が発生でき、入力に応じて軌跡の形状を可変にできた。

文 献

- (1) 菅野, 田所, 服部, 高森, 小黒: ICPF (イオン導電性高分子ゲル膜) アクチュエータのモデル化 (第 1 報, 基礎的特性とブラックボックスモデリング), 日本機械学会論文誌 (C), 62, 598 (1996) 2299-2305.
- (2) 鈴森, S.Assad: 空気・弾性体系による進行波の生成とアクチュエータへの応用に関する研究, 日本機械学会ロボ・メカ講演会'96 講演集 B (1996) 877-880.
- (3) 小西, 藤田: 分散型マイクロ運動システム (マイクロ給送システム), 日本機械学会ロボ・メカ講演会'95 講演集 A (1995) 427-430.
- (4) 笹木, 小泉, 佐々木: ループ状だ円振動子の動作特性, 日本機械学会論文誌 (C), 68, 669 (2002) 1385-1390.