

超音波モータ及び応用展望

Ultrasonic Motor's Operating Principles and Application Prospects

史 小軍 *

Xiaojun Shi

小谷 若菜 **

Wakana Kotani

加藤 厚生 ***

Atsuo Kato

Abstract Ultrasonic motors (USMs) have been the subject of much attention because of the special principles and performances since they were appeared at the beginning of the 1980s. They may possibly replace the small electromagnetic motors in some certain fields. A conventional motor uses magnetic force to obtain rotation but a USM uses vibration generated by the piezoelectric ceramic elements as the source of energy for driving the motor. In the paper, a short review of the USM's history development is given, together with the operating principles and characteristics. According to the investigation of the patents about USMs toward Japan, the USM's application prospects are described. At last, the problems for further development on USMs are pointed out briefly.

1. はじめに

1819年に電流の磁気効果が Hans Christian Oersted によって発見されてから、1879年にベルリンで開かれた万国博覧会で実用化されたモータが初めて展示された。その後、ほとんどすべてのモータは電磁気の相互作用の原理に基づいて設計されてきた。

現代科学技術の迅速な発展に従って、各種類の電子設備、精密計器、光学システムおよびFA、OA設備は小型化、精密化、静粛化へ進みつつある一方である。これらの設備の駆動部品として使われているモータは、その自身の機能を向上させ、あるいはすくなくとも維持することを前提として、小型化、低雑音化、高精度となる方向へ進展すべきである。1960年代以来、世界各国の技術者はこのための努力を続けてきた。

その結果の一つは、マイクロモータ産業の迅速

な発展をもたらしたことである。良質な永久磁石材料の採用とノンブラシ技術の応用により、現在の小型の永久磁石ステッピングモータは優れた性能を持ち、幅広く応用されている。我々の日常生活に、マイクロモータがいたるところに応用されているといっても、決して過言ではない。

もう一つの結果として、応用のニーズに応じて、いくつかの新型のモータが提案された。例えば薄型モータ、静電気モータ、超音波モータなどが挙げられる。

超音波モータの原理¹⁾は、1973年にアメリカのIBM社のH.V.Barth氏により発表されたが、1977年に旧ソ連のV.V.Larvinenco氏の研究報告²⁾で指摘したとおり、耐久性の問題と回転方向を変えられない問題があって、超音波モータはなお実用化の段階には至らなかった。1981年にいたって、日本の新生工業会社の指田年生氏により世界で初めて超音波モータの試作³⁾に成功した。

超音波モータの原理は従来の電磁気モータの原理と根本的な違いがある。“電気の影響による伸縮”、超音波振動、波動原理のような従来の電磁モータとは全く異なった概念を駆動原理に利用し

* 愛知工業大学訪問研究員 (東南大学)

** 愛知工業大学電子工学科 (大学院生)

*** 愛知工業大学電子工学科

ている。

一般に、超音波モータは振動体（固定子）と移動体（回転子）により構成されている。圧電素子（振動体の一部分）に数十 kHz の交流電圧を印加し、その逆圧電効果すなわち“電気の影響による伸縮”の効果によって数十 kHz の超音波振動を生じさせる。そして、この振動を振動体と移動体との摩擦力により回転方向あるいは直線方向の変位に転換する。また、圧電素子に曲面振動を生じさせ、直接に移動体を駆動し回転させる方式もある。

研究・発展と特許申請の初期の時期に、超音波モータは数多くの別名があった。例えば、振動モータ、圧電モータ、表面波モータ、超音波モータ、超音波圧電促進器などがある。超音波モータ自身の原理から考えれば、“振動モータ”という名はもっとも適切と思われる。ただし、英語は世界共通言語であるため、その影響により超音波モータという名は汎用となった。以下に超音波モータを USM (Ultrasonic Motor) という。

従来の電磁気効果を利用するモータと比べ、USM は体積が小さく、重さが軽く、速度が緩やかであり、回転トルクが大きく、応答速度が速く、制御精度が高く、運行雑音はなく、静止状態（電源 OFF）であってもトルクが保持され、磁界の影響を受けにくく、周りの環境に対する擾乱はないなどのメリットがある。一方、その逆に、摩擦消耗が大きく、温度の上昇があり、寿命が短く、価格が高く、高周波駆動電源を要するなどの欠点もある。

USM の誕生から今まですでに 15 年の歴史がある。その間に、日本での研究がもっとも活発であり、すでに数多くの実用化の成果を収めた。例えば、日本の Canon 株式会社は USM を一眼レフカメラ EOS の自動ピント（焦点）合せに応用し成功したのは良い例の一つである⁵⁾。そのほか、ロボット、自動車、医療機器、磁気カード機器、紙送り装置、X-Y ステージ、フロッピーディスク駆動装置、制御弁、時計、家電製品などの分野で、USM がすでに幅広く応用され、あるいは応用可能となっている。

2. 超音波モータの動作原理

USM の種類は多い。本稿では構造が定着し⁶⁾、かつ実用化された進行波型 USM を例として、その

作動原理について簡単に述べる。

図 1 に進行波型 USM の構造を示す。

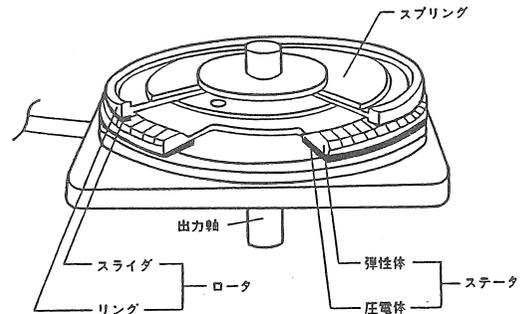


図 1 進行波型 USM の構造図⁶⁾

USM は固定子、回転子、軸と弾性のあるリングによって構成される。固定子の材質は黄銅の合金であり、表面に櫛状の溝が彫ってある。PZT 圧電セラミクスをその裏面に貼り付けてある。櫛状の溝の役割は二つある。一つは PZT 圧電素子によって生じた振動を増幅する。もう一つは摩擦によって生じた粉末を溝に引き込んで、接触面をきれいに維持する。回転子はアルミ合金の素材によって造られ、摩擦力を増すための高分子の膜がその表面に付けてある。弾性のあるリングは固定子と回転子に軸方向に沿って弾性力をかけて、常によい接触状態を維持している。かけられた弾性力がリングを装着する際に調整できる。

図 2 に、固定子に貼り付けられた PZT 圧電素子によって構成した環状圧電セラミクスの電極の配置を示す。

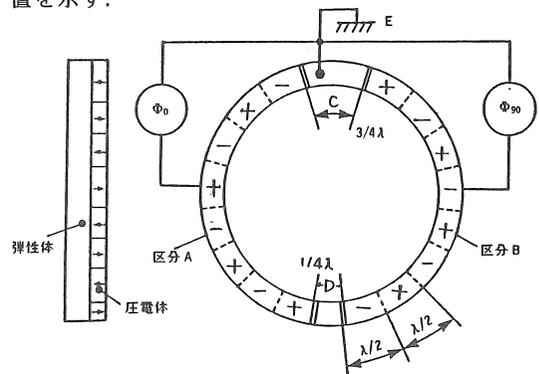


図 2 電極の配置図

環の周辺の長さは進行波波長の 9 倍に相当する。圧電セラミクスの表面は円周方向上に A, B, C, D と 4 分割され、それぞれに電極が設けられている。A と B の部分は各 8 枚の圧電セラミクスによって

構成され、一枚の圧電セラミックスの長さは $\lambda/2$ に相当する。圧電セラミックスの極性を図に+と-で表わす。隣り合った圧電セラミックスの伸縮極性は逆となっている。CとDの部分の長さはそれぞれ $(3/4)\lambda$ と $\lambda/4$ に相当する。Cの部分の共通の接する独立な圧電セラミックスによって構成している。この部分は共振状態にあるかどうかをチェックするためのセンサ素子として使える。

このような圧電セラミックスを貼り付けられた固定子（弾性体）に進行波を発生させるために、次の方法が用いられた。Aの部分に正弦波を印加し、Bの部分に余弦波（正弦波との位相差は $\pi/2$ である）を印加すると、固定子（弾性体）に定在波を励起させられる。そのときAとBとの2組の電極の空間的配置に $\lambda/4$ の間隔がある。すなわち空間的位相差は90度（ $\pi/2$ ）である。すると波動原理に基づいて、振幅値が等しく、周波数が同じ、かつ時間的と空間的位相差はともに90度である二つの定在波の重ね合わせにより、進行波を合成できる。すなわち

正弦波によって励起した定在波を

$$u_1(x,t) = A_0 \sin nx \sin \omega t \quad (1)$$

余弦波によって励起した定在波を

$$u_2(x,t) = A_0 \cos nx \cos \omega t \quad (2)$$

とすると、二つの定在波を重ね合わせた結果は

$$\begin{aligned} u(x,t) &= u_1(x,t) + u_2(x,t) \\ &= A_0 \sin nx \sin \omega t + A_0 \cos nx \cos \omega t \\ &= A_0 \cos(nx - \omega t) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、

u_1 と u_2 は弾性圧電体の表面質点の縦方向における変位、 A_0 は振幅、 x は波の移動距離、 t は時間、 $n=2\pi/\lambda$ 、 $\omega=2\pi f$

(3)式が進行波の方程式となったため、以下の二つの条件

1、二つの印加電圧は時間的に $\pi/2$ の位相差を持つ。

2、二つの電極は空間的に $\lambda/4$ の位相差を持つ。さえ満たせば、弾性体に進行波を発生させることができる。

次に、弾性体の表面にある質点Pの進行波の駆動による変位の状況を考察する。

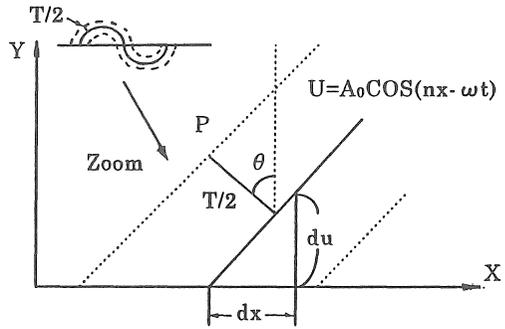


図3 弾性体の表面にある質点Pの変位図

弾性体の厚さをTとする。弾性体に曲面進行波を励起したとき、弾性体の表面にある質点Pの弾性体の平面と垂直となる方向での変位y、および弾性体表面と同じ方向での変位xの拡大図を図3に示す。この図において、次式が導かれる¹⁴⁾。

$$x = -\frac{T}{2} A_0 \sin(\omega t - nx) \quad (4)$$

$$y = \frac{T}{2} + A_0 \cos(nx - \omega t) \quad (5)$$

式(4)と式(5)から式(6)が得られる。

$$\frac{x^2}{\left(\frac{TnA_0}{2}\right)^2} + \frac{\left(y - \frac{T}{2}\right)^2}{A_0^2} = 1 \quad (6)$$

式(6)は楕円方程式である。すなわち、弾性体の質点Pは、曲面進行波の駆動により、楕円に沿って変位することがわかる。この軌道のx方向の変位は、進行波の移動方向と逆方向になる。弾性体（固定子）に押し付けられた移動体（回転子）が、楕円方向へ変位する固定子の表面における質点の駆動によって、図4に示すように、進行波と反対方向へ回転される。

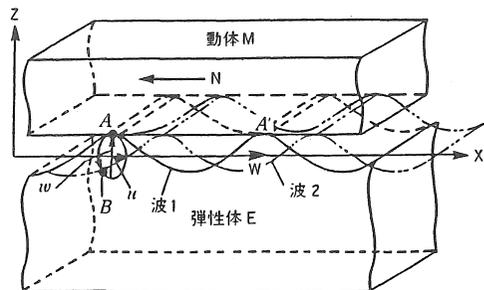


図4 USMの回転原理示意図⁶⁾

ここで、相対的すべりがないとすれば、回転子の回転速度 V は(4)式によって導かれる。

$$V = \frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{1}{2}TA_0n\omega\cos(\omega t - nx) \quad (n = 2\pi/n) \quad (7)$$

弾性体との接触点で、速度は最大となる。この最大速度は式(7)によって計算され式(8)となる。

$$V_m = -\frac{1}{2}TA_0n\omega = -\pi\omega A_0T/\lambda \quad (8)$$

式8の“-”は質点 P の変位方向が進行波と反対になることを表わす。

3. 超音波モータの性能における特徴

独特な動作原理により、USM が一般的電磁気効果のモータにはない性能特徴を持っている。次に、USM の利点と欠点について簡単に紹介する。

利点：

(1) 低速なのに回転トルクが大きい

USM の超音波振動における振幅は、通常数マイクロメートルで、振動速度（角周波数と変位幅との積）は数 cm/秒しかない。すべりがなかったときの回転子速度が振動の速度によって決まる。ゆえに、一般的に USM の回転速度は低い。一分間における回転速度は十数～数百回転しかない。ただし、振動の加速度は角周波数の自乗と振動速度との積であるので、数千 G に達することは容易である（G は重力加速度である）。固定子と回転子が十分な圧力で押し付けられた場合、回転トルクは非常に大きくなる。例えば、直径 60mm の超音波モータ (USM-60) において回転トルクの定格値は 3.2kg·cm に達する。

(2) 体積は小さく重さは軽い

USM は巻き線を使わず、電磁鉄も使わないので、構造は簡単である。

普通のモータと比べて、同じ回転トルクを出力する場合、USM がより小さく、より軽く、より薄く造られる。

(3) 応答速度が速い、制御特性がよい

摩擦によって駆動するため USM の移動体の構造は簡単で重さは軽く、慣性力は小さい。従って応答速度が速く、起動と停止の時間は数 ms のオーダーである。制御方法を選べば、速度の調節、方

向の切換も容易となる。ゆえに高精度で速度制御あるいは位置制御を実現できる。

(4) 微小変位特性

USM の直線方向における最小変位量は nm オーダーを達成できる。

(5) 電磁気の影響はない

USM に磁極はないので、電磁気の影響を受けない。また外へ磁気ノイズを出さない。強磁界環境での応用は特に適している。磁気ノイズのない環境づくりにも適している。

(6) 停止状態においてもトルクが保持される。

USM では、固定子と回転子との間に密な接触状態が常に保持されているので、電源を切っても、静止摩擦力の役割により、ブレーキなしでも大きい保持力が維持される。

(7) 運行雑音はない

USM は人間の耳に聞こえない超音波振動によって駆動する。また低速回転にはギア速度装置がいらないので、静かに運行できる。

(8) 形が変えやすく設計における自由度が大きい

USM に駆動力を発生する部分の構造は要望に応じて設計でき、設計の自由度が大きい。例えば、USM の中空構造、球型構造、直線構造の設計も実現できる。

欠点：

現在、超音波モータには主に次の問題点がある。

(1) 寿命が短い

現在、USM の寿命は約 2000 時間で、従来のモータに比べ、長時間作動における耐久性は欠けている。

(2) 熱安定性は良くない。

USM の回転は、固定子と回転子の摩擦によって実現するので、摩擦による熱の発生と摩耗は避けられない。また、温度の上昇に従って、USM の回転トルクと回転速度はともに低下する。

(3) 高周波の駆動電源が不可欠となる。

USM には、数十 kHz、100V 程度の電圧が必要である。位相差（通常は 90°）をもつ 2 つの高周波電源が用いられるため、実際の応用に不便をもたらす。

(4) 価格が高い。

現在、USM の価格はまだ高い。USM の大量応用には不利である。

(5) 振動による影響がある。

USM は超音波振動によって駆動するため、周りの装置に振動を及ぼす問題がある。

4. 超音波モータの応用と展望

80年代に USM は初めて世に現れてから、その新しい動作原理、優れた特性で注目を浴びてきた。世界的にみれば、理論研究と開発応用のいずれでも、日本が進んでいる。研究論文と資料及び USM に関する特許（公表された特許）の調査によれば、その応用と研究の状況は次の通りである。

日本の新生工業会社の指田年生氏が 1981年に世界中で初めて USM の試作に成功した。そして翌年に「超音波振動を利用したモータ装置」というタイトルで、発明特許を申請した。これは USM に関する初めての特許申請である。

1983年、日本国内で USM に関する特許申請は 9つあった。その中、ソニー株式会社は「圧電モータ」という名で、日産自動車株式会社は「超音波モータ」という名で、オリンパス株式会社は「圧電形回転装置」という名でそれぞれ自社の USM に関する発明特許を申請した。

1984年にいたって、USM の特許申請は数十件に増加した。特許出願者も十数人に達した。日本で USM についての研究は全面的に展開されたと考えられる。この一年間 USM に関する特許申請には、各種類の新型 USM の特許申請のほかに、USM の応用に関する特許の申請も現れた。キャノン株式会社は初めて USM をカメラに応用し、それぞれ「光学駆動装置」、「カメラ等における絞り装置」および「振動波モータによる電動カメラ」など三つの特許を申請した。日本光学工業株式会社にも「ディスクカメラの自動フィルム送り装置」という特許申請を提出した。現在、USM はすでにキャノンのカメラ製品に大量に応用され、一か月における需要量は約 1.5 万～2 万個に達している⁴⁾。

1985年以来、USM に関する特許申請が続けて増加した。図 5 に日本での歴年来における USM に関する発明特許の申請件数を示す。

図 5 により、超音波モータに関する発表特許の申請件数は年毎に増加し、1991年と 1992年の間にピーク値に達したことがわかる。1993年に USM の特許の申請件数は減ったが、1994年の特許申請件数はまだ 397 件と多数ある。

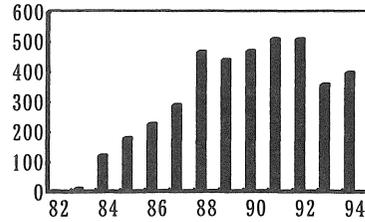


図 5 日本の歴年来における USM に関する発明特許の申請件数

USM の応用について、磯部昭二氏が 89年、90年に USM の特許申請について調べた結果によれば、カメラに応用したほかに、数多くの実用例があった。例えば、内視鏡、複写機およびプリンタの紙送り装置、カード搬送装置、電子時計、自動車部品、移動装置、家電製品、バルブ等である¹³⁾。

91年～93年に、USM 応用に関する特許の申請状況は付録を参照されたい。付録から、USM の応用研究はすでに幅広い分野に影響を及ぼした。例えば、扇風機、自動ドア、ロボット駆動装置、微動台、制御弁、光偏向器、画像入力装置、指示装置、X-Yステージ、ディスク駆動装置などである。

USM の応用については特許から調べたほかに雑誌、新聞にも数多くの紹介がある。例えば窓のカーテンを大量に生産している東曹（トソー）会社は 90年の春に USM を用いて、カーテンの巻き降ろしに応用した（IOTA2020）⁷⁾。この新型のカーテンは東京の新宿にある都庁に使われ、約 2000 個の USM が使われている⁴⁾。

西門子旭医療機械会社（東京）は三つの USM を MRI-CT の巻線調整装置⁸⁾に応用し、巻線に付属するコンデンサの容量の微調整を行った。MRI-CT には、2 T（テスラ）以上の強磁界があり、従来のモータはこの強磁界の環境で作動できない。かつ、調整中で巻線周りの磁界を計測する必要があるために、電磁気モータを用いたら、磁界が影響する。しかし、USM には磁極がなく、磁気ノイズもないので、CT での応用は特に適している。

METOPA 社は USM を「全自動古地磁気測定装置」に応用し⁹⁾、測定時にほかの磁界から影響を受けることがなかった。

三菱重工と新生工業との協力により、USM を原

子力発電所の高圧蒸気管の修理装置に応用し¹⁰⁾、作業効率を4倍向上した。

アイシン精機とトヨタ自動車の協力によって、USMを自動車の座席調整に応用し、ヘッドレストの自動調整を行う¹¹⁾。

広島大学と豊橋科学技術大学では、USMの義手の応用について研究している。愛知工業大学ではUSMを義手応用のほかロボットの直接駆動に応用する研究が行われている¹²⁾。

USMは優れた特徴を持ち、応用・研究も盛んに行われ、かつ応用の事例も数多くの特許申請および新聞に載せられている、新型モータの1種類としてのその商用価値は、動作原理の新しさ、性能の独特さとは別に、従来の電磁気モータが使えない場合で一席を占めることができるかどうかによって決まる。

超音波モータの特徴と近年の特許申請の状況に基づいて、USMが以下の分野で大量に応用される可能性が大きい。

(1) 工業制御の分野

USMは寸法が小さく、重さが軽く、回転トルクが大きく、低速回転できる、エネルギー密度が高く、電磁気ノイズはなく、構造の設計が便利であることにより、現在、工業制御分野で幅広く使われているサーボモータの代りに大量に使われる可能性がある。電動サーボモータの欠点は回転トルクが小さく、回転速度が速いことである。位置制御システムに応用する場合、低速回転と回転トルクを大きくするために、減速ギアを付ける必要がある。これは副作用をもたらす。例えば、駆動システムに対する反作用力、変位量に対する増幅効果、減速比が大きくなると雑音が生じるなど。これらの副作用はUSMの使用によって避けられる。

(2) 磁気ノイズに敏感な設備

USMが電磁気方式の動作ではないので、磁気ノイズの影響を受けない。かつ、外部へ磁気ノイズを出さない。このため、磁気メモリ装置での応用に適している。例えばビデオ、フロッピーディスク駆動装置、電子ビームの露光装置など。

(3) 直接駆動装置

USMの回転トルクが大きい特徴を生かして、直接駆動装置に応用できる。例えば自動車用ワイパー、自動ドアと電動窓、ロボット、電動義手および各種の精密機械の駆動装置。

(4) 平面紙送り装置

FAX、複写機、プリンターなどのOA機器に紙送り装置が不可欠である。従来の紙送り装置は体積が大きいため、小型化への障害の一つとなっている。このため平板振動による紙送り装置が現れた。実にこれはリニア超音波モータである。矩形板の振動体は同時に縦方向と曲面方向の振動を発生させ、表面の質点を楕円方向へ変位させる。紙は超音波リニアモータの可動部分の変わりに利用される。紙は振動体と紙面に押し付けられるローラの間で輸送される。このような紙送り装置の厚さは2~3cmしかない。

(5) 微動台装置

リニアUSMの1ステップの移動量は非常に小さく、ナノメートルオーダーに達することができる。そのために微動装置への応用に適している。例えば、X-Yステージ、電子顕微鏡、トンネル走査顕微鏡、回折格子の作製、光スペクトル分析装置の走査、天体星座の画像分析、高精度の変位計測など

(6) カメラ、ビデオ撮影機

USMはすでにEOSカメラで応用されている。今後、各種のカメラ、撮影機でさらに使われる可能性がある。日本のすべてのカメラの大手メーカーはともに数多くのUSMに関する特許申請をしている。この分野で、USMは主な駆動装置として使われる前兆ではないかと思われる。

5. おわりに

USMは機能材料、電子技術、自動制御、モータ製造など多分野の科学の総合発展によるものである。その独特な作動原理から、従来の電磁気モータにありえない性能を持たせた。ゆえにモータ家族の一員となる可能性が大きい。ただし、超音波モータが発明されてから、今まで、15年の歴史しかないため、数多くの問題の解決が待たれている。

理論的というと、USMの設計方法、技術特性の極限限界、制御対策の最適化、機-電変換効率のさらなる向上、寿命の延長などの問題の早期解決が待たれている。

材料からいうと、性能によりよい圧電材料、長寿命、低磨耗、高摩擦定数の摩擦材料および老化しにくい接合剤の開発が望まれている。

制御技術からいうと、最新の電子部品を用いて、

コンピュータ技術との結合により、効率の高い駆動電源の開発および安定度のよりよい共振周波数追跡回路、温度補正回路、速度制御回路、位置決め回路などの設計・開発が待たれている。

USMは研究・開発の段階から実際応用の段階へ転換する時期に面している。研究の一層の進展と各分野での応用の発展しつつあることに伴い、モータ家族の数多くのメンバーの中で、USMは必ず自分の席が見つけられる。

参考文献

- 1) H.V.Barth : IBM Tech. Disclosure Bull. 16, 7. (1973).
- 2) V.V.Lavrinenko , V.S.Vishnevski and I.A.Kartashev, "Bulletin of Keiv Polytechnical Institute Series ", Redio-Electron. 13 (1973)57.
- 3) 指田年生:超音波駆動モータの試作, 応用物理, 5(6), 713-720, (1982).
- 4) 秋山勇治:超音波モータ, 電学誌 111(7) P. 586, (1991).

- 5) EOS-5 カメラのカタログ
- 6) 超音波モータ原理解説書, SHINSEI, PP. 2-7.
- 7) 改良相次ぐ超音波モータ制御性の向上、電池駆動を目指し, NIKKEI MECHANICAL PP. 52-53, (1990.11.12).
- 8) 不断発展的超音波電機, 日本の科学と技術, PP. 39-44, (1991.5).
- 9) 全自動古地磁気測定装置, カタログ, METOBA Co. LTD.
- 10) 超音波モータ原発補修に活用, 日経産業新聞, (1990.8.17).
- 11) 青山陸朗:可動式ヘッドストレイント用超音波モータ, 自動車技術会学術講演会前刷集, 924. PP. 61-62, (1992.10).
- 12) 加藤厚生:位相制御による超音波モータのコンプライアント動作, 計測自動制御学会論文集, Vol 27. No 11, PP. 1290-1295, (1991).
- 13) 磯部昭二:超音波モータの研究(第一報), 工学院大学研究報告第72号, PP. 103-112, (1992. 4).
- 14) 成田秀樹:位相制御による超音波モータのコンプライアント制御, 修士論文, PP. 12-14, (1995).

付録:

超音波モータの応用における特許の一覧表 (1991-1993)

年	公開番号	発明の名称	出願人
91	2605	微動駆動機構と駆動制御方法	東芝(株)
91	9134	車両用圧電アクチュエータの駆動装置	日本電装(株)
91	18533	カード搬送装置	田村電機制作所(株)
91	22774	回転ヘッド装置	ソニー(株)
91	23466	画像形成装置	ブラザー工業(株)
91	32378	微小移動装置	ブラザー工業(株)
91	33386	車載電装品の駆動制御装置	アルプス電気(株)
91	40770	扇風機	ブラザー工業(株)
91	41390	微動機構	日本建機(株)
91	53192	位置決め装置	日本電気
91	53208	レンズ鏡筒	キャノン(株)
91	55606	微小位置移動装置	光技術研究開発(株)
91	82375	移動装置	松下電気産業(株)
91	86109	カーテン開閉機構	ブラザー工業(株)
91	118781	電動扉	ブラザー工業(株)
91	132083	精密位置決め方法及びその装置	東芝(株)
91	138241	シート送り装置	キャノン(株)
91	138512	測量機	ブラザー工業(株)
91	139180	超音波浮揚装置	キャノン(株)
91	142181	配管内自走ロボット駆動装置	ブラザー工業(株)
91	144063	床下収納庫	ブラザー工業(株)
91	145977	回転機	ブラザー工業(株)
91	146745	編機の駆動装置	ブラザー工業(株)
91	159582	圧電型振動子を用いる半導体集積回路	セイコーエプソン(株)
91	190574	超音波モータ駆動流路開閉弁	日産自動車(株)
91	200072	超音波モータを用いた指示計器	ピエゾテック(株)
91	233089	自動車のウィンド開閉装置	ブラザー工業(株)
91	243179	超音波搬送装置	ブラザー工業(株)
91	252505	走査型トンネル顕微鏡の微動機構	松下電気産業
91	256572	ワイヤドット式印字ヘッド	ブラザー工業(株)
91	256769	プリンター装置	キャノン(株)
91	261379	むかで歩行方法	日本電信電話(株)
91	293976	超音波モータ付ボール盤	東洋電機製造(株)
92	280	ポンプ機構	オリンパス光学工業(株)

92	281	微小スライド装置	オリンパス光学工業 (株)
92	4775	物体の移動装置	豊田中央研究所 (株)
92	4776	磁歪素子駆動装置	沖電気工業 (株)
92	19435	油圧緩衝器のエネルギー回収装置	キャバ工業 (株)
92	49139	紙送り装置	日本電気 (株)
92	54877	移動テーブル及びその駆動方法	日本電信電話 (株)
92	58769	圧電回転駆動装置	東芝 (株)
92	60286	制御弁	大阪瓦斯 (株)
92	69588	時計	セイコーエプソン (株)
92	71372	アンテナ回転台	日本電気 (株)
92	93603	走査型トンネル顕微鏡用走査ヘッド	富士通 (株)
92	101914	圧電素子駆動テーブル	エネテイエス (株)
92	102819	光偏向器	日本電気 (株)
92	109899	運動装置及びそれをを用いた光学的データ読み取り装置	日立製作所 (株)
92	109957	吐出装置	セイコーエプソン (株)
92	117186	高精度移動ステージ装置	ブラーザ工業 (株)
92	121720	カメラのシャッター機構	ミノルタカメラ (株)
92	129610	超音波振動付フライス盤	東洋電気製作 (株)
92	140074	直進送り装置	松下電気産業 (株)
92	146866	車両用制動装置	豊田自動車 (株)
92	163413	撮影レンズ鏡胴の回転駆動装置	ミノルタカメラ (株)
92	193076	定在波型超音波モータ及び定在波型超音波モータを有するアナログ式電子時計	セイコー電子工業 (株)
92	199116	光ビーム走査装置	松下電気産業 (株)
92	215003	走査型トンネル顕微鏡	松下電気産業 (株)
92	219483	流体移送装置	戸田耕司
92	225675	カラー画像読取装置	大日本スクリーン製造 (株)
92	226885	ロボット関節	ロックウエル (株)
92	244791	画像入力装置	日本電信電話 (株)
92	255476	指示装置	セイコーエプソン (株)
92	256534	微動X-Yステージ	富士通 (株)
92	259558	プリントヘッド	セイコーエプソン
92	271317	走査型ミラ	アイエネアール研究所 (株)
92	274952	圧電式プレーキ装置	日本電子電話 (株)
92	287065	画像形成装置	リコー (株)
92	346373	現像装置	リコー (株)
92	348203	走査型探針装置	東芝 (株)
92	502662	蛇口用制御弁と超音波モータの使用	おらず OY
93	4139	工作機械の被加工物設置装置	三菱電気 (株)
93	33877	切換弁	島津製作所 (株)
93	38171	減速機構内蔵の超音波モータ	東洋電機製造 (株)
93	58487	用紙搬送装置	田村電機製作所 (株)
93	73146	超音波モータを用いた小形移動装置	セイコー電子工業 (株)
93	87947	時計の回転ベゼル装置	カシオ計算機 (株)
93	87950	電子時計	カシオ計算機 (株)
93	105291	搬送装置	リコー (株)
93	107440	光学機器	キャノン (株)
93	122959	増速機構内蔵の超音波モータ	東洋電機製造 (株)
93	126518	微動装置及びそれをを用いた情報記憶及び/又は再生装置	キャノン (株)
93	147821	チャート送り機構	島津製作所 (株)
93	160970	読み取り機構	日本電気 (株)
93	184165	X-Yテーブル装置	オリンパス光学工業 (株)
93	210033	カメラシステム	オリンパス光学工業 (株)
93	232363	光学機器のレンズ駆動方法及び装置	キャノン (株)
93	258453	ディスク駆動装置	キャノン電子 (株)
93	278870	媒体搬送装置	沖電気工業 (株)
93	272038	丸編機用圧電式選計装置制御方式	ワックデータサービス (株)
93	273361	超音波モータ付電子機器	セイコー電子工業 (株)
93	275876	冷却装置	田村電機製作所 (株)
93	276609	超音波を用いた移動装置	セイコー電子工業 (株)
93	281170	アナログ電子時計	セイコー電子工業 (株)
93	294491	画像記録装置の駆動機構及び画像記録装置	キャノン (株)
93	296227	ボールジョイントの角度変更装置	川崎重工業 (株)
93	325475	カード型記録媒体	ティーディーケー (株)
93	340341	移動ロボット	富士通 (株)
93	344763	超高真空用超音波モータ駆動装置	日本電子エンジニアリング (株)