

# 超音波モータ

(1986年～現在)

超音波モータは、圧電素子<sup>注1)</sup>を使い電気エネルギーを機械エネルギーに変換する広い意味での圧電アクチュエータ<sup>注2)</sup>と考えられる。その原理は、圧電素子により振動体(ステータ)に超音波<sup>注3)</sup>振動を発生させ、摩擦力を介して移動体(ロータまたはスライダ)を駆動するものである。1986年に回転型の超音波モータがわが国で初めて実用化された<sup>1)</sup>。その主な特徴は電磁モータと比べ、低速で高トルクであり、起動や停止の応答性が良く、停止時に保持トルクを有し、さらに静粛性や磁気ノイズの発生がないことなどである。また、超音波モータは単純な形状の圧電素子を使い、構造が比較的単純で設計の自由度が比較的高いものの、振動や摩擦による摩耗など設計の難しい面もある。これまで多くの企業や大学などで研究や開発が行われ、数多くの様々なタイプの超音波モータが提案され実用化が進められている<sup>1)~3)</sup>など。

## 1. 製品適用分野

光学機器、精密機器、情報機器、医療機器、輸送用機器、住宅用機器、産業用機器ほか。

## 2. 適用分野の背景

従来、各種機器においては一般に電磁モータが使われている。しかし、各種機器の小型化や高精度化など、そしてさらに新しい機能を実現するために新しいアクチュエータも期待されている。なかでも、電気エネルギーから機械エネルギーへの変換機能を持つ圧電素子を使った圧電アクチュエータには注目が集まっている。

## 3. 超音波モータと圧電素子の特徴

図1, 2<sup>4)</sup>は1990年初めに一眼レフカメラのオートフォーカス(AF)レンズ駆動に実用化された回転型の超音波モータの例である。以下、圧電素子に多少着目し超音波モータの実用例を紹介する。

図1はリング状超音波モータであり、図1(a)のようにリング状のステータとロータからなる超音波モータである。ステータはリング状の金属に圧電セラミックスからなる圧電素子を接着している。圧電素子には図1(b)に示すようにA相とB相からなる電極パターンがあり、分極処理<sup>注4)</sup>により分極の極性が円周方向で交互に異なるようにしている。このような圧電素子のA相、B相にそれぞれ90°の位相の異なる高周波電圧を印加すると、所定の周波数でステータは共振<sup>注5)</sup>状態となる。この結果、図1(c)のようにステータに曲げ(たわみ)振動による進行波を発生させ、ステータに加圧されたロータが摩擦力により

回転する。

図2は棒状の超音波モータの例であり、図2(a)のように圧電素子を金属部品で締結したステータとロータからなる。圧電セラミックスは図2(b)のように円盤状で左右で分極の極性が異なり、A相、B相とも2枚一組で向きを換えて重ねている。このような圧電素子のA相、B相にそれぞれ90°の位相の異なる高周波電圧を印加すると、所定の周波数でステータは共振<sup>注5)</sup>状態となる。この結果、ステータの直交する2方向の曲げ振動により、図2(c)のようにステータの上部が首振り運動を起こし、加圧されたロータが摩擦力により回転する。なお、リング状、棒状ともステータとロータの摩擦面には、耐摩耗性のある硬質めっき処理や表面硬化処理がされている。また、後述するように、現在は棒状超音波モータの圧電素子は単板からモータ

Key-words : モータ, アクチュエータ, 圧電, 超音波, 圧電アクチュエータ

注1 ある形状を持った圧電材料に電極が付与された素子

注2 電気的なエネルギーを機械的な変位や力に変換するために圧電素子を利用したアクチュエータ

注3 可聴周波数帯域から上の約20kHz以上の高い周波数の音波や弾性波

注4 圧電材料に直流電圧を印加して、ドメインを再配列させて圧電性を発現させる処理

注5 振動体の固有振動数に外力の振動数が一致したとき、振動体の振幅が急激に増大する現象

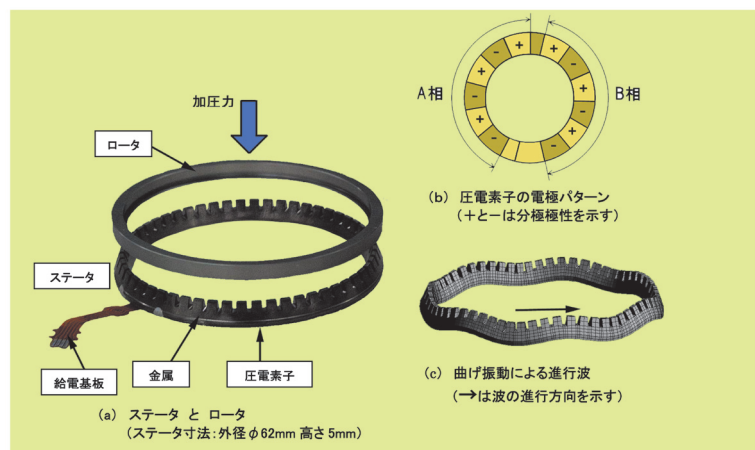


図1 リング状超音波モータ

(a) ステータとロータ：ステータはリング状の金属に圧電素子を接着し、ロータは加圧されステータに接触している。(b) 圧電素子の電極パターン：符号は分極の極性を示し、A相とB相に90°の位相のずれた高周波電圧を印加する。(c) 進行波：振幅は拡大して示している。曲げ振動より周方向に回転する進行波が発生する。

専用の積層圧電素子に替えている。

図3は一眼レフカメラの交換レンズの内部を示しており、図1、図2のそれぞれの超音波モータがその形状に応じて組み込まれている。本例のAF駆動用超音波モータを使った製品としての特徴は、高速の起動や停止、そして駆動のときの音の静かさなどである。

以上はほんの一例であり、多くの企業や大学などで様々な特徴をもった多様なタイプの超音波モータが提

案され、実用化が進められている。たとえば、回転型に対し直動(リニア)型、進行波型に対し定在波型、共振に対し非共振、形状がリング、円盤に対し平板などがある<sup>1)~3)</sup>など。その特徴は一般的に電磁モータと比べ、低速で高トルクであり、起動や停止などの応答性や制御性が良く、無通電時の停止時に保持トルクを有し、さらに、音の静かな静粛性や磁気の影響を受けずまた与えないことなどである。また、超音波モータは構造が比較的単純で小型・軽量化も容易で設計の自由度が高い反面、振動や摩擦による摩耗など難しい面もある。そして、個々のモータに適した電源・駆動回路や制御技術の検討も必要である<sup>4)</sup>。

#### 4. 圧電素子の製法

超音波モータに使用する圧電素子は板状や円板状で比較的単純な形状である。図4に圧電素子の製造工程の概略を示す。通常、組成はチタン酸ジルコン酸鉛に第三成分を添加した三成分系であり、仮焼後粉碎した粉末を焼結した圧電セラミックスが使用されている。そして、単板では乾式プレス成形や押出成形により成形・焼成し、銀の焼付けや金やニッケルの蒸着で電極付し、分極処理を行っている。超音波モータに適した圧電特性は、振動減衰が少なく機械的品質係数 $Q_m$ が大きく、かつ、電気機械結合係数 $k$ や圧電常数 $d$ なども比較的大きな圧電セラミックスが用いられている。また、機械的な強度も高く割れにくい圧電セラミックスも望まれている。さらに、最近では高出力化のため、高負荷時に低損失・低発熱特性である圧電セラミック

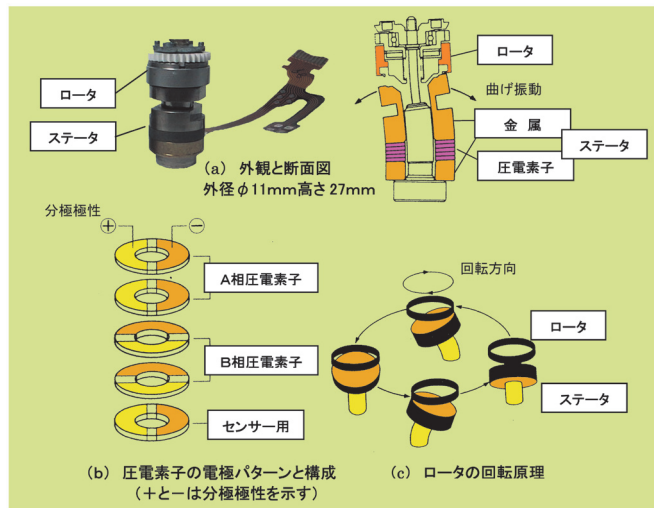
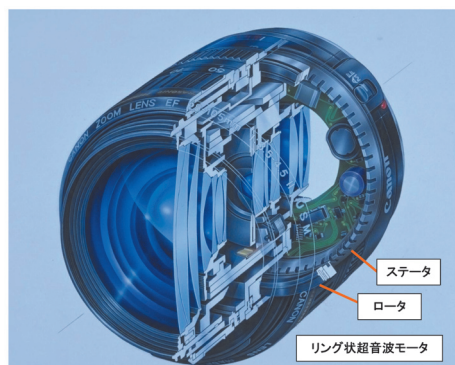
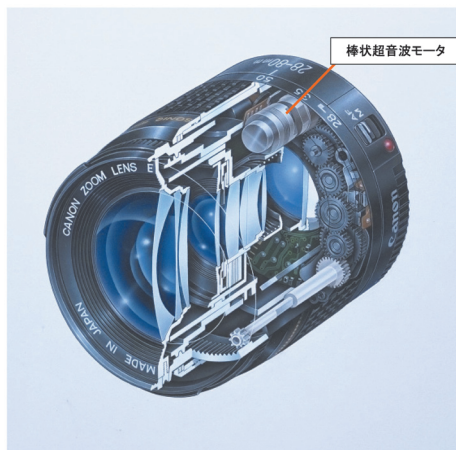


図2 棒状超音波モータ

(a) 外観と断面図：ステータは金属で圧電素子を締結し、ロータは加圧されステータに接触している。(b) 圧電素子の電極パターンと構成：符号は分極の極性を示し、A相とB相に90°の位相のずれた高周波電圧を印加すると、ステータ上部は首振り運動を起こす。(c) ロータの回転原理：首振り運動と加圧接触しているロータの回転を示す。



(a) リング状超音波モータ



(b) 棒状超音波モータ

図3 交換レンズ内の超音波モータ

(a) リング状はレンズ群の外側に配置されシンプルな構造で組み込みに適し、ダイレクト駆動が可能である。(b) 棒状はレンズ群の外側に配置されレンズの大きさに制約されずに組み込むことができる。

スも検討されている。

図2の棒状超音波モータでは、今までに図5に示すような専用の積層圧電素子に替え低電圧駆動を実現した。積層内部の電極パターンは4分割するなど、棒状超音波モータの駆動に適した電極パターンとその構成になっている<sup>5)</sup>。積層圧電素子の製造工程は、図4のように内部電極を印刷したグリーンシートを多数枚積層化し焼成した後に、分極処理を行い製造する。

## 5. 将来展望

超音波モータは実用化されすでに20年が経過しているが、これからも各種機器の特徴を活かし、そして新たな機能を生み出す様々なタイプの超音波モータの開発が期待される。ここで紹介したカメラAF駆動用は今もその生産は増えており、今後も低価格化を図りつつ小型化や高出力化を狙った開発と実用化を進める予定である。また、圧電素子もこうした超音波モータの進展により、超音波モータのニーズに合った特性や低価格化が実現できる製造技術の開発が望まれる。そして将来的には環境を配慮し非鉛化した圧電材料にも期待したい。

### 文献

- 1) 前野隆司, 日本ロボット学会誌, 21 No.1, 10-14 (2003).
- 2) 日本工業技術振興協会固体アクチュエータ研究部会編, “精密制御ニューアクトチュエータ便覧”, フジテクノシステム (1994) pp.825-1008.
- 3) マイクロマシン技術総覧編集委員会, “マイクロマシン技術総覧”, 産業技術サービスセンター (2003) pp.468-471.
- 4) 片岡健一, 電子技術 44(4), 日刊工業新聞社, pp.14-18 (2002).
- 5) 丸山裕, 小島信行, 奥村一郎, “2000 モータ技術シンポジウム”, 日本能率協会 (2000) pp.B2-2-1 ~ 8.

[連絡先] 丸山 裕  
キヤノン(株)製品技術研究所  
〒146-8501  
東京都大田区下丸子3-30-2

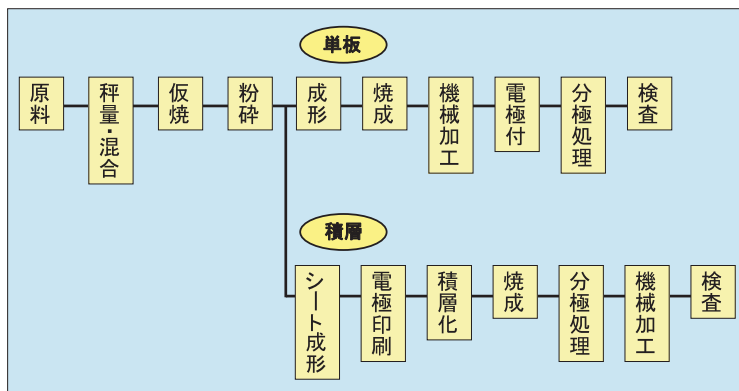


図4 圧電素子（単板と積層）の製造工程

単板は成形・焼成後に電極付、分極処理を行う。積層はグリーンシートに電極を印刷し積層化して焼成、その後分極処理を行い仕上げる。

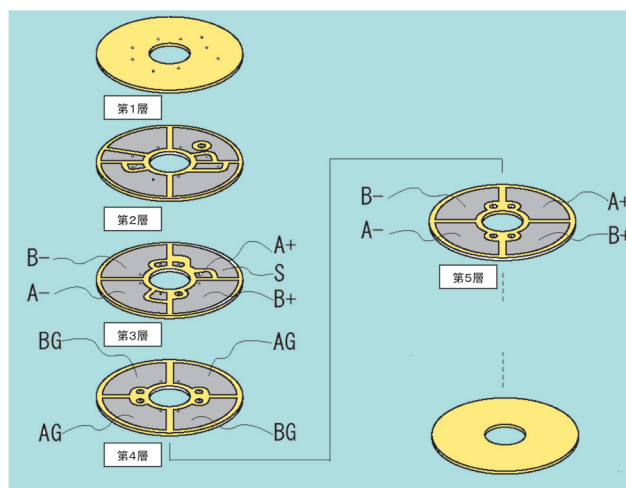


図5 棒状超音波モータ用積層圧電素子

各層の電極パターンと層の構成を示す。第4層/第5層以下は第4層/第5層と同じ電極パターンを多数層重ねて積層しており、第1層の表面からスルーホールを介して各電極に給電することができる。

基本的には4分割された電極パターンで、A相（電極A+と電極AG間の圧電層と電極A-と電極AG間の圧電層）と同じくB相（電極B+と電極BG間の圧電層と電極B-と電極BG間の圧電層）からなり、A+とA-で同じくB+とB-で分極の極性が異なるように分極している。この結果、ステータは直交する2方向の曲げ振動を起こすことが可能となる。なお、第3層の電極Sと第4層の電極AG間の圧電層は制御用センサーとして用いている。