

超音波モータの開発とその応用に関する研究

高野 剛 浩 (東北工業大学)

まえがき：超音波モータが実用のレベルに達してから 10 年余りが過ぎた。この間数多くの構成例が提案され試作特性例が報告されたが、現在実用に供されている超音波モータは比較的少ない。これは一口で言うなら動作の不安定さによるものであるが、体系的な超音波モータの動作解析法ならびに設計方法の確立が遅れていることにも一因があろう。しかしながら、各種精密機器や制御機器等の高性能化への高度な要求は、既存のアクチュエータやモータではその性能を十分に満足することができず、圧電アクチュエータや超音波モータへの期待も依然として強く、その特長を生かすべく地道な研究開発が行われている。本文では、我々の研究グループが開発した超音波モータを中心に最近の研究動向について報告する。

超音波モータ開発の現状：超音波モータは、動作原理の点からモード回転型（進行波型）モータと定在波型モータに分類される。モード回転型モータは、同形の縮退モードを 90° 位相の異なる入力で駆動し、合成された振動モードの回転を利用する構成である。円板（円環）と正方形振動子の面垂直振動と面内振動を利用した構成が報告されている。円板（円環）振動子をステータとしその面垂直振動を利用する構成は、すでに実用化され多くの分野で使用されている。一方我々は、円環振動子の面内振動である非軸対称振動を利用する構成について、円環振動子をステータとして利用する観点からその振動解析を行い、それに基づいてモータを試作しその特性例を報告したが、未だ実用の域には至っていない。これは円環の内周面と外周面から駆動力を取り出すという構造の不安定さによるものと思われるが、非軸対称振動は外周面の振動速度が非常に大きいモードであり、さらに薄型構造に適するなどの特長を有しているので、ロータやスライダの押し付け型構造のような簡単な構造で、その特長を生かす構成が再考されるべきであろう。

定在波型モータは、駆動方法から単相駆動型構成と 2 相駆動型構成に分類される。前者は、縮退する 2 つの共振モードを同相すなわち単相で駆動する構成で、正逆回転は駆動端子の切り替えによって行う。縮退モードは同形、異形どちらでも良く、我々の研究グループによっていくつかの試作特性例が報告されている。代表的なのは円板の面垂直振動 B_{13} あるいは B_{14} モードを利用する構成で、直径 60mm のステータ振動を用いて最大トルク 4.5[kgf-cm]、最大効率 31[%]で、ほとんど同じ正逆回転特性を持つモータが試作されている。また、このタイプのステータ振動子は点在する櫛歯を有しており、この櫛歯を巧みに利用することによりオープンループで角度制御が可能な、自己補正型ステッピングモータとして利用できることも確かめている。単相駆動型構成は駆動制御系まで含めると、モータの小型化に有利であり、この特徴を生かして直径 8mm と 4mm のモータが、ウォッチのサイレントアラームや日車の駆動用として実用化されている。さらに自励振駆動構成の有利さもありミリサイズからマイクロモータへの展開が期待されている。

定在波型構成で 2 相駆動の代表的な構成は、円柱の縦一振り振動、平板の縦一屈曲振動、円環の径方向対称伸び振動—非軸対称振動を利用するモータである。平板振動子を用いる構成は振動子の単純さから、いくつかのモードの組み合わせが用いられ駆動力の取り出し方によって、回転型モータや直線移動型モータとして実用に供されている。円環振動子の対称振動(R,1)モードと非軸対称振動((1,1))モードを用いる構成は、未だ実用には至っていないが動作が安定で高効率なモータが構成できるので、いくつかの分野で実用化研究が行われている。特に、新しく提案された周波数調整法は共振周波数の微調整に加えて非軸対称振動のモードの安定化にも寄与するものと考えられ、直径 40mm の圧電セラミックスを用いた直線移動型モータでは、無負荷速度 50cm/s、最大効率は 50%に近い試作例を報告している。

あとがき：超音波モータの特徴は、低速、高トルク、制御性の良さなどが挙げられており、この特徴を生かした応用分野が着実に広がっている。摩擦駆動に起因する動作の不安定さ、汎用的な動作解析、設計手法の確立など今後解決を急がなければならない問題も多いが、高振動速度用圧電セラミックス材料や摩擦材料の研究開発と相伴って、高度な要求に応え得る圧電アクチュエータと超音波モータの開発に取り組まなければならない。