積層型圧電素子と波動歯車装置の原理を利用した 共振型圧電モータの構造と特性

正 員 石田 宗秋 (三重大) 正 員 清水 拓也 (三菱電機)
学生員 小松 聡 (三重大) 正 員 堀 孝正 (三重大)

Structure and Characteristics of Resonance Type Piezoelectric Motor Utilizing Multilayer Type
Piezoelectric Devices and Principle of Strain Wave Gearing
Muneaki Ishida, Member(Mie University), Takuya Shimizu, Member(Mitsubishi Electric)
Satoshi Komatsu, Student Member, Takamasa Hori, Member(Mie University)

キーワード：波動歯車装置の原理，進行波，積層型圧電素子，圧電モータ，共振駆動

1. まえがき

近年、小型軽量のモータ、アクチュエータとして様々な非電磁型の新型モータの開発研究が、各所でなされている。

筆者らは、これまで低速大トルク特性を有する圧電モータの大出力化を目指し、大型の積層型圧電素子と波動歯車装置の原理を組み合わせた構造のモータを試作し、その特性について検討してきた⁽¹⁾。しかし、従来の試作機は非共振で、可変周波数駆動を行っていたために、大トルクは得られたが、駆動電圧が高く、回転速度は非常に低かった。

本研究開発レターでは、共振による機械的振動を利用して低電圧駆動で高速化をねらった共振型圧電モータ⁽²⁾について報告する。

2. 基本構造及び動作原理

本モータは屈曲と波動歯車装置の原理による進行波を利用して回転する。

図1 共振型圧電モータRPM-6の構造

Fig.1 Structure of resonance-type piezoelectric motor RPM-6

図1に共振型圧電モータ試作機(RPM-6)の構造を示す。(a)の右半分はロータ(CS)をのせた状態、左半分は取り除いた状態の図である。(b)の右半分は表面図、左半分は断面図である。

本モータの特徴である波動歯車装置の基本構成はカップ状の金属弾性体(フレクスプライン、FS)、回転可能な金属剛体(サーキュラスプライン、CS)、そしてFSを変形させるウェーブジェネレータからなる。将来のモータの小型化を念頭におき、FSの下にウェーブジェネレータとして積層型圧電素子を配置した。FSの進行波発生部は図1(b)のように斜めになっているので、鉛直方向の変位は水平方向の変位に変換される。圧電素子に多相交流電圧を印加すると、FS開口部が変形し、その変形が円周上を回転する。これが、波動歯車装置の原理による進行波である。

さらに、FSを機械的に共振させると接触面の変位の鉛直成分が大きくなり、屈曲による波が発生する。このようにして波動歯車装置の原理と機械的共振とによって、大振

図2 印加電流のシーケンス

Fig.2 Sequence of applied currents

幅の進行波が形成され、このFS（ステータ）の上にCS（ロータ）を乗せると進行波と逆方向にロータが回転する。

3. 実験結果

本実験では、モータを4相駆動し特性を調べた。図2に圧電素子への印加電流のシーケンスを示す（圧電素子は同じ番号のもの3個を並列にしている：図2(a)）。この時、FSの変形はおむすび状（図2(b)）となり、進行波の波数は3となる。

3.1 無負荷回転速度特性 RPM-6を無負荷で駆動した場合の無負荷回転速度特性を図3に示す。 $I=3[A]$ 印加時（この時電圧波高値は10V程度）に最大50.4[rpm]の回転速度が得られた（共振周波数は13.4[kHz]）。以前の摩擦型圧電モータ⁽¹⁾では、駆動電圧100[V]の時、最大回転速度は6[rpm]だったので、かなり改善されたと言える。

図3 無負荷回転速度—印加周波数特性

Fig.3 Characteristics of rotational speed vs. applied frequency

3.2 トルク特性 $I=3[A]$ の電流を、共振周波数で印加した時の回転速度—トルク特性を図4に示す。また本モータでは、CSとFSとの接触面での摩擦力がトルクに寄与するので、CS上面に与える加重を変化させ実験を行った。

図4 回転速度—トルク特性

Fig.4 Characteristics of rotational speed vs. torque

CS上面への加重が2.8[kgf]の時、最大トルク0.16[N·m]（この時の回転速度は12.5[rpm]）が得られた。摩擦型圧電モータ⁽¹⁾では、駆動電圧100[V]で最大トルク1.4[N·m]が得られたが、RPM-6では、摩擦型圧電モータと比べ10

分の1程度の電圧で駆動しているので、トルクは減少している。

グラフより、CS上面に加える加重がある程度大きくなるとトルクは大きくなる傾向にあるが、実際には加重あるいはトルクが大きくなるにつれて、FSの変形及び進行波の接線方向の働きが抑えられるために回転速度が減少していくのが認められる。

4. むすび

共振型圧電モータRPM-6を試作し、最大回転速度50.4[rpm]、最大トルク0.16[N·m]を得た。しかし、本モータは多数の圧電素子を用いるため、素子を固定するネジの剛性や締め方のバラツキによって、一様で強力な進行波の形成が難しく、このために十分なトルク特性が得られていないと考えられる。

今後、素子の固定方法、進行波発生部の構造などさらに検討していく必要がある。

（平成6年5月9日受付）

文献

- (1) 白須賀、石田、堀：波動歯車装置の原理を応用した摩擦型圧電モータの構造と動作機構。電気学会論文誌D, Vol. 112-D, No. 8, pp. 747-754, (1992.8)
- (2) 清水、小松、石田、堀：積層型圧電素子を用いた共振型圧電モータのトルク特性。平成6年電気学会全国大会No. 890

小松 聡（学生員）1994年3月三重大学工学部電子工学科卒業。同年4月同大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程入学、現在に至る。

清水 拓也（正員）1994年3月三重大学大学院工学研究科電気工学専攻修了。同年4月、三菱電機に勤務、現在に至る。

石田 宗秋（正員）1952年4月12日生。80年3月名古屋大学大学院工学研究科電気、電子工学専攻博士課程修了。同年4月同大学工学部電気工学科助手。87年6月三重大学工学部電気電子工学科助教授、現在に至る。

堀 孝正（正員）1938年10月30日生まれ。61年3月大阪大学工学部電気工学科卒業。同年4月㈱日立製作所入社。87年1月三重大学工学部電気電子工学科教授、現在に至る。