

遺伝的アルゴリズムを用いた多自由度超音波モータの設計方法

Design method of a Multi-Degree-of-Freedom Ultrasonic Motor Using Genetic Algorithm

○非 田蔵 淳史 (慶大) 正 前野 隆司 (慶大)

Astushi Tazo, Keio University, ft021254@hc.cc.keio.ac.jp

Takashi Maeno, Keio University

The purpose of this research is to develop the design method that can design various types of MDOF Ultrasonic Motors, resolving problems of conventional designing method. We decided to adopt the genetic algorithm considering the features of designing a MDOF Ultrasonic Motor. The decision variable are the shape of the vibrator and the vibration modes to drive it. We set evaluation functions considering designing conditions of a MDOF Ultrasonic Motor. We confirmed that the plate type MDOF Ultrasonic Motor designed by this designing method has ability to realize 3-degree-of-freedom movement that is more efficient than the conventional one. Therefore we showed the possibility that this designing method is useful for designing of any types of MDOF Ultrasonic Motor.

Key Words: ultrasonic motor, multi-degree-of-freedom, genetic algorithm, design, finite element method

1. 背景および目的

多自由度アクチュエータは、単一のアクチュエータによって多自由度運動を実現できる。このため、機械システム全体の小型化および軽量化が期待できる。多自由度超音波モータは、低速高トルク・電磁ノイズレス・ハイレスポンスといった特徴を有するため、盛んに研究が行われている。しかし、多自由度超音波モータは、従来、設計者の試行錯誤によって設計されてきたため、以下に示す問題点がある。まず、多自由度超音波モータの設計は、設計条件を複数有する設計問題であり、また、設計条件を定式化した目的関数が非線形性を有することから、設計者に熟練が求められる。さらに、他の形状や他の振動モードを用いた場合との十分な比較がなされていないため、得られた解が局所解に留まっている可能性が高い。加えて、求められる形状によっては、複雑な振動モードを組み合わせなければならず、人為的な設計が困難である。このため、本研究では、様々なタイプの多自由度超音波モータが設計可能であり、前述の問題点を解消する設計方法を構築するとともに、その妥当性を確認することを目的とする。

2. 設計方法

設計方法を構築するにあたり、多自由度超音波モータの設計が多目的最適化問題であること、また、非線形問題であること、そして、解空間が広く、多峰性を有する問題であることを考慮する必要がある。このため、このような特徴を有する問題に対して有用性が確認されている遺伝的アルゴリズムを本設計方法における最適化手法として用いることとした。超音波モータでは、各接触部の振動方向が直交する縮退した2つの固有振動モードを $\pi/2$ radの位相差を持たせて励振することにより、振動子の接触部に楕円軌道の周期運動を生成し、摩擦力を介して移動子を駆動する。したがって、図1に示すように、接触部に運動方向の異なる楕円運動を複数発生させることにより、多自由度運動を実現することが可能となる。このため、次の6つの設計条件を満たすように評価関数を設定した。

- 1) 組み合わせる固有振動モードの固有振動数が等しい
- 2) 組み合わせる振動モードにおいて、各接点の変位ベクトルが直交する

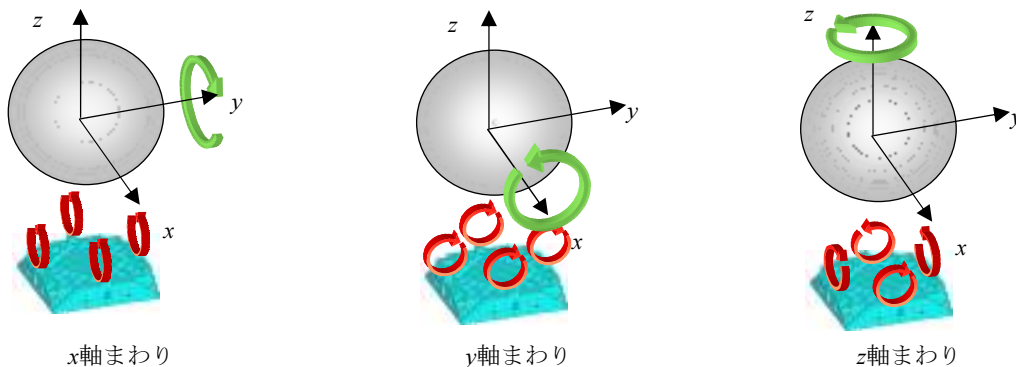


Fig.1 the example of the movement to realize 3DOF movement

- 3) 全接触点における楕円軌道の回転方向が一致する (x 軸および y 軸まわりの駆動)
- 4) 接触点における楕円軌道の回転ベクトルが全て内側もしくはすべて外側を向く (z 軸まわりの駆動)
- 5) 各接触点における楕円軌道の回転ベクトルの z 軸成分が 0 である
- 6) 各接触点の振幅が大きい

本設計方法における決定変数は、多自由度超音波モータの振動子形状およびその駆動に用いる固有振動モードとする。遺伝的アルゴリズムにおける各個体の表現型は、遺伝子に応じて作製される超音波モータの振動子部分の有限要素モデルとする。計算の流れは以下の通りである。有限要素モデルに対して有限要素解析を行い、固有振動数および変位ベクトルを読み込む。解析した振動モードのすべての組み合わせをそれぞれ評価し、最もよい振動モードの組み合わせにおける評価値を、個体の評価とする。以上の解析を指定した個体数まで繰り返す。この個体の集団に対し、遺伝的操作を加え、次世代の集団を生成する。以上の手順を終了条件が満たされるまで繰り返す。

3. 設計

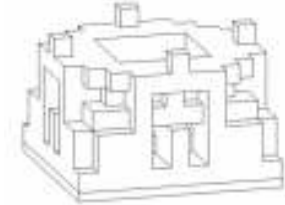
構築した設計方法を多自由度超音波モータに適用した。設計対象は、設計者による試行錯誤的な設計が困難であると考えられる平板状多自由度超音波モータとした。また、平板状多自由度超音波モータの用途は様々であり、用途に応じて設計の難易度が異なる。このため、用途および難易度を考慮し、本研究では 2 自由度平板状超音波モータおよび 3 自由度平板状超音波モータの 2 つを設計することとした。

個体数を 250、各個体に対して解析する振動モードを 20、終了条件を 200 世代として設計を行った。選択・淘汰の戦略としてルーレット選択、スケージング、パレート保存戦略を採用した。交叉には多点交叉を採用した。探索の結果、前述の設計条件を満たす振動子形状を求めた。設計した振動子形状を図 2 に示す。次に、2 自由度平板状超音波モータの振動特性を表 1 に示す。また、表 2 に、3 自由度平板状超音波モータにおいて従来の振動子と本設計方法を用いて設計した振動子の振動特性の比較を示す。

表 1 より、提案する 2 自由度平板状超音波モータの振動子が設計条件をほぼ満たしていることがわかる。また、表 2 より、提案する 3 自由度平板状超音波モータの振動子の振動特性は、固有振動数の差を除く全ての項目において、従来の振動子よりも優れた値を示すことがわかる。なお、一般に超音波モータは固有振動数の差が 650Hz 以下であれば十分駆動可能であることが知られている。したがって、設計した振動子形状は従来の振動子形状に比べ、優れた振動特性を有しているといえる。



(a) 2DOF Ultrasonic Motor



(b) 3DOF Ultrasonic Motor

Fig.2 the shape of vibrator

Table1 the vibration feature of the 2DOF Ultrasonic Motor

	x 軸回り	y 軸回り	理想値
振動方向 のなす各 (deg)	82±1	77±8	90
回転ベクトル のなす角(deg)	8±5	17±6	0
楕円軌道の傾き(deg)	89±1	89±1	90

Table2 the comparison of the 3DOF Ultrasonic Motor

	従来の 振動子形状	提案する 振動子形状	理想値
振動ベクトル のなす各 (deg)	64±27	79±7	90
回転ベクトル のなす角(deg)	56±79	7±4	0
楕円軌道の傾き (deg)	52±9	63±8	90

4. 結論

遺伝的アルゴリズムを用いた多自由度超音波モータの設計方法を構築した。構築した設計方法を平板状多自由度超音波モータに適用し、設計条件を満たす形状を設計した。また、設計した平板状多自由度超音波モータの振動子は従来の振動子よりも優れた振動特性を有することを確認した。以上より、構築した設計方法の有効性を示した。

文献

[竹村 97] 竹村研治郎：多自由度超音波モータの開発，慶応義塾大学 学士論文，1997