

非鉛化可能な定在波屈曲振動板による
新しい非接触駆動方式の超音波モータの検討

山形大学工学部技術部
計測技術室 山吉康弘

1. まえがき

筆者が1991年に実現した非接触型超音波モータは、円周方向の屈曲進行波を励振した円板形の超音波振動子から放射された音波の作用により、ロータがステータと接触しないで回転動作するモータであり、トルクは小さいが高速回転が可能で、磁界の影響や摩擦がない。ステータとロータは接触していないため、振動変位の減少によって相対的に大きくなる表面粗さの影響を受けないため、小型化に適しており、また、ステータの振動速度よりも大きな移動速度が実現できるため、摩擦駆動方式の超音波モータには適応できない、新たな応用分野を開拓するものとして期待される。

しかし、従来の非接触型超音波モータでは、同型縮退振動を利用して屈曲進行波を励振する必要があったため、等方性材料で、かつ円形に加工が容易な圧電セラミックスをステータに利用していたが、その多くは特定有害物質の使用の制限を求めるRoHS指令の規制対象である鉛を含んでいる。そこで、本研究では、定在波屈曲振動円板を用いた、新しい非接触駆動方式の超音波モータを試作し、その動作検証を行うことによって、非鉛化可能な圧電単結晶を用いた非接触超音波モータの実現の可能性を得ることを目的としている。

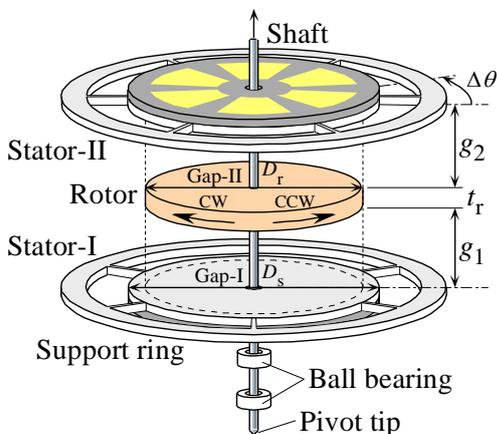


図1 定在波屈曲振動円板を用いた非接触型超音波モータの構造

2. 研究成果報告概要

図1に、試作した非接触型超音波モータの構造、また、図2に回転速度特性の測定結果を示す。下部ステータ-Iと上部ステータ-IIをそれぞれ単独で定在波駆動した場合、ロータはほとんど回転しないが、2つのステータに位相差 $\Delta\phi$ が 90° の電圧を印加して同時に定在波駆動すると、ステータの位置角度差 $\Delta\theta$ が 0° 以外でロータの非接触回転が実現でき、振動姿態の円周方向の周期の $1/4$ の角度に相当する $\Delta\theta = \pm 30^\circ$ で正逆方向に最大の回転速度が得られた。一方の駆動電圧の位相を反転させると、ロータが逆回転した。また、従来の屈曲進行波を利用した非接触型超音波モータよりも、広いギャップ長の範囲で高速回転が得られた。有限要素法を用いてギャップ内の音場解析を行った結果、ステータを単独で駆動した場合、ロータの上下のギャップ内に互いに逆位相の定在波音場が発生し、2つのステータを駆動すると同一円周方向に回転する進行波音場が発生した。解析で得た音場の進行方向は、実験で観測されたロータの回転方向と一致した。本研究の成果による研究発表リストと研究遂行の過程で得られた知見の関連成果の発表リストを以下に示す。詳細な成果内容は資料を参照されたい。

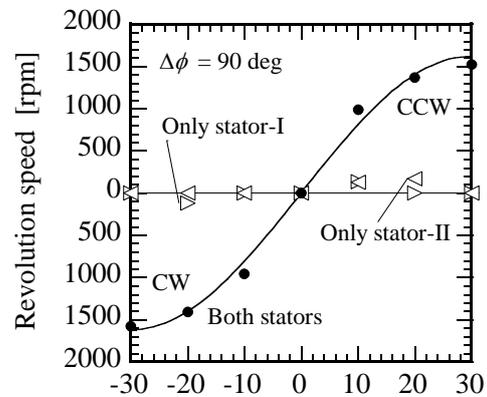


図2 ステータの位置角度差に対する回転速度特性の測定結果

3. まとめ

本研究では、定在波屈曲振動円板を用いた、新しい非接触駆動方式の超音波モータを試作し、その非接触回転動作を実現した。2つのステータを円周方向にずらして配置し、位相差をつけて同時に定在波駆動すると、ロータの非接触回転が得られた。本研究で実現した超音波モータは、縮退振動を必要としないことから、非鉛化可能な圧電単結晶を用いた非接触超音波モータの実現の可能性を得ることができた。

4. 成果発表リスト

- [1] 山吉康弘, 椎名潤, 田村英樹, 広瀬精二, "定在波屈曲振動円板を用いた非接触型超音波モータ", 第26回強誘電体応用会議, 29-P-8, pp. 101-102, 京都, 2009.5.29.
- [2] Y. Yamayoshi, H. Tamura, and S. Hirose, "Optimum Design for Noncontact Ultrasonic Motor with Flexurally Vibrating Disk Using an Equivalent Circuit Considering Viscosity of Air", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 48, No. 7 (2009) 07GM08-1-8.
- [3] 山吉康弘, "定在波型非接触超音波モータの特性と有限要素法による圧電一構造一音響連成解析", 平成21年度山形大学工学部技術発表会要旨集, pp. 21-24, 2009.9.11.
- [4] 山吉康弘, 田村英樹, 広瀬精二, "屈曲振動円板を用いた非接触型超音波モータの特性とその理論解析", 日本音響学会2009年秋季研究発表会, 1-Q-8, pp. 1263-1266, 郡山, 2009.9.15.
- [5] 山吉康弘, 椎名潤, 田村英樹, 広瀬精二, "定在波屈曲振動円板を用いた非接触型超音波モータの有限要素法による音場解析", 日本音響学会2009年秋季研究発表会, 1-Q-9, pp. 1267-1270, 郡山, 2009.9.15.
- [6] Y. Yamayoshi, J. Shiina, H. Tamura, and S. Hirose, "Noncontact Ultrasonic Motor with Two Flexural Standing Wave Vibration Disks", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 48, No. 9 (2009) 09KD10-1-5.
- [7] 山吉康弘, 椎名潤, 田村英樹, 広瀬精二, "定在波屈曲振動円板を用いた非接触型超音波モータの特性と有限要素法による音場解析", 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 109, No. 213, US2009-40, pp. 13-18, 登別, 2009.9.29.
- [8] Y. Yamayoshi, J. Shiina, H. Tamura, and S. Hirose, "FEM Analysis of Sound Fields in Gaps of noncontact ultrasonic motor with flexural standing wave vibration disks", *Proc. The 30th*

Symposium on Ultrasonic Electronics, Kyoto (Japan), 1P4-11, 2009.11.18.

- [9] 山吉康弘, 椎名潤, 田村英樹, 広瀬精二, "定在波屈曲振動円板で駆動する非接触型超音波モータのギャップ内音場強度の測定", 日本音響学会2010年春季研究発表会, 3-Q-22, pp. 1387-1390, 東京, 2010.3.10.
- [10] Y. Yamayoshi, J. Shiina, H. Tamura, and S. Hirose, "Sound Field Characteristics in Air Gaps on Noncontact Ultrasonic Motor Driven by Two Flexural Standing Wave Vibration Disks", *accepted to Japanese Journal of Applied Physics*.

5. 関連発表リスト

- [11] 樋口拓也, 広瀬精二, 山吉康弘, 田村英樹, "単結晶 LiNbO_3 の正方形板 2×2 次ラームモード利用圧電トランスに関する基礎的検討", 日本音響学会2009年秋季研究発表会, 1-Q-2, pp. 1243-1244, 郡山, 2009.9.15.
- [12] 渡辺徹也, 広瀬精二, 山吉康弘, 田村英樹, "圧電振動子の大幅共振特性測定システムにおける安定性向上についての検討", 日本音響学会2009年秋季研究発表会, 1-Q-5, pp. 1251-1254, 郡山, 2009.9.15.
- [13] 伊藤慧太, 田村英樹, 山吉康弘, 広瀬精二, "圧電振動子の大幅連続駆動に関する一検討と計測システム", 日本音響学会2009年秋季研究発表会, 1-Q-6, pp. 1255-1258, 郡山, 2009.9.15.
- [14] 諸岡孝憲, 田村英樹, 山吉康弘, 青柳学, 高野剛浩, 広瀬精二, "モード結合 LiNbO_3 単結晶モータの辺比条件による特性差", 日本音響学会2009年秋季研究発表会, 1-Q-7, pp. 1259-1262, 郡山, 2009.9.15.
- [15] 田村英樹, 青柳学, 山吉康弘, 高野剛浩, 広瀬精二, "モード結合型 LiNbO_3 単相駆動超音波モータの振動子辺比による特性について", 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 109, No. 213, US2009-39, pp. 7-12, 登別, 2009.9.29.
- [16] 伊藤慧太, 田村英樹, 土信田豊, 山吉康弘, 広瀬精二, "大幅連続駆動方式の計測環境について - 圧電振動子の大幅駆動計測(2) -", 日本音響学会2010年春季研究発表会, 3-Q-18, pp. 1375-1378, 東京, 2010.3.10.
- [17] 田村英樹, 諸岡孝憲, 山吉康弘, 青柳学, 高野剛浩, 広瀬精二, " LiNbO_3 矩形板単相駆動モータの結晶第二回転角による特性差", 日本音響学会2010年春季研究発表会, 3-Q-21, pp. 1383-1386, 東京, 2010.3.10.