

非接触型超音波モータにおけるギャップ空間の  
音響インピーダンス測定システムの構築

山形大学工学部技術部  
基盤技術室 山吉康弘

1. まえがき

筆者が世界で初めて試作に成功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。トルクは小さいが高速回転が可能で、磁界の影響を受けず、摩擦が全くない。また、ステータとロータは接触していないため、従来の摩擦力を利用した超音波モータのように小形化による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ず、小形化に適している。この非接触型超音波モータでは、ステータの振動によってステータとロータとの間のギャップ空間に高い音圧の音場が励起されたときに高い回転速度が得られる。その際、ギャップ空間の音場はステータに対して音響負荷となることから、ギャップ空間の音響インピーダンスを実測しモータ特性との関係を明らかにすれば、ステータの振動とギャップ空間の音場形成との関係が定量的に評価でき、ステータの振動がギャップ空間内の音場形成に効率よく寄与できる最適な構造を明らかにできると考えられる。

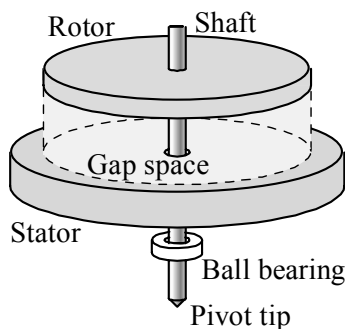


図1 非接触型超音波モータの基本構造

本研究では、非接触型超音波モータの最適構造を明らかにするために、ステータとロータ間のギャップ空間の音響インピーダンスを測定するシステムを構築することを目的としている。

2. 研究成果中間報告概要

図1に非接触型超音波モータの構造を示す。ステータに円周方向の屈曲進行波を励振すると、ロータが屈曲進行波と同じ方向にステータと非接触で回転する。図2はステータの駆動電気端子から見た等価電気回路であり、 $Z_g$  がギャップ空間の等価電気音響インピーダンスである。電気端子から、ロータがある場合と、ロータがない場合のステータのアドミタンス特性を測定し、両者の差分をとることにより $Z_g$ を算出することができる。本研究では、インピーダンスアナライザ(YHP 4192A)で計測したアドミタンス特性のデータを、GPIB 経由でコンピューターに取得し、数値解析ソフト(MATLAB, Mathcad)によって演算処理して、 $Z_g$ を算出するシステムを構築した。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。

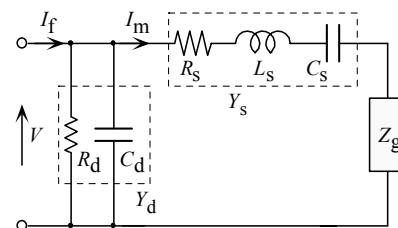


図2 ステータとギャップ空間の等価電気回路

### 3. まとめ

本研究では、非接触型超音波モータにおけるギャップ空間の音響インピーダンスを測定するためのシステムを構築した。音響インピーダンスは、ステータの誘電体損失( $R_d$ )を考慮して[1], 求めることができる。非接触型超音波モータの回転速度特性は、ギャップ長が狭い場合、空気の粘性の影響を強く受ける[5]が、空気の粘性効果を考慮した等価回路[2-4]を用いると最適設計が可能である[8]。その等価回路を用いて解析した音響インピーダンスを、本システムで実測した値と比較した結果、ギャップ長が狭い場合には両者は比較的良く一致した[6]。ギャップ長が広い場合、両者に差が生じたが、その原因は、ロータ外周部からの音響洩れの影響であると予想された[6]。そこで、音響洩れを考慮した有限要素法解析によって音響インピーダンスを求め、実測値や等価回路解析値と比較することにより、音響インピーダンスに対する空気の粘性と音響洩れの影響を分離して検討した[7]。ギャップ長が狭い場合には、音響洩れは少なく、空気の粘性効果が支配的であるが、広い場合には音響洩れが大きくなり、その影響によってギャップ空間の音圧とモータ特性が低下することがわかった[7]。

### 4. 成果発表リスト

- [1] 山吉, "2つの共振モードが近接した圧電振動子の等価回路定数算出法の開発", 平成20年度山形大学工学部技術発表会要旨集, pp. 31-34, 2008.9.5
- [2] 山吉, 田村, 広瀬, "非接触型超音波モータにおける空気の粘性効果を考慮したギャップ空間の等価回路によるギャップ長の影響の検討", 日本音響学会2008年度秋季研究発表会, 2-Q-23, pp. 1443-1446, 2008.9.11
- [3] 山吉, 田村, 広瀬, "粘性効果を考慮した音圧の等価回路解析による屈曲振動円板を用いた非接触型超音波モータの最適設計の検討", 日本音響学会2008年度秋季研究発表会, 2-Q-24, pp. 1447-1450, 2008.9.11

- [4] 山吉, 中川, 田村, 広瀬, "屈曲振動円板を用いた非接触型超音波モータのギャップ長を考慮した最適設計", 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 108, No. 212, US2008-38, pp. 35-40, 2008.9.25
- [5] Y. Yamayoshi, T. Nakagawa, H. Tamura and S. Hirose, "Effects of gap distance on revolution speed of non-contact type ultrasonic motor using flexurally vibrating disk", Proc. The 29<sup>th</sup> Symposium on Ultrasonic Electronics, 3P8-28, pp. 507-508, 2008.11.13, Sendai (Japan).
- [6] 山吉, 田村, 広瀬, "非接触型超音波モータにおけるギャップ空間の音響インピーダンスの測定", 圧電材料・デバイスシンポジウム2009, G-1, 2009.2(発表予定)
- [7] 山吉, 田村, 広瀬, "非接触型超音波モータにおけるギャップ空間の音響インピーダンスの特性", 日本音響学会2009年度春季研究発表会, 1-Q-33, 2009.3(発表予定)
- [8] Y. Yamayoshi, H. Tamura and S. Hirose, "Optimum design for non-contact type ultrasonic motor using flexurally vibrating disk by equivalent circuit considering viscosity of air", Japanese Journal of Applied Physics (submitted).

### 5. 関連発表リスト

- [9] 田村, 山吉, 広瀬, "圧電振動子ハイパワー計測のための制動アドミタンス消去方法に関する一検討", 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 108, No. 212, US2008-37, pp. 29-34, 2008.9.25
- [10] 中川, 山吉, 田村, 広瀬, "屈曲振動円板を用いた非接触型超音波モータにおける回転速度特性のギャップサイズ依存性の測定", 第51回自動制御連合講演会, 529, pp. 894-897, 2008.11.23
- [11] 田村, 山吉, 青柳, 高野, 富川, 広瀬, "単相駆動LiNbO<sub>3</sub>超音波モータの電極パターンニングによる結合モード特性の改善", 圧電材料・デバイスシンポジウム2009, G-2, 2009.2(発表予定)
- [12] 田中, 田村, 山吉, 青柳, 高野, 広瀬, "LiNbO<sub>3</sub>超音波モータに用いる結合モード振動特性の電極パターンによる改善", 日本音響学会2009年度春季研究発表会, 1-Q-29, 2009.3(発表予定)
- [13] 椎名, 山吉, 田村, 広瀬, "2枚の定在波屈曲振動円板によるロータの非接触駆動", 日本音響学会2009年度春季研究発表会, 1-Q-34, 2009.3(発表予定)