

圧電振動子による音響インピーダンスの計測

山形大学工学部技術部
計測技術室 山吉康弘

1. まえがき

圧電効果と機械的共振現象を利用した圧電振動子は、フィルタやセンサ、アクチュエータなどに応用されている。筆者は、圧電超音波振動子から放射された空中超音波の非線形効果で発生する音響流によって、ロータが非接触回転する超音波モータの研究を行っている[1-3]。本報告では、ギャップ空間の音響インピーダンスを計測する方法とその測定結果を示すと共に、非接触型超音波モータの回転特性との関係を検討した結果を示す。

2. 非接触型超音波モータの構造

図1に、屈曲振動円板を用いた非接触型超音波モータの構造を示す。ステータの縮退した2つの屈曲振動モードを90°の位相差で2相駆動して、円周方向の屈曲進行波を励振すると、ステータとロータとの間のギャップ空間に円周方向の進行波音場が生じ、それに伴って発生する音響流によって、ロータがステータと非接触で屈曲進行波と同方向に回転する。ロータがステータと非接触で回転動作し、摩擦がなく、高速回転が可能で、長寿命な小型モータとして期待できる。

3. ギャップの音響インピーダンスの計測

図2は回転速度特性のロータ径依存性の測定結果である。直径 $D_s=30$ mm、厚さ 0.4 mm のアルミニウム円板に、厚さ方向に分極された同径で厚さ 0.15 mm のPZT円板を接着した構造のステータと、厚さ $t_r=2$ mm のアクリル製円板のロータを用い、ギャップ長 g を 200 μm として測定した。回転速度はロータの直径 D_r に依存し、 D_r が 25~26 mm のときに最も高い回転速度が得られる。ギャップ空間内の音圧が高い程、音響流によるトルクが大きいことから、このとき、ギ

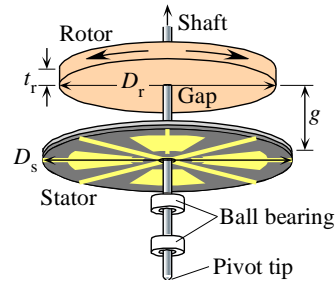


図1. 屈曲振動円板を用いた非接触型超音波モータの構造

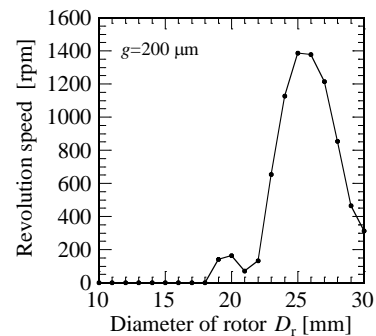


図2. 回転速度のロータ径依存性

ャップ内に強い音場が発生していると考えられる。音場の励起状態を実験的に確認するには、マイクログフォンなどで音圧を直接測定する方法が考えられるが、ギャップが極めて薄いため、ギャップ内にプローブを挿入することや音場に影響を与えずに音圧計測することは極めて難しい。ギャップ内の音場はステータの振動に対して負荷になることから、ステータの電気アドミタンス特性からギャップの音響インピーダンスを間接的に計測する方法を検討した。図3は、ステータの電気端子から測定した、アドミタンスの周波数特性である。ロータをセットしていない場合のアドミタンス特性 (Y_0) と、ギャップ長 g を 200 μm として、直径 D_r のロータをセットした場合の代表的なアドミタンス特性を示した。アドミタンス特性は、ロータ径に大きく依存して変化し、最も高い回転速度が得られたロータ径で最も小さくなるのがわかる。ギャッ

プ空間を考慮したステータの1つの振動モードの等価電気回路は図4のように表せる。ギャップ空間の等価電気音響インピーダンス Z_g が、ステータの機械的共振を表す等価電気機械インピーダンス Z_s に直列接続された形である。なお、 Y_d は圧電体の誘電特性を表すアドミタンスである。ステータの各等価回路素子 R_s, L_s, C_s, C_d, R_d が、ロータの有無によって変化しないとすれば、ステータの電気端子から、ロータをセットしていない場合と、ロータをセットした場合の電気アドミタンスを測定し、それぞれ、 $Y_0(\omega), Y_r(\omega)$ とすると、 Z_g は、

$$Z_g(\omega) = \frac{1}{Y_r(\omega) - Y_d(\omega)} - \frac{1}{Y_0(\omega) - Y_d(\omega)} \quad (1)$$

として求めることができる。 Y_0 と各 D_r に対する Y_r の実測結果を用いて、(1)式から求めたギャップ空間の等価電気音響インピーダンス Z_g の周波数特性を図5に示す。同図には、ステータ自身の共振周波数(25.68 kHz)における Z_g に○印を付した。各 D_r の Z_g の周波数特性がほぼ円形のインピーダンス軌跡を示すことから、図4中の Z_g は R-L-C の並列回路で表すことができ、また、 X_g が零になる周波数がギャップの共振周波数であるといえる。高い回転速度を示した $D_r=25\sim 26$ mm では、ギャップ空間が共振状態に近く、そのときの Z_g は大きなインピーダンス値を示している。図6に、ステータの共振周波数における Z_g のロータ径依存性を示す。図2において回転速度が最大になった D_r で $|Z_g|$ が極大になった。このとき、ギャップ内に強い音場が発生していると考えられる。

4. まとめ

モータ特性が高いときに、ギャップ空間の等価電気音響インピーダンスの値が大きいことを示した。ギャップ空間の等価電気音響インピーダンスを指標として、ギャップ内の音場の励起状態やモータ特性の評価が可能である。

謝辞

日頃ご指導頂いている電気電子工学分野 広瀬精二 教授に感謝致します。

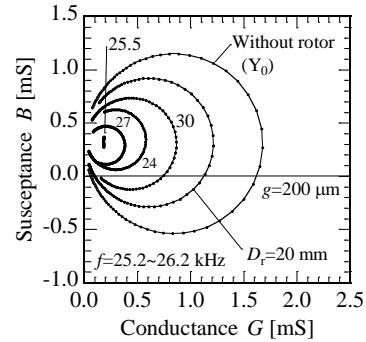


図3. ステータの電気アドミタンス特性

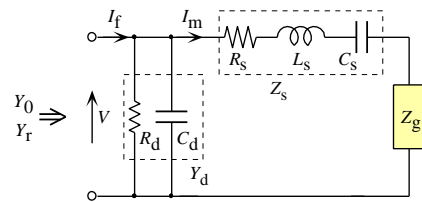


図4. ステータの等価電気回路

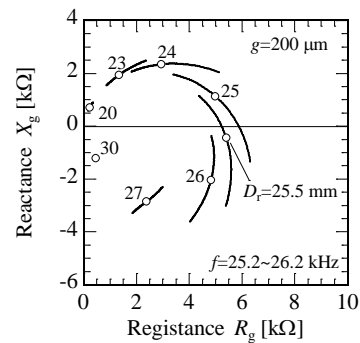


図5. ギャップの等価電気音響インピーダンスの計測結果

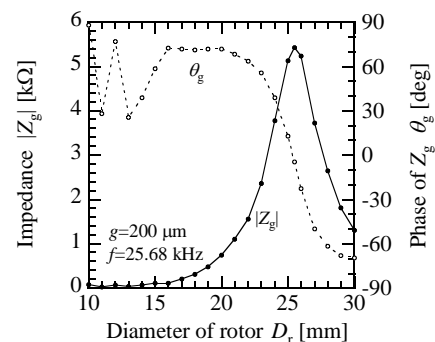


図6. ギャップの等価電気音響インピーダンスのロータ径依存性

参考文献

- [1] Y. Yamayoshi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., **48**, 07GM08-1-8, 2009.
- [2] Y. Yamayoshi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., **48**, 09KD10-1-5, 2009.
- [3] Y. Yamayoshi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., **49**, 07HE16-1-7, 2010.