

## 超音波モータの放射騒音スペクトラム

— 単相直巻電動機の騒音との対比 —

深谷 義勝・新美 吉彦

### Spectrum of Sound Noise Radiated by Ultrasonic Motor

— Comparison at Spectrums between Sound Noises  
of Single Phase Series Winding Electric Motor  
and of Ultrasonic Motor —

Yoshikatu FUKAYA and Yoshihiko NIIMI

Very recently, a new-type ultrasonic motor, which in principle would be quite different from the motor that has been used and that has utilized the mutual action between current and magnetic fields, has been practiced in the world. Generally speaking, whatever the rotational machine would be, it has to say quite necessary that the machine would produce some volumes of noises, aloud. Although we have investigated some points of the problem concerning to the matters mentioned above and in case of ultrasonic motor it would be considered that its noise-level would be very low, we have clarified the characters and features of the noise that would occur by the sources of mechanical structures and high-frequency currents. In particular, we would report on the results of analyzing its frequency-spectrums.

#### 1. まえがき

我々の日常生活に深く関与する騒音は、生活環境の保全のため基準を定める騒音規制を行なって、人の健康保護に配慮が払われている。特定施設などでは施設の設置状況および使用方法等その騒音防止を条例で細かく定める地域も多い。また、JISには騒音レベル測定方法、並びに一般環境および作業環境における騒音の代表値を求める方法など規定している。

この研究は、小型電動機のような回転機器から放射する騒音について、騒音の持つ周波数領域に関し調べ、その性質や特性、発生源あるいは防止対策など明確にしようとするものである。前述のような騒音規制の対象とならない小型回転機から放射する騒音は、身近な所に存在している。最近、超音波モータが実用化の域に達した。この超音波モータの放射騒

音は、新規なものであり、感覚騒音として扱うのではなく、周波数分析の点において測定した。今回は、従来の小型単相直巻電動機から放射する騒音と対比する。騒音について周波数スペクトラムを求めることで考察を行っている。

#### 2. 騒音発生源

##### ① 単相直巻電動機の場合

基本構造については、界磁コイルと補償コイル付の固定子、ならびに補極コイルを含めて回転子コイルの回転子、さらに整流子やカーボンブラシと軸受から成立っている。この電動機が回転するとき、三つの騒音<sup>1)</sup>を放射する。すなわち、(1) 磁気騒音、(2) 通風騒音、(3) 機械騒音である。

通風騒音はモータの羽根車とか通風路、風速に関係するが、測定用モータでは問題にしないでよい。

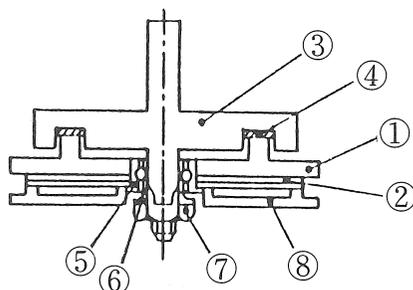
磁気原因による騒音については、空隙長、巻線ピッチ、溝数の組合せの不均衡から高次高調波の磁束を生じ、半径方向の磁気力により回転子、フレームに磁気振動を発生したり、電源周波数の2倍周波数の騒音が起こる。また、取付けられている案内板や保護板など、電磁振動と共振現象があれば騒音レベルは高くなる。つぎに、機械的な騒音としては、軸受から発生するものが多く、回転体表面の状態、潤滑性能、塵埃の混入、ベアリング取付、遊隙、保持器の遊び等が原因を作っている。一般的には、金属性擦過音は5.5kHzの周波数成分と言われる。

### ② 超音波モータの場合<sup>2)</sup>

ディスク型超音波モータを測定用に供している。この基本原理は、回転子は固定子の振動を回転力に換える必要があって、回転子にはライニング材が貼られ、その接触面は適切な圧力を与えることで、回転力を得ようとする。一方、固定子はステンレス鋼で造った弾性体と圧電セラミックに、超音波の進行波を発生させるため1/4λ位相ずれを起こす様に、2枚の圧電セラミックから構成されている。実物は第1図の構造断面図で示される。

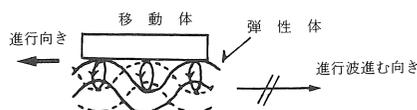
さて、進行波発生メカニズムについては省くことにするが、進行波が励振される弾性体の上に第2図の如く移動体を乗せることにすれば、弾性体が円運動を行なっているため、進行波と反対方向に移動体は進み走り出すことになる。直線運動だから、弾性体をリング状にすれば、移動体は円運動させることができる。これが、進行波方式の超音波モータである。

従って、この場合の騒音を発生する原因については、明らかにライニング材である。この材料は接触摩擦力、摩擦係数の大きいこと、耐摩耗性があり、かつ、摩擦音の少ない要求がある。そして、可聴周波数ではないが、超音波モータ駆動電源周波数については、固定子のアドミタンス周波数特性において、共振点と反共振点の間で最適動作時の周波数に選ばれている。さらに、フィードバック制御方式で一定周波数を保持する回路システムをとっている。しかし、駆動源周波数である高周波電流の波形歪、分周調波、リングング現象、非線形素子等および、可聴周波で振動する構造材によって、騒音を発生することも考えられる。さらには、ベアリング、擦過音、ステータ荷重の不均衡を含めて、騒音源となり得るものである。



ロータ：③回転体 ④ライニング材  
⑦ナット ⑧固定台  
ステータ：①弾性体 ②圧電セラミックス  
⑤ベアリング ⑥皿ばね

第1図 構造断面図



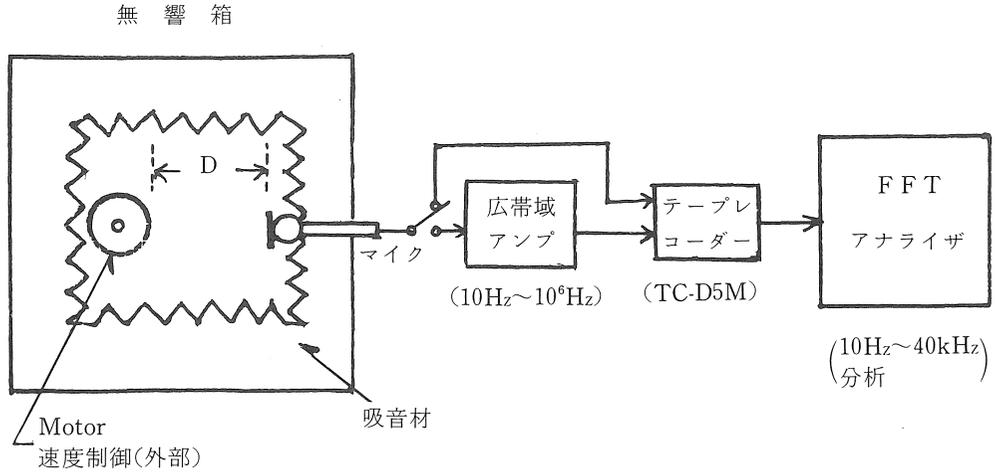
第2図 駆動原理

### 3. 測定と周波数分析

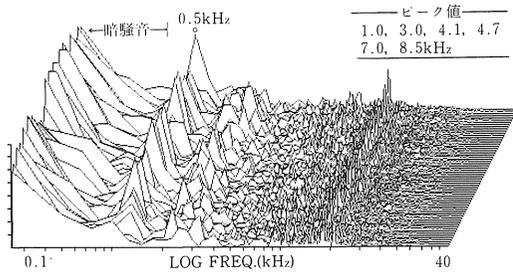
まず、代表する小型電動機……単相直巻整流子形、GE-ARED Motor, A.C.100V, 35W, 600~3000r.p.m., Ratio 10:1  
超音波モータ……ディスク型、パナソニック USM-40D, 40φ・12H, 70kHz, 30V・0.8kgf・cm, 800r.p.m.

これらモータの音響測定について、簡易無響箱（空洞容積・430φ×1230L、自製）を用いた。空洞は無響室となって、騒音源およびコンデンサマイクを設置する。ピックアップされた電気信号は、小型電動機は高いレベルを示すから直接レコーダに録音、超音波モータの場合は、広帯域増巾器において必要レベルまで上げ録音している。周波数分析に当って、再生出力をFFTアナライザに与えて処理する。このような測定構成は第3図を参照されたい。

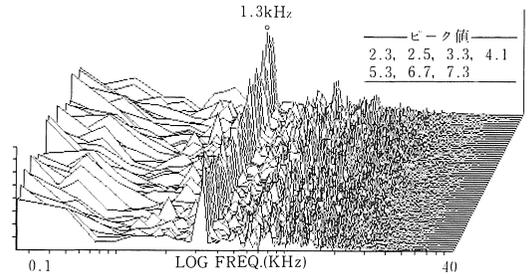
暗騒音の影響による測定誤差の補正に関して、我々の測定は定常騒音なので補正の必要性を判断し



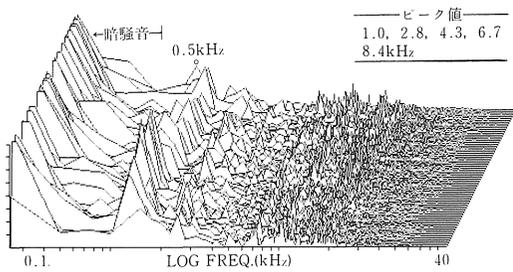
第3図 測定構成図



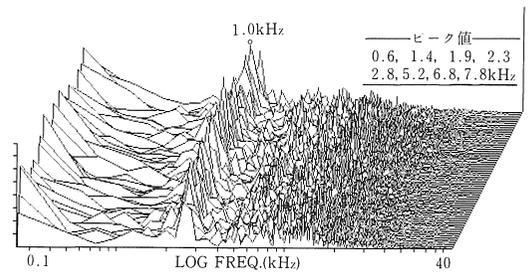
第4.(1)図 超音波モータ1.75, H1000



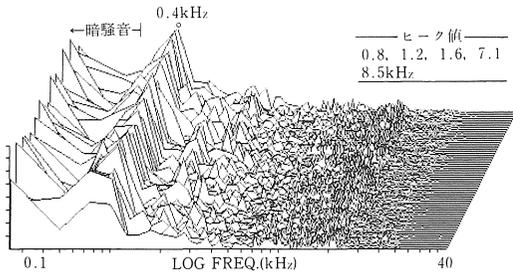
第4.(4)図 小型電動機1.5, 920



第4.(2)図 超音波モータ1.75, N920



第4.(5)図 小型電動機1.5, 720



第4.(3)図 超音波モータ1.75, L720

た。すなわち、合成騒音と暗騒音だけの音圧レベル差について、3 dB以下の測定環境であったため補正していない。定常騒音の測定をするが、これはモータは無負荷運転、しかし回転数を変えた場合も行なうことにした。騒音源と測定点の距離(D)はJISによれば、回転機の両軸、両側、高さ1 m基準測定と示されるが、今回は設備条件により5点測定した。その中でD=1.5, 1.75cmの場合を周波数分析で考察することにした。

さて、周波数スペクトルの時間変化の3次元模様を第4図に表示する。その意味することについて、回転機から放射される騒音は、連続的非正常信号波にみられる。従って、この信号波を短い区間分割できる所の、時間窓をかける過程を経て、短い擬定常信号に分割する。その時間窓関数はこのFFTアナライザにおいては、ハニング窓(Cosine 2窓)である。そして、時間窓を非正常信号に沿って移動させて、窓により得た部分の周波数スペクトラムを作る。この際、時間軸を加えて三次元図を作れば、直観的にも、パターンから判断し易くなる。この場合の性能分析特性……〔分解能〕～〔時間領域〕512, 1024点；〔周波数領域〕200, 400点；〔振巾領域〕256；周波数レンジ 10Hz～40kHz；FFT計算データ512ポイント

測定結果の代表例として、第4.(1)図～第4.(3)図は、超音波モータの騒音をD=1.75cmにおいて測定、回転数 1000, 920, 720r.p.m.の場合の結果である。三次元図においては、暗騒音除去処理の機能がないので、無視可能な暗騒音を含めている。特に、顕著に現われている部分は、図内に指示した。さらに、小型单相整流子直巻電動機の騒音を第4.(4)図、第4.(5)図に示した。D=1.5cm, および、920, 720 r.p.m.における測定結果である。

#### 4. まとめ

小型電動機の騒音は、電源周波数の20倍近辺の電磁騒音とも言えるレベルの高い成分がある。この成分より高い周波数成分は、言わば雑音的で7.5kHz当りまで分布している。軸受、潤滑不良、遊隙など多くの原因が考えられる。

超音波モータの騒音では、0.5kHz当りで高レベルの成分があるし、駆動電源周波数の1/10調波近辺で明確な成分を見付けることができる。その外の成分は多く持っているが、摩擦音と思われる。回転数が高い程、高い周波数成分を発生するといえる。一般的に、電源周波数、電圧、波形の影響をうけるし、時間経過による温度上昇の影響、測定方向、角度によって周波数成分を異にする。そして、確定した周波数成分を見付けることの困難さがある。従って、フーリエ級数展開のような、高調波成分、分数調波という意味を結びつけることも難しいと思われる。つまり、騒音の周波数成分測定は多くのデータを必要とする。

#### 参考文献

- 1) 中村辰二：電気機械試験法, p.191, p.192, 共立出版, 東京, 1974
- 2) 超音波モータ, パナソニック技術資料, p.6～9, 松下電器産業(株)モータ事業部, 大阪, 1987
- 3) R. B. Randall, B. Tech., B. A. 周波数分析ハンドブック, Brüel & Kjaer, 1978
- 4) J. S. ベンダット/A. G. ピアソル, 得丸英勝訳, ランダムデータの統計的処理, 東京, 培風館, 1979
- 5) 大熊恒靖：騒音の測定・評価, 日本環境測定分析協会, 東京, 1984
- 6) 最新公害防止対策要説(騒音編), 産業公害防止協会, 通産省監修, 丸善, 東京, 1985
- 7) 超音波モータ解説, p.111～117, 日経エレクトロニクス No.423, 東京, 1987

(受理 昭和63年1月25日)