

たわみ振動棒を用いた進行波型超音波リニアモータ

山浦 博志、小山 大介、中村 健太郎、上羽 貞行
東京工業大学 精密工学研究所

・はじめに

本研究では、小型化しても効率低下が少ない超音波リニアモータに注目し、細径エアシリンダなどの小型直動機構の代替が可能な、直径 10 mm 以下の超音波リニアモータの実現を目指した。進行波型はスライダ構造を単純化しやすいが、ランジュバン振動子など共振長の駆動源を梁に垂直に設置するため全体の小型化は難しい^[1]。そこで、振動棒端部の共振を利用した小型構造について検討を行った。

・モータの構成と動作原理

提案するモータ構造の概略を Fig.1 に示す。2つの積層型圧電素子(5×3×2 mm)をステンレス鋼製の角棒(断面 2×4 mm)で挟み込み、接着している。2つの素子を位相差駆動すると上下の振動棒にたわみ進行波が励振され、棒の表面に楕円軌跡が得られる。これにより、棒に押し付けられたスライダは摩擦による駆動力を受け動作する。また、伝達棒の端部の共振により大きな振動振幅を得る。

・端部長さの決定

Fig.2 (a) の実験系により端部長さ d を決定する。振動棒の一方を砂中に埋め込むことにより振動を吸収する無反射終端として、振動棒端部のみの共振特性を測定できるようになっている。この状態で端部の振動を LDV で測定して、一次、二次の振動モードの共振周波数を求め、進行波が伝搬する図中左側の棒の部分の波長を測定した。この結果を Fig.2 (b) に示す。

・進行波励振の条件

距離 L だけ離れた 2 つの圧電素子から、振幅 U_0 、波数 $k = 2\pi/\lambda$ 、角周波数 $\omega = 2\pi f$ 、距離に対応する位相差 $\varphi = 2\pi L/\lambda$ 、時間的な位相差 θ をもつ 2 つの定在波を励振したときの細棒上の振動振幅 $u(x, t)$ は、

$$u = \cos\left\{\frac{1}{2}(\varphi \mp \theta)\right\} \cos\left\{kx \mp \omega t + \frac{1}{2}(\varphi \mp \theta)\right\}$$

$$(\theta \pm \varphi = (2n + 1)\pi) \quad (1)$$

と表され進行波となることが分かっている。^[2]

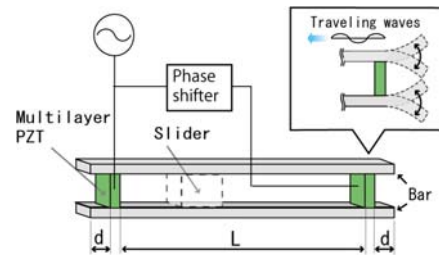


Fig.1: Basic configuration.

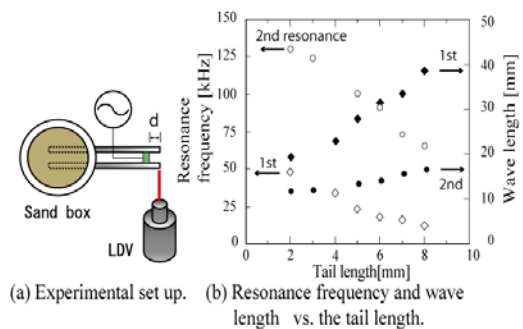


Fig.2: The determination of the tail length.

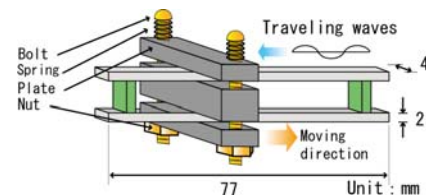


Fig.3: Configuration of the slider.

Fig.3 において、端部長さ $d = 5\text{mm}$ 、駆動周波数 $f = 23\text{kHz}$ として距離 L を変化させ、定在波比 SWR と駆動位相差 θ の関係を調べた。なお、 $f = 23\text{kHz}$ において $\lambda = 28\text{mm}$ である。この結果を Fig.4 に示す。2つのピークでは $\text{SWR} = 1 \sim 2$ であり、互いに逆の方向に向かう進行波が励振されている。また、例として $L = 69\text{mm}$ 、 $\theta = 60^\circ$ における振動分布を測定したものを Fig.5 に示す。振動棒の端部は大きく変位し、中央で進行波が励振されていることが分かる。さらに、Fig.4 より、距離 L とグラフの2つのピークの間隔 $\Delta\theta$ の関係をプロットした結果を Fig.6 に示す。図中の破線は式(1)を示すが、実験値はほぼこれに一致している。駆動回路などの理由より、 $\Delta\theta = 180^\circ$ であることが望ましいが、これは $L = 63\text{mm}$ において実現されている。

・モータ動作

Fig.3 において端部長さ $d = 5\text{mm}$ 、 $f = 23\text{kHz}$ 、距離 $L = 63\text{mm}$ 、振動棒中心付近の振動速度を 50mm/s として、Fig.3 に示すスライダを取り付けた。3つのステンレス鋼板で2本の振動棒をばねによりはさんでいる。 $\theta = 90^\circ, 270^\circ$ のときに両方向への駆動に成功した。

・まとめ

小型超音波リニアモータの設計のために振動棒端部の共振を用いた構造について、圧電素子の取付位置、駆動周波数、駆動位相差などについて検討を行い、試作したモデルによりリニアモータの両方向へのスライダ動作を確認した。今後はスライダの構造、材質、印加する与圧などについて検討する。

参考文献

- [1] Minoru, Kuribayashi, *et al.*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 77(4), 1431-1435, April 1985.
 [2] Takeshi, Ide, *et al.*, *Japanese Journal of Applied Physics*, 44(6B), 4662-4665, 2005.

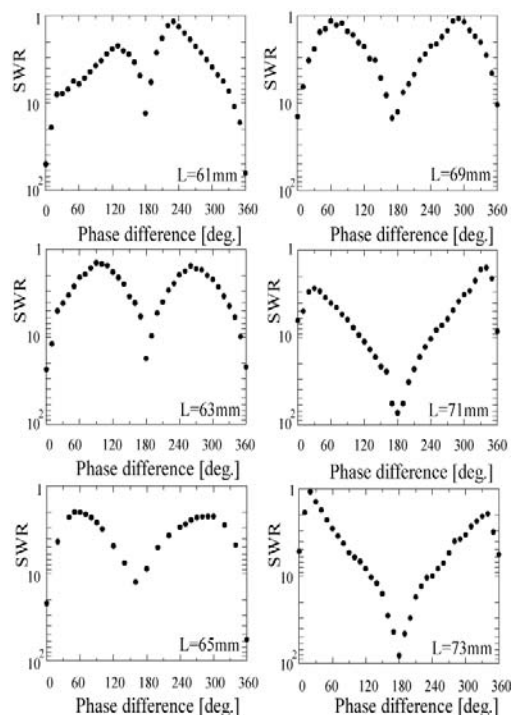


Fig4: Standing wave ratio vs. the driving phase difference.

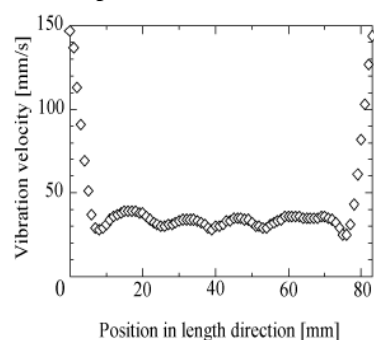


Fig5: Vibration velocity distribution in the length direction.

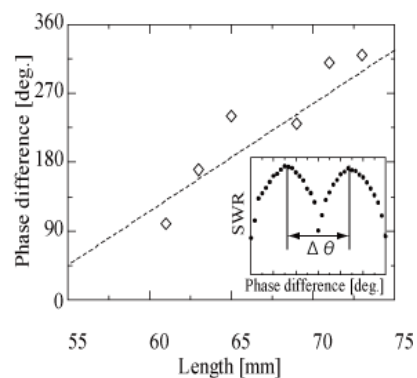


Fig6: Phase difference between the two peaks vs. the length of the beam.