

学術論文

磁気バネを利用した薄型リニア振動アクチュエータの携帯電話への応用

Application of linear oscillatory actuator using magneto-spring for a cellular phone

脇若 弘之	(信州大学)	江澤 光晴	(信州大学大学院)
矢島 久志	(信州大学, (現) SMC)	伊藤 治雄	(帝国通信工業 (株))
福田 直紀	(帝国通信工業 (株))	松廣 勝仁	(帝国通信工業 (株))

Hiroyuki WAKIWAKA Member
 Hisashi YAJIMA Member
 Mitsuharu EZAWA
 Haruo ITO
 Naoki FUKUDA
 Katsuhito MATSUHIRO

A cellular phone gains in popularity remarkably. The miniaturization and lightening a cellular phone are advanced because of it. Recently, most cellular phones have the vibration function to inform the arrival of a message. The vibration motor, which rotates the eccentric weight, is capitalized on as a vibration source now. However, it is difficult to miniaturize the rotary vibration motor. We developed the thin Linear Oscillatory Actuator (LOA) which was able to move the weight linearly. It could resonate with magneto-spring, that is made by detent force of permanent magnet. The vibration acceleration: 6.9 meter per second square, that is 1.5 times general the rotary vibration motor, can be generated by the LOA though it's power is almost equal to the rotary vibration motor. In this paper, operation principals, consideration of magneto-spring constant, and its resonance characteristics are described about this LOA.

Key Words: Magneto-spring, detent force, resonance, Linear Oscillatory Actuator, cellular phone, thin type, vibration acceleration.

1 まえがき

近年、携帯電話の普及はめざましく、携帯電話の薄形化、軽量化は大きく進歩している。携帯電話を薄くするために、LSI の高集積化、バッテリーの小形化などの工夫がされている [1][2][3]。携帯電話には、着信を知らせるバイブレーション機能が標準的に搭載されている。現在、携帯電話用バイブレータとして、偏心した錘を回転させ振動する回転型振動モータが使用されている。しかし、回転型振動モータの振動加速

度は錘の重心の回転半径に比例するため、薄形化は困難である。そこで、薄形のリニア振動アクチュエータ (Linear Oscillatory Actuator, 以下 LOA と略す) を携帯電話用バイブレータとして用いることを検討した。

筆者らは、以前より、回転型振動モータより、薄形で大きな振動加速度を発生することができる LOA を検討してきた [4]。これまで検討してきた LOA は機械的なバネで可動子を支持し、その共振を利用して振動する。しかし、機械的なバネを使用すると大きな摩擦が発生し、消費電力が非常に大きくなった。さら

連絡先: 脇若弘之, 〒 380-8553, 長野市若里 4-17-1, 信州大学工学部, email: wakiwak@gipwc.shinshu-u.ac.jp

に、LOA の耐久性はバネの耐久性に決定される。

同極の永久磁石を対向させることにより磁気バネを構成し、それをサスペンションへ応用し、構造の簡素化、低コスト化、軽量化が検討されている [5]。そこで、本論文において、永久磁石によるディテント力を磁気バネとして利用し、共振できる携帯電話用 LOA を提案する。磁気バネを利用することで LOA の耐久性は半永久的にできる。

本論文の内容を以下に示す。

- (1) 磁気バネを用いた携帯電話用 LOA の動作原理
- (2) 磁気バネ定数の検討
- (3) 磁気バネの共振を利用した携帯電話用 LOA の共振特性と回転型振動モータとの比較

2 磁気バネを利用した携帯電話用 LOA の動作原理

Fig.1 に、磁気バネを利用した LOA の動作原理を示した。本 LOA は固定子と可動子の間に働く垂直力を打ち消すために、可動子の上下に固定子を配置した両側式である。固定子は、E 字形のヨークとコイルから構成される。可動子はストローク方向に着磁された 2 個の永久磁石と、可動子ヨークから構成される。

可動子が Fig.1 のように右に変位しているとき、永久磁石がつくる磁束は可動子の左側では可動子のストローク方向に向いている。それに対して、可動子の右側では可動子のストローク方向に対して垂直になっている。よって、永久磁石による磁束によって発生するディテント力が可動子を中央に戻す力となる。同図に示したように、コイル電流を流すことによって、可動子の左側の磁束が強められ、左向きの力となる。コイルに交流電流を流すことによって、可動子は左右に振動する。ディテント力を磁気バネの弾性力とすること

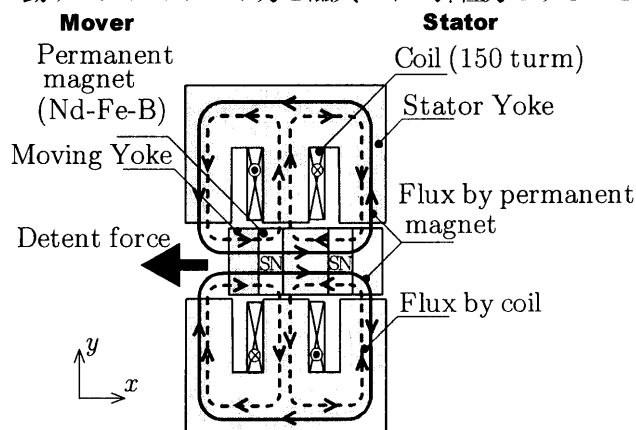


Fig. 1: Operational principle of LOA using magneto-spring.

で共振を利用し、大きな振動を得ることができる。

3 磁気バネ定数の検討

3.1 推力特性

有限要素法を用いて、LOA の磁界解析を行った。磁界解析には市販の磁界解析ソフト (JMAG: 日本総合研究所製) を使用した。解析条件は 2 次元静解析である。本 LOA は上下が対称であるので、境界条件を用いて 1/2 領域を解析した。

Fig.2 に、永久磁石の間隔 $\tau_m=2.4$ mm の時の LOA の推力特性を示した。可動子が固定子の中心にあるときの変位 x を 0 mm とした。本 LOA の推力特性はディテント力により可動子の変位に対して負の傾きとなった。この傾きを磁気バネ定数 K_{ms} とし、308 N/m となった。コイル電流を流すことにより、推力特性は上下し、単位電流あたりの変化量が推力定数 K_f となり、0.31 N/A となった。

3.2 磁気バネ力と磁束線図

Fig.3 に、永久磁石間隔が磁束線に与える影響を示した。左サイドヨークを通る磁束は可動子を左方向に吸引する力として働き、センタヨークを通る磁束は逆方向の力として作用する。永久磁石の間隔 τ_m を 0.4 mm から 2.4 mm と大きくすることによって、センタヨークを通る磁束が減少し (0.22 T \rightarrow 0.13 T)、左サイドヨークを通る磁束が増加した (0.22 T \rightarrow 0.32 T)。よって、永久磁石の間隔 τ_m を大きくすることにより、磁気バネによる力は増加し、磁気バネ定数 K_{ms} が大きくなる。永久磁石の間隔 τ_m を大きくし、セ

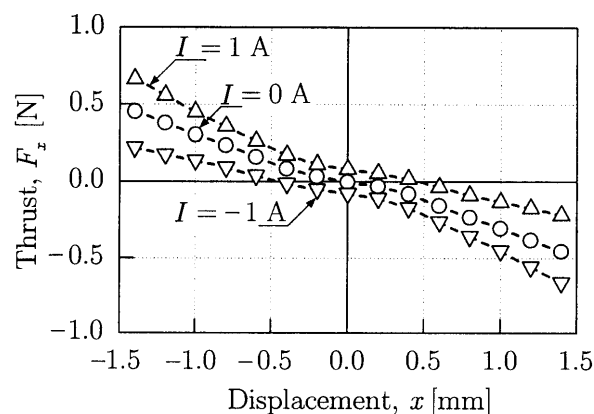


Fig. 2: Thrust characteristics of LOA using magneto-spring ($\tau_m=2.4$ mm).

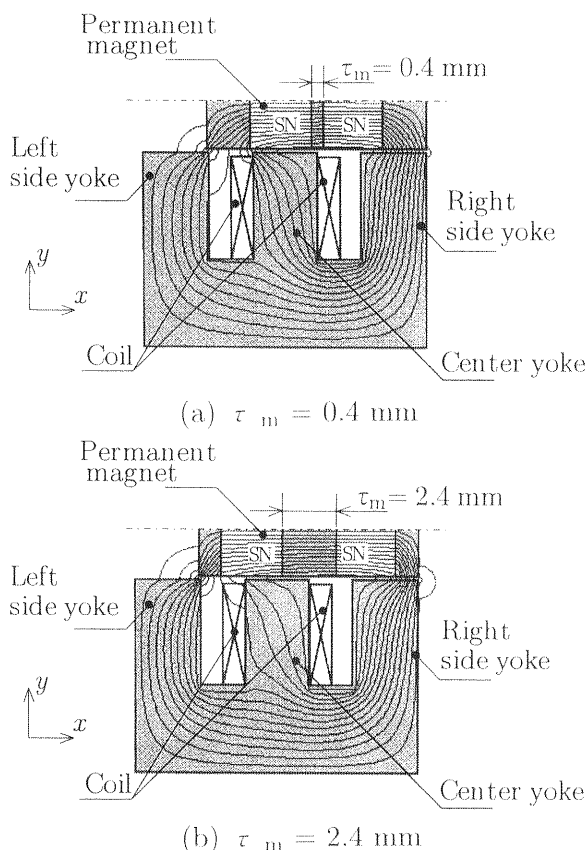


Fig. 3: Influence of permanent magnet distance on magnetic flux line ($x = 1.5$ mm, $I = 0$ A, 0.1μ Wb/line).

ンタヨークを通る磁束が減少すると、推力定数 K_f が減少する。

3.3 永久磁石の間隔が磁気バネ定数に与える影響

Fig.4 に、永久磁石の間隔が磁気バネ定数と推力定数に与える影響を示した。永久磁石の間隔 τ_m を大きくするにしたがって、磁気バネ定数 K_{ms} は増加し、推力定数 K_f は減少した。本 LOA は主に磁気バネによって振動し、本 LOA の共振周波数 f_p は次式で与えられる。

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{ms}}{m}} \quad [\text{Hz}] \quad (1)$$

ここに、 K_{ms} は磁気バネ定数 [N/m]、 m は可動子の質量 [kg] ($=0.9$ g) である。

現在、一般的に携帯電話に使用されている回転型振動モータに定格電圧を印加したとき、91 Hz で振動する。永久磁石の間隔 τ_m を 2.4 mm としたとき、磁気バネ定数は 308 N/m となる。このとき、式 (1)

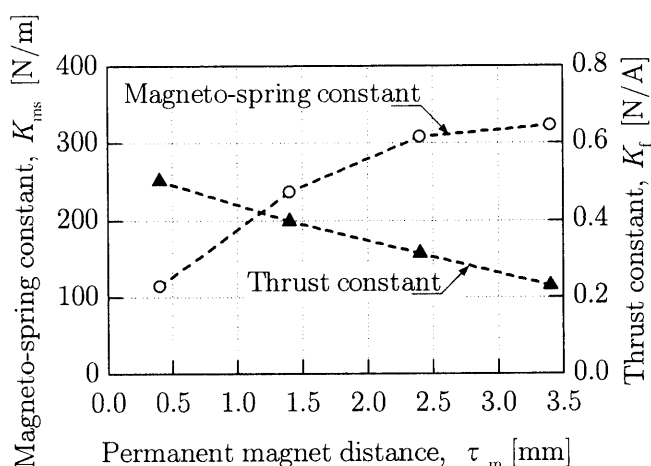


Fig. 4: Influence of permanent magnet distance on magneto-spring constant and thrust constant.

より本 LOA は回転型振動モータと同等の周波数 93 Hz で共振する。

4 携帯電話用 LOA の試作とその振動特性

4.1 試作した LOA の仕様

Fig.5 に、試作した磁気バネを利用した LOA の構造を示した。table 1 に、試作した LOA の仕様を示した。可動子と固定子のギャップは摩擦の影響を受けないようにテフロンコートをした 0.2 mm のスペーサで維持した。

4.2 共振特性と回転型振動モータとの比較

試作した LOA に正弦波電圧 0.85 V を印加し、振幅特性を測定した。Fig.6 に、磁気バネを利用した LOA の共振特性を示した。本 LOA は 85 Hz で共

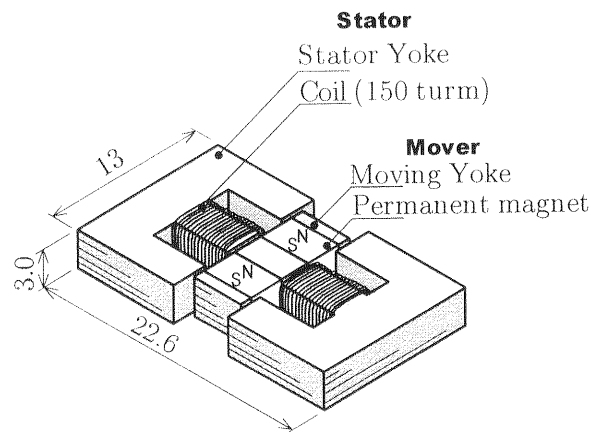


Fig. 5: Structure of LOA using magneto-spring (unit in mm).

Table 1: Specifications of LOA using magneto-spring.

items	Value
Size	$13 \times 22.6 \times 3 \text{ mm}^3$
Mass (Mover)	0.9 g
(Total)	5.1 g
Yoke	Laminated steel (50H350) ($B_m=1.8 \text{ T}$, $H_m=10 \text{ kA/m}$)
Magnet	Nd-Fe-B (N45M) ($H_c=520 \text{ kA/m}$)
Number of coil windings	300
Coil resistance	5.0 Ω
Thrust constant	0.31 N/A
Magneto-spring constant	308 N/m

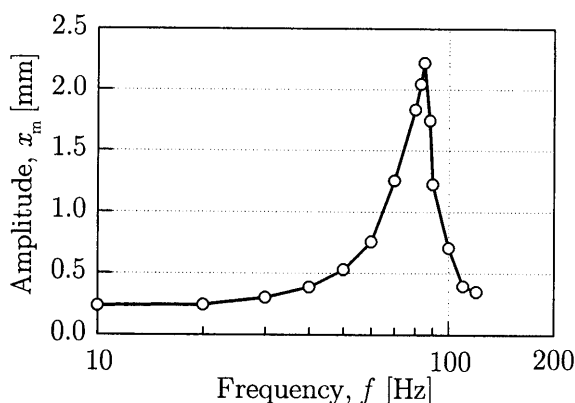


Fig. 6: Resonance characteristics of LOA using magneto-spring (Sin wave : 0.85 V).

振現象を示し、その時、振幅 2.2 mm と大きく振動した。共振周波数は計算値と 9 % の誤差で一致した。

Table 2 に、試作した LOA と回転型振動モータの比較をまとめた。本 LOA はリニア振動するので回転型振動モータの 1/2 の薄さ 3 mm が可能になった。携帯電話型アクリルケース 77 g に本 LOA を取り付けたとき、消費電力が回転型振動モータのときとほぼ同等で、振動加速度は 6.9 m/s^2 と 50 % 大きくできた。

5 まとめ

本論文の内容を以下にまとめた。

1. 磁気バネを用いた携帯電話用 LOA の動作原理を

Table 2: Comparison between LOA and rotary vibration motor.

items	LOA	Rotary
Size [mm^3]	$13 \times 22.6 \times 3$	$\varnothing 6.0 \times 5$
Volume [mm^3]	881	565
Mass [g]	5.1	2.0
Input Voltage [V]	AC 0.85*	DC 1.3
Coil current [mA]	154 *	104
Power [mW]	131	135
Frequency [Hz]	85	91
Acceleration [m/s^2]	6.9	4.6

* Effective value

示し、ディテント力を磁気バネ力として利用できることを示した。

2. 永久磁石の間隔を大きくすることにより、磁気バネ定数が大きくなり、推力定数が減少する。永久磁石の間隔を 2.4 mm としたとき、磁気バネ定数は 308 N/m となる。このとき、LOA は回転型振動モータと同等の 93 Hz で共振するという計算となった。
3. 試作した LOA は 85 Hz で共振現象を示し、そのときの振幅は 2.2 mm と大きくなった。本 LOA は単振動するので回転型振動モータの 1/2 の薄さ 3 mm が可能になった。携帯電話型アクリルケース 77 g に本 LOA を取り付けたとき、消費電力が回転型振動モータのときとほぼ同等で、振動加速度は 6.9 m/s^2 と 50 % 大きくできた。

(1999 年 12 月 15 日受付)

参考文献

- [1] 三宅 常之, 福田 昭, 軽量化と低価格化を競う携帯電話器の実装技術, 日経エレクトロニクス, 日経 BP 社, No.617 (1994), pp.72-96.
- [2] 浜田 基彦, 福岡 恒憲, 田野倉 保雄, 携帯情報機器 もっと小さく 差異化の王道として再評価, 日経メカニカル, 日経 BP 社, No.452 (1995), pp.22-36.
- [3] 木村 知史: 移動電話をスリムにする, 日経メカニカル, 日経 BP 社, No.491 (1996), pp.28-47.
- [4] 矢島 久志, 脇若 弘之, 江澤 光晴, 伊藤 治雄, 福田 直紀, 春山 勝彦, 薄形リニア振動アクチュエータと携帯電話への応用, 電気学会研究会資料, リニアドライブ研究会, LD-99-40, (1999), pp.11-16.
- [5] 藤田 悦則, 磁気バネの開発とその応用, 日本応用磁気学会誌 Vol.23, No.3 (1999), pp.840-846.