

K6-21

静電インチワームモータの出力向上に向けたアクチュエータの角度最適化に対する検討

Study on Angle Optimization of Actuator to Improve Output of Electrostatic Inchworm Motor

○平尾聡志¹, 仲田友也¹, 長田元気², 水本明日也², 金子美泉³, 内木場文男³, 齊藤健³*Satoshi Hirao¹, Yuya Nakata¹, Genki Osada², Asuya Mzumoto², Minami Kaneko³, Fumio Uchikoba³, Ken Saito³

Abstract: In this paper, we optimized the angle of the electrostatic actuator for the purpose of improving the output of the electrostatic inch worm motor. We derive the relationship between the output of the electrostatic inchworm motor and the angle of the electrostatic actuator and change the disposition angle of the electrostatic actuator from 0 degree to 60 degrees to obtain the output of 4.30 mN which is about threefold of the conventional one It was. In addition, we showed that it is possible to generate the same force as the conventional one even with the miniaturized electrostatic actuator by decreasing the number of comb teeth due to the improved output.

1. はじめに

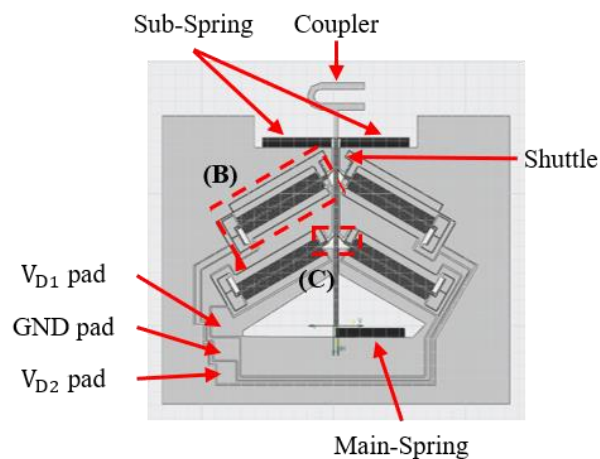
パソコンのハードディスク内部やロボットの関節、スマートフォンのカメラ部などの我々の身近に存在する電子機器の多くは、内部にアクチュエータを搭載している。これらの電子機器に搭載されるアクチュエータには、応答速度に優れた電磁アクチュエータやエネルギー変換効率が良い圧電アクチュエータなど、様々な種類のアクチュエータが使用されている。つまり、アクチュエータ機能の向上はこれらの電子機器の機能向上につながる。現在、小型化、高出力化、低消費電力化などのアクチュエータの性能向上に向けてさまざまな研究が行われている。^{[1][2][3]} 特に小型化の分野においては半導体加工技術を応用した Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)を用いた研究が多く発表されている。^{[4][5]}

我々は、これまでに MEMS 技術を使用し、2.2×2.5mm の静電インチワームモータを開発し、マイクロロボットの脚部動作に成功した。静電インチワームモータは静電アクチュエータを使用しており消費電力約 1mW で 1.5mN の出力を得ることができる。また、インチワーム動作を行うことで 250μm の変位を得ることができる。

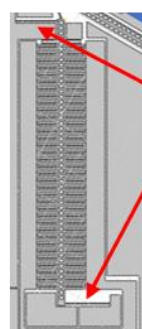
本論文では従来の静電インチワームモータの機械的な配置を見直し、出力の向上及びそれに伴うインチワームモータの小型化について検討したので報告する。

2. 静電インチワームモータの基本動作

Figure 1 に静電インチワームモータを示す。静電インチワームモータは、2 対の静電アクチュエータ 2 セットと出力を行うシャトルとシャトルに力を伝える斜め脚、戻りを行うためのメイン、サブスプリング及び電

極 V_{D1} , V_{D2} , GND で構成した。

(A) Electrostatic Inchworm Motor



(B) Electrostatic motors



(C) Inchworm mechanism

Figure 1. Electrostatic Inchworm Motor

静電アクチュエータは、電圧を加えることで櫛歯間に静電気力による力が発生する。静電気力による力は微小であるが、櫛歯を片方に 70 枚、合計 140 枚取り付けすることで出力を拡大した。

静電アクチュエータがシャトル側へ移動することにより、静電アクチュエータ先端に取り付けた角度付き

の斜め脚がシャトルに衝突し変形，静電アクチュエータの出力を押付方向と押出方向に分け，シャトルに力を伝達する．また，シャトルと斜め脚の先端に作製した微小な凹凸が，互いに引っ掛かることでシャトルの移動を行う．静電アクチュエータはシャトルを挟み込む配置で 2 対 2 セットの計 4 個を取り付けている．各セットの静電アクチュエータが交互に動作を行うことで，1 ステップで $1\mu\text{m}$ ずつシャトルを滑らかに押出す．また，静電アクチュエータの戻り動作は両端に設置した板バネで，シャトルの戻り動作はシャトル先端と後端に設置したメイン，サブスプリングで行う．

静電インチワームモータは，3 マスクシリコンオンインシュレータ(SOI)プロセスで製造している．SOI ウェーハの各層はそれぞれ，デバイス層が $40\mu\text{m}$ ，埋め込み酸化物が $2\mu\text{m}$ ，ハンドルウェーハが $550\mu\text{m}$ であり，電極を作成し通電を行うためにデバイス層上に厚さ 100nm のアルミニウム層を作成している．デバイス層のシリコンをエッチングし，DRIE を使用してモータの構造形成を行い，裏側をエッジングすることで質量を減少させ，単体チップレットを基盤から分離する．

3. 高出力化及び小型化へ向けた検討

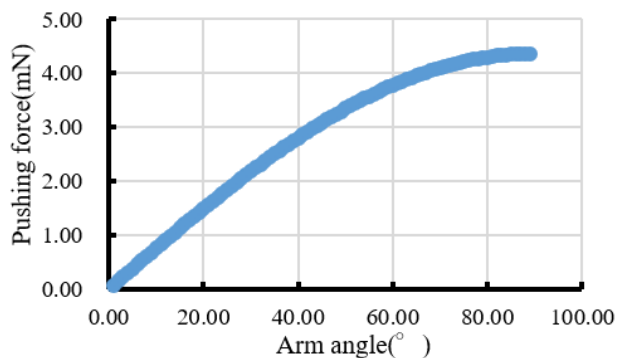


Figure 2. Relationship between arm angle and output

Figure2 に静電アクチュエータの取り付け角度と押出力の関係を示す．従来のアクチュエータでは，静電アクチュエータを傾けず，斜め脚を 20 度で設置し押出力と押付力を得た．今回はより大きな押出力を得るためにアクチュエータの取り付け角度を 60 度に配置し，シャトルに対して斜め脚が 80 度傾くよう設計を行った．

Figure3 に従来の静電インチワームモータとの出力理論値の比較を示す．従来のモータの最大押出力 1.56mN に対して，今回検討したモータの最大押出力は 4.30mN であり，約 3 倍の出力が可能である．まシャトルに力が伝わる $1\sim 1.4\mu\text{m}$ の範囲内において今回のモ

ータの押出力は常に従来の最大押出力を上回っている．また，出力向上が行えたので櫛歯の数を片方 50 枚合計 100 枚に減らしても従来と同様の押出力が得られる．よって，静電インチワームモータの更なる小型化が期待できる．

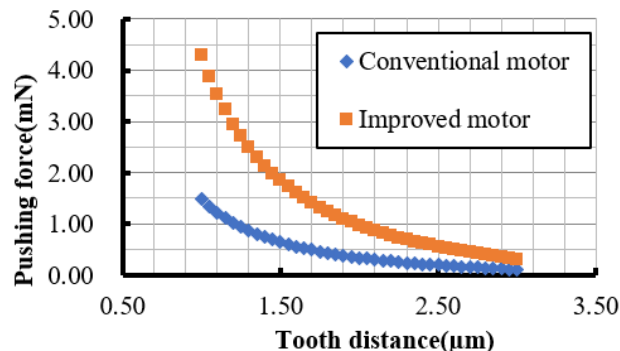


Figure 3. Comparison of comb tooth distance and output

4. まとめ

本論文では静電インチワームモータの出力向上及び小型化について検討した．静電アクチュエータに角度を加えることで従来のアクチュエータの出力の約 3 倍にあたる 4.30mN を得られることを示し，それにより従来と同程度の押出力を櫛歯の数を減少したより小型の静電インチワームモータで得られることを示した．今後は実際にアクチュエータを作製し，動作の検討を行う予定である．

5. 参考文献

- [1] 松田伸也，松尾隆：「二本の圧電素子を直行して配置するマイクロアクチュエータ」，KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT, Vol.2, pp.101-104, (2005).
- [2] 壁井信之，小須田昌之，鏡淵英紀，田代良一，水野均，植田康弘，土屋喜一：「パラフィンを用いた熱膨張形マイクロアクチュエータ(直動形アクチュエータの試作と基本性能の検討)」，日本機械学会論文集(C 編)，62 巻，604 号，pp.200-205, (1996)
- [3] 吉田和弘，横田眞一：「マイクロロボット用アクチュエータの開発 一流体マイクロアクチュエータを例として」，電学論 E, 121 巻，7 号，pp.357-361, (2001).
- [4] 川村秀司，南和幸，江刺正喜：「分布型静電マイクロアクチュエータ」，電学論 A, 112 巻，12 号，pp.993-998, (1992)
- [5] 秦誠一，加藤友和，福重孝志，下河辺明：「集積化円すいばねマイクロアクチュエータ」，精密工学会誌，Vol.69, No.3, pp.438-442, (2003).