

## 圧電素子を用いた小型羽ばたき飛行ロボットの開発 Development of Flying Microrobot with Flapping Wings Using Piezoelectric Element

○岩田 蚩<sup>1</sup>, 高藤美泉<sup>2</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>  
\*Kei Iwata<sup>1</sup>, Minami Takato<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>, Fumio Uchikoba<sup>3</sup>

**Abstract:** This paper suggests realization of a flying type microrobot. Insect-like flying types of microrobots are expected to be active in environmental monitoring fields and pollination work. Therefore, artificial wings are mimicked insect wings by using MEMS technology. Moreover, multilayered piezoelectric elements that obtain large displacement as against small size are used as a flying actuator. The 28mm wingspan flying microrobot could be realized by using MEMS technology in combination with multilayered piezoelectric elements. In this study, flapping displacement of flying microrobot was up to 185.56  $\mu\text{m}$ .

### 1. 緒言

マイクロロボットは血管内での医療補助など多くの分野での活躍が期待されている。昨今では、様々な機構を持ったマイクロロボットの研究が報告されている<sup>[1][2]</sup>。

特に、昆虫のような小型飛行ロボットの実現はマイクロロボットの活躍分野をさらに広げるといえる。例えば、環境モニタリング分野においては小型飛行ロボットを昆虫に紛れさせ観察を行うことで、自然環境下での昆虫の生態観察が行える。農業分野では受粉作業でも利用可能である。さらに、飛行ロボットは地形の影響を受けないため被災地での救助活動にも利用できる。

小型飛行ロボットは、その翼の形状と飛行法から固定翼型、回転翼型、羽ばたき型の3種類に分類できる。しかしながら、飛び立ちの時の加速や旋回性に注目すると昆虫を模倣した小型羽ばたき機構のロボットが最も望ましい。

そこで、我々は昆虫のような小型の羽ばたき飛行ロボットの開発を目指して研究を行っている。昆虫の羽ばたき動作は小型で大変位が得られる圧電素子をユニモルフ構造にすることで実現可能である。圧電アクチュエータは小型化が可能で、応答性の速さ、高い電気機械エネルギー変換効率そして微小変位の高精度制御において従来の電磁力などに比べて有用である。さらに、昆虫のような小型ロボットの作製には半導体の作製技術を応用した微小電気機械システム(MEMS: Micro Electro Mechanical System)技術を用いる。

本研究では、昆虫に近い羽ばたき型の小型飛行ロボットを積層圧電素子と MEMS 技術を用いて作製し、羽ばたき変位量の測定をすることを目的とする。

### 2. 小型羽ばたき飛行ロボット

Figure 1 に小型羽ばたき飛行ロボットの概略図を示す。小型羽ばたき飛行ロボットを人工翅部分、ユニモルフ構造部、接続部分に分類して以下に詳しく説明する。

人工翅の翅脈部分は Si 基板を MEMS 技術で作製し、翅の膜部分には、アセテートフィルムを製膜する。

ユニモルフ構造部分は弾性材 (0.9×4.0[mm]、厚さ 100[ $\mu\text{m}$ ]の真鍮板)の片面に圧電素子を張り付けたもので、圧電素子の電界の方向と垂直なわずかな変位(横効果)により大きな屈曲変位を生成する。本研究では、小型化のために羽ばたき型の圧電アクチュエータに積層圧電素子を用いた。積層圧電素子は、電圧を印加することで、長辺方向に変位する。また、積層圧電素子は単層のものに比べて、積層枚数倍に変位量が大きくなるため、単層の圧電素子に比べて大きな振動変位が期待できる。さらに、圧電体に印加する交流電圧の周波数と形状によって決まる固有振動数とが一致すると共振を起こしさらに大きな変位が得られる。

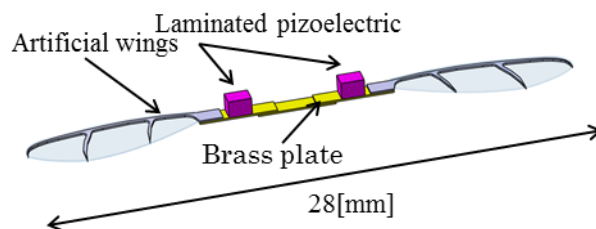


Figure 1. Flying microrobot with flapping wings

### 3. 羽ばたき変位量の計算

Figure 2 に圧電材と弾性材のユニモルフ構造の概略図を示す。上が弾性体、下が圧電材料である。ここで、圧電体と弾性体のそれぞれの弾性コンプライアンスを  $s_1, s_2$ , 圧電  $d$  定数を  $d_{33}$ , 圧電体への印加電圧を  $V$

とするとたわみ  $D$  は以下の式で算出できる.

$$D = \frac{3d_{33}l^2(t_1 + t_2)s_1s_2t_2}{s_1^2s_1^4 + 4s_1s_2t_1t_2^3 + 6s_1s_2t_1^2t_2^2 + 4s_1s_2t_1^3t_2 + s_1^2s_1^2}V$$

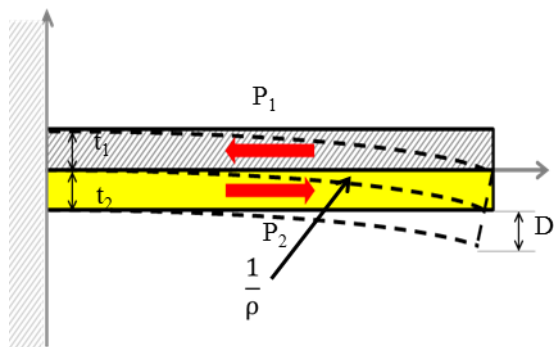


Figure 2. Unimorph structure

#### 4. 結果および考察

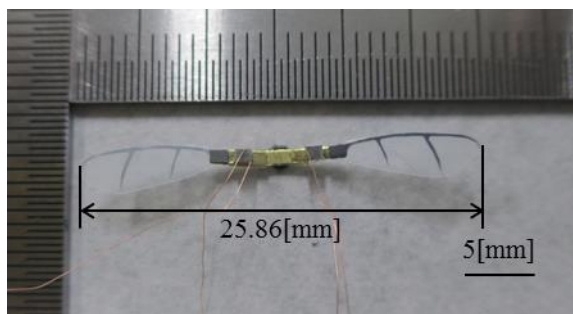


Figure 3. Fabricated flying microrobot

Figure 3 に作製した小型羽ばたき飛行ロボットを示す. 小型羽ばたき飛行ロボットの大きさは翅幅 25.86[mm]で質量 33.0[mg]であった.

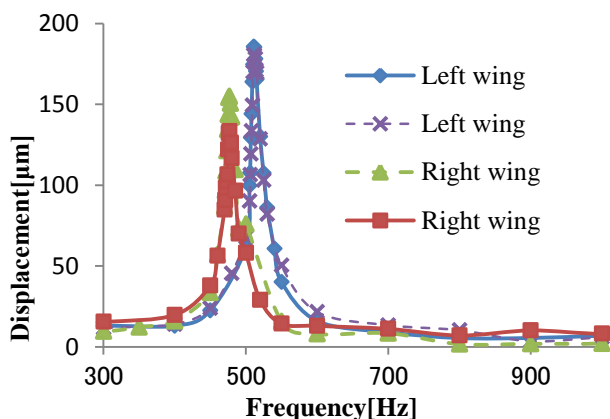


Figure 4. Frequency response of displacement

Figure 4 にレーザードップラー変位計を用いて測定した, 羽ばたき変位量のグラフを示す. 振動測定は中心部を固定して, 翅の先端位置にレーザを当て行った. この時の測定条件はサンプリング周期 2.55[ms], 測定精度 0.01[μm]である. Figure 4 の直線グラフは方翅

のみに電圧を印加してその変位量を測定したものである. この時, 変位量の最大値は右翅が 477[kHz]の時 133.34[μm], 左翅が 511[kHz]の時 185.56[μm]であった. また, 両翅の振動の影響を見るために両翅に電圧を印加したそれぞれの変位を測定した結果は Figure 4 の点線グラフで表されている. 両翅電圧印加時の変位最大値は右翅が 477[kHz]の時 154.96[μm], 左翅は 511[kHz]の時 180.76[μm]であった. どの場合においても一定の周波数付近で変位量が上がっているため, 変位量の最大付近が共振周波数であると推測できる. 右翅と左翅の共振周波数が違うのは, 圧電素子の接着状態などによるものであると推測できる. さらに, 方翅のみ電圧を印加した時に比べ両翅に電圧を印加した場合と同じデバイスで測定しているにもかかわらず右翅の変位量が減少していた. この結果より, 両翅の動作が干渉しあうことがわかる. このため, 印加電圧の周波数の値を両翅が干渉して打ち消しあわない値に調整する必要がある.

今後は, 現在の羽ばたき変位量では筐体を浮かせることができないため, さらなる変位量の増加が必要である.

#### 5. 結言

MEMS 技術の利用により, 最大寸法 25.86[mm]で小型羽ばたき飛行ロボットを作製することができた. さらに, 最大で 185.56[μm]の羽ばたき変位量を得ることができた.

#### 謝辞

本研究は日本大学マイクロ機能デバイス研究センターの支援を受けた. また, 本研究は日本学術振興会科研費補助金 25420226 と 23760243 標本作製の助成を受けたものである.

#### 参考文献

- [1]Ken Saito, Minami Takato, Yoshifumi Sekine and Fumio Uchikoba: Biomimetics Micro Robot with Active Hardware Neural Networks Locomotion Control and Insect-Like Switching Behaviour, International Journal of Advanced Robotic Systemspp, Vol.9, No.226, pp.1-6, 2012
- [2] Romanos Piperakis, Saito Suguru, Takahashi Hiroki, Nakajima Masayuki: Virtual World Modeling for Software Robot using Neural Networks, ITE Technical Report, Vol.25, No.32, pp.15-20, 2001