

課題番号	Q18P-02
課題名 (和文)	蝶の姿勢制御メカニズムに基づく小型はばたきロボットの開発
課題名 (英文)	Development of Small Flapping Robot Based on the Attitude Control Mechanism of a Butterfly
研究代表者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 助教 氏名 藤川太郎
共同研究者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 准教授 氏名 釜道紀浩
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名

研究成果の概要 (和文)
本文 (9ポイント: 明朝)

研究成果の概要 (英文)
本文 (9ポイント: Century)

1. 研究開始当初の背景

観測などを目的とした、マルチロータヘリコプタに代表される小型飛行ロボットが近年盛んに開発されている。しかし、回転翼による騒音の問題や、墜落時の危険性など多くの課題も挙げられているのが現状である。このような課題に対処するため、本研究では蝶をモデルとした小型はばたきロボットを開発してきた。蝶は、はばたき周波数が 10Hz 程度と低いため、これをモデルとしたはばたき翼は回転翼に対して静寂性が高い。また、滑空も併用可能なために少ないエネルギー消費での飛行を実現することができる。さらに、構造的な複雑さが少ないため、非常に軽量かつ小型な機体とすることができる。これにより、墜落時の危険性も少ない。このような利点をもつ蝶型はばたきロボットの開発において、数分間の飛行の実現と方向制御がこれまでの課題となっていた。

2. 研究の目的

蝶型ロボットの数分間の飛翔と方向制御を実現するため、これまでに開発したベースモデル（ゴム捻り駆動）を基に、モータとバッテリーを搭載したモデルを開発する。これにより数分間の飛翔を実現する。また、方向制御には、前翅のリード・ラグ運動を左右独立して制御する手法を提案する。これにより、左右の翼面積が非対称となり、はばたき運動によるロールやヨー回転モーメントが生じて方向転換が可能となる。

以上より、本課題研究では、(1)モータおよびバッテリーを搭載した、自律飛翔可能な手のひらサイズの蝶型はばたきロボット、および、(2)リード・ラグ運動の制御機構、を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

以下の項目について研究開発を進めていく。

- (1-a) 試験用のモータを搭載したデザインモデル (DM) を開発し、実装するモータやバッテリーを検討する。
- (1-b) DM の検討結果をもとに、実際に使用するモー

タを実装したプロトタイプモデル 1 (PM1) を開発し、動作を確認する。

- (1-c) モータとバッテリーを搭載した、滑空可能なプロトタイプモデル 2 (PM2) を開発し、初速 0m/s からの滑空飛行により重心位置と翅形状を検討する。
- (2) ソフトアクチュエータを用いたリード・ラグ制御機構を試作し、提案手法の有効性を検証する。

4. 研究成果

第一に、 $\phi 4\text{mm}$ の DC モータ (MK04S-10) を実装した DM を開発した (図 1)。サイズは翼幅長 110mm、翼弦長 50mm 程度で、機体はアルミ合金の削り出し、翅のフレームは Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) 製である。外部電源 (3.7V) により動作させたところ、ベースモデルと同様の機構において 15Hz 程度でのはばたきが可能であることが確認できた。この結果とベースモデルのゴムトルクより、蝶型はばたきロボットに採用するモータは、無負荷回転数 464rpm、トルク 1.49mNm であるアダマンド並木精密宝石(株)製の「BMN04-0829 PG04-79」と選定した。また、バッテリーは、電圧 3.8V、容量 32.0mAh であるパナソニック製の「CG-425A/E2K」とした。

第二に、選定したモータを実装した PM1 を開発した (図 2)。DM 同様、機体はアルミ合金削り出し、翅フレームは CFRP 製である。バッテリーを実装していない試作機であるが、外部から接続した状態で連続 7 分間のはばたき動作を実現した。

第三に、安定した水平飛行を実現するため、重心位置と翅形状の検討を目的とした滑空に特化したプロトタイプ 2 を開発した (図 3)。このモデルについては、DM および PM1 からのボディの軽量化を図るべく、機体と翅フレーム共に CFRP 製とし、翼幅長約 200mm、翼弦長約 90mm で質量 2.8g である。高さ 7m 程度からの自由落下において、降下約 500mm から姿勢を安定させた滑空が実現した。このときの滑空比はおよそ 1 であった。



図1 モーター搭載のデザインモデル



図2 プロトタイプモデル1



図3 プロトタイプモデル2

以上の実機開発とともに、リード・ラグ運動の制御機構を開発した。本手法は、前翅を構成するフレームの一部にイオン導電性高分子・貴金属接合体 (IPMC) を採用し、電圧を印加することで屈曲させ、前翅を後方に変形させるというものである。これにより翼面積が左右対称となり、飛行中にロールおよびヨー回転し、旋回が可能となる。図5上に示す角度 θ をIPMC Angleと定義し、2Hzで10秒間はばたかせた状態でIPMCの屈曲実験を行った。その結果、図5下に示すように15deg程度変形させる



図4 滑空実験 (○枠内が機体)

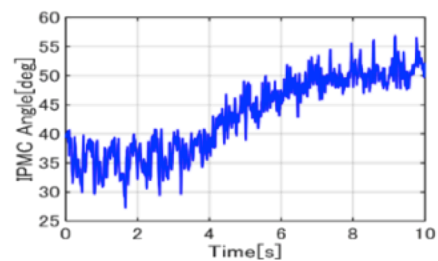
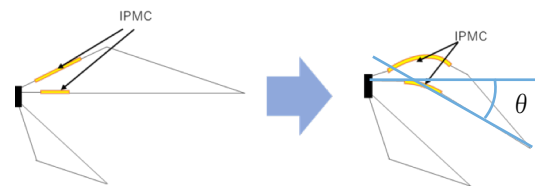


図5 IPMCによるリード・ラグ運動制御手法(上)と実験による角度変位の様子(下)

ことが可能となった。

以上より、数分間の飛行を目的とした蝶型はばたきロボットの開発において、実装するモーターとバッテリーの選定および機体重心位置などの設計指針が検討された。また、リード・ラグ運動を制御することによる方向制御手法を提案し、実験によりその制御機構の有効性が示された。今後は、PM1とPM2の結果をもとにした飛行可能な蝶型はばたきロボットの開発、リード・ラグ運動制御機構を実装して方向制御を行うことなどが今後の課題である。