

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	弾性翼とロバスト制御器を有するハチドリ模倣羽ばたき飛行ロボットの開発
Title(English)	Development of a hummingbird-mimetic flapping-wing aerial robot with elastic wings and a robust controller
著者(和文)	DangJinqiang
Author(English)	Jinqiang Dang
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12841号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:田中 博人,鈴森 康一,山浦 弘,菅原 雄介,三浦 智
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12841号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	DANG Jinqiang	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	田中 博人	准教授	三浦 智	准教授
	審査員	鈴森 康一	教授		
		山浦 弘	教授		
菅原 雄介		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Development of a hummingbird-mimetic flapping-wing aerial robot with elastic wings and a robust controller」(弾性翼とロバスト制御器を有するハチドリ模倣羽ばたき飛行ロボットの開発)と題し、以下の5章からなる。

第1章「Introduction」(序論)では、本論文の研究背景と目的を述べている。すなわち、ハチドリや昆虫を規範とした小型羽ばたき飛行体には、ホバリング能力と機動能力および高いエネルギー効率が期待され、災害救助活動や環境モニタリングなどの広い応用先があるとしている。その実現の課題として、揚力の増大、姿勢制御、外乱や翼損傷への適応が述べられている。そして本研究の目的が、ハチドリを模倣した羽ばたき飛行体における揚力増大の実現と、翼が変化しても姿勢制御が可能な制御器の実現であると述べている。

第2章「Flapping mechanism and biomimetic wings」(羽ばたき機構と生物模倣翼)では、本研究で提案するラックアンドピニオン機構と2段遊星歯車減速器を用いた羽ばたき機構が説明され、減速比12と16および羽ばたき振幅158°と178°との比較実験により、減速比16と羽ばたき振幅158°が、効率、すなわち入力電力当たりの揚力を向上させることを示している。次に、伸縮性のあるシリコン翼膜を機体に接続して翼のフェザリングを少ない衝撃で制限する方法が提案され、従来の剛体ストッパによる制限方法よりも、羽ばたき周波数24 Hzにおいて効率が24.2%、揚力が8.4%向上し、翼1枚あたりの揚力116 mN および入力電力当たりの揚力41 mN/Wを達成したことが実験により示されている。

第3章「Control mechanism」(制御機構)では、まず3つのサーボモータを用いて翼運動を変化させヨー、ピッチ、ロールの各方向のトルクを発生させる機構について述べている。すなわち、ヨー方向のトルクは、左右の翼を互いに逆方向へひねることで生じる平均抗力の左右差を利用して発生させ、ピッチ方向のトルクは、左右の翼を同方向にひねることで生じる同方向の平均抗力を利用して発生させ、ロール方向のトルクは、左右の翼膜の張力に差を与えることで生じる平均揚力の左右差を利用し、さらにサーボモータの位置の左右変化で重心をずらすことで発生させることを可能としている。次に、両翼を備えた羽ばたき機を6軸力センサに固定した実験により、羽ばたき周波数20 Hzにおいてヨー、ピッチ、ロールの各方向のトルクがそれぞれ最大1.3 mN·m、1.2 mN·m、1.2 mN·m発生できることを示している。

第4章「Attitude controller」(姿勢制御器)では、まず、従来の羽ばたき機のPID(proportional-integral-derivative)フィードバック制御では外乱やモデルの不確実性に対する適応性に課題があることを指摘し、本研究では、非線形外乱オブザーバを含む3重ループのフィードバック制御により、モデルの不確実性に対応できると述べている。次に、ジンバル機構に羽ばたき機を取り付けて外乱を与える実験により、3重ループ制御がPID制御よりも、ヨー、ピッチ、ロールのいずれの外乱に対しても、姿勢回復の角速度と定常偏差のどちらにおいても優れることを示している。さらに、片翼の面積を減らした場合および両翼の面積を減らした場合でも、3重ループ制御はPID制御よりも姿勢回復性能の変化が小さく、3重ループ制御が外乱と翼面積減少に対する適応性に優れていると述べている。

第5章「Conclusions and future prospects」(結論と今後の展望)では、本研究で得られた結果を総括し、今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文は、ハチドリを模倣した羽ばたき飛行体において、揚力を高効率に発生する翼構造と飛行制御のためのトルク発生機構を実現し、非線形外乱オブザーバを含む三重フィードバック制御器を装着し、外乱と翼面積変化への適応性を実現したものであり、工学上および工業上、貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。