

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K19978

研究課題名(和文)クロマルハナバチ実装型マルチコプターの開発

研究課題名(英文)Development of multi-copter mounted with bumblebee

研究代表者

清水 正宏(Shimizu, Masahiro)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：50447140

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、クロマルハナバチから飛翔筋活動電位情報を取得し、昆虫操縦型マルチコプターを構築することを目的とする。クロマルハナバチがマルチコプターを新たな身体として拡張(拡張ボディイメージ)して認識し、適応能力を発現する自立型飛行ロボットを試みた。身体のイメージを拡張できるかどうかを生体-機械融合システムを採用することで議論した。対象昆虫をクロマルハナバチとした。本研究によって、生体機械融合システムの実現に関わる工学的成果のみならず、昆虫の生態学的な、また生体力学的な理解を深めることができる。これまで、飛翔筋活動電位の活用がクロマルハナバチの左右旋回飛行の弁別に有用であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、生物の適応能力の理解と応用を目指し、生体-機械融合システムの研究が行われてきた。特に、昆虫は少数ニューロン系であるにもかかわらず、飛行能力や環境適応能力など様々な能力を有する。クロマルハナバチから昆虫の飛翔筋活動電位情報を取得し、昆虫操縦型マルチコプターを構築することを試みる。クロマルハナバチによって操縦されるマルチコプターが障害物回避能力を有するならば、マルハナバチがマルチコプターを新たな身体として拡張(拡張ボディイメージ)して認識し、適応能力を発現するといった挑戦的な研究としての意義を有する。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to obtain the flight muscle action potential information from the bumblebee and construct an insect-controlled multicopter. We tried to develop a self-supporting flying robot that expands and recognizes the multicopter as a new body by the bumblebee (extended body image) and recognizes it. We discussed whether the image of the body can be expanded by adopting a bio-machine hybrid system. The target insect was a bumblebee. By this research, we can deepen not only the engineering achievements related to the realization of biomechanical hybrid system but also the ecological and biomechanical understanding of insects. So far, it has been clarified that the use of flight muscle action potentials is useful for discriminating between left and right turning flight of bumblebees.

研究分野：バイオソフトロボティクス

キーワード：クロマルハナバチ マルチコプター 飛翔筋活動電位

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生物はさまざまな環境に適応して、歩行、飛行、遊泳などの運動を発現する。応募者は、これまで、生物の環境適応能力を人工物に直接実装するために、生体-機械融合システムの開発を推進してきた。一方で身体の機械構造にも適応性を生むためには、生体の直接活用が有効だという認識に至った。筋肉は、エネルギー効率に優れた生体の駆動源であり、生体固有の骨格構造とともに働くことで生体独自の環境適応的運動が発現する。そこで、アフリカツメガエルの生体筋をロボットに実装した、サイボーグ型遊泳ロボットを開発した。次の段階として、筋肉・機械構造系が上位中枢の脳と連関することで生み出される、より高度な適応能力を明らかにする研究構想に至った。

近年、生物の適応能力の理解と応用を目指し、生体-機械融合システムの研究が行なわれてきた。特に、昆虫を利用したシステムの開発が盛んに行なわれているのは、昆虫は少数ニューロン系であるにもかかわらず、飛行能力や環境適応能力など様々な能力を有するからである。神崎らのグループ(東京大学)は、カイコガの脳を摘出し、車輪型ロボットに実装した生体-機械融合システムを開発した。倉林らのグループ(東京工業大学)は、カイコガの飛翔筋活動電位から匂い源探索行動を解析した。Sato et al. (当時、カリフォルニア大学バークレイ校, USA. 現、南洋工科大学, シンガポール.) は、カブトムシに、マイクロプロセッサを実装し、遠隔飛行制御を実現した。本研究構想においては、国内外の学術的成果を応用することで、クロマルハナバチから飛翔筋活動電位情報を取得し、昆虫実装型マルチコプターを開発する。マルハナバチは、飛行時に、固有のパーソナルスペースに基づいて、障害物を回避しながら目的地に達する環境適応能力を有する。クロマルハナバチの操縦するマルチコプターが障害物回避能力を有するならば、マルチコプターを新たな身体として拡張(拡張ボディイメージ)して認識し、適応能力を発現するといった挑戦的な研究としての意義を有する。

2. 研究の目的

本研究は、クロマルハナバチから飛翔筋活動電位情報を取得し、昆虫実装型マルチコプターを構築することを目的とする。クロマルハナバチがマルチコプターを新たな身体として拡張(拡張ボディイメージ)して認識し、適応能力を発現する自立型飛行ロボットを実現する。クロマルハナバチが本来有する固有のパーソナルスペースに基づく障害物回避能力を、クロマルハナバチの生体と比較して大きいマルチコプター上に搭乗した状態で発揮できるかどうかを検証する。これは、身近な例でたとえると、人間が自動車を運転する際に、人間と自動車の大きさが異なるにもかかわらず、衝突せずに運転できる能力である。このように、身体のイメージを拡張できるかどうかを生体-機械融合システムを採用することで明らかにする。前述したように、カイコガの筋電位活動の変化により、行動推定が可能であることはすでに示されている。しかしながら、カイコガは飛翔筋が退化しており飛行が難しいことから、対象昆虫をクロマルハナバチとする。理由としては、優れた飛行能力を有すること、年中入手可能であること、身体が十分に大きく電極を刺しやすいたことが挙げられる。また、近縁種に西洋マルハナバチがいるが、日本国内での拡散が制限されているため、クロマルハナバチを採用する。

3. 研究の方法

(1) クロマルハナバチ飛行における左右旋回の弁別

固定された環境にクロマルハナバチをテザリングし、飛翔筋活動電位から左右旋回飛行を弁別することを試みた。これにより、クロマルハナバチがマルチコプターを「操縦するための意図情報」を抽出することを試みた。まず、「飛翔筋活動電位の計測」を行なった。既にクロマルハナバチの飛翔筋活動電位の取得が可能となっている。左右旋回時には左右の羽の運動にちがいがあることから、羽を動かす筋肉である飛翔筋の左右の活動電位の差を計測することにより、左右旋回運動の弁別を試みた。飛翔筋には、主に出力を制御するパワーマッスルと、旋回を制御するコントロールマッスルがあることが、解剖学的にわかっている。飛行時には、これらの筋肉の活動電位の組み合わせにより、旋回運動が行なわれるとして、左右旋回運動の弁別を試みた。また、並行して「マルチコプターカメラの主観動画を利用したクロマルハナバチ AR システムの開発」を行なった。左右旋回運動の弁別を行なう

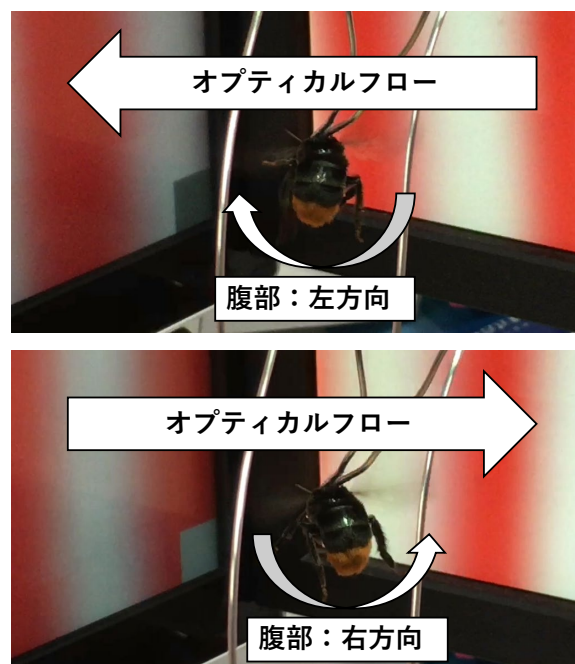


図1：左右方向に変化するオプティカルフローを与えられた時の、クロマルハナバチの腹部揺動運動。クロマルハナバチは左右の旋回飛行時に同時に腹部の運動が観察される。

ためには、クロマルハナバチに実際に運動をさせなければならない。この要請に対して、クロマルハナバチは左右のオプティカルフロー（左右方向に動く景色を利用した視覚入力）に応答し、左右の旋回飛行を行なう。図1、図2では、紅白縞の単純なオプティカルフローを与えたときに、テザリング環境下であっても、左右の旋回飛行を行なう様子を示している。そこで、この応用として、より、複雑で自然なオプティカルフローに対して旋回飛行を行なうかを検証した。具体的には、マルチコプターを単独で飛行させて、同時に前方カメラによる主観動画を取得した。この主観動画に対してもテザリング環境下のクロマルハナバチが応答するかを計測した。また、旋回時の力学的情報を直接計測するための微小トルク計測環境を構築した。これを達成することで、クロマルハナバチをマルチコプターに実装する前段階として、テザリング環境下からマルチコプターを遠隔操作することができた。

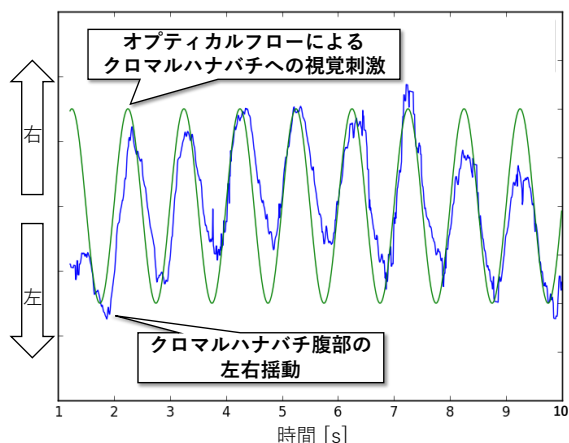


図2：図1のオプティカルフローとクロマルハナバチの腹部揺動運動の同期。腹部揺動運動により、クロマルハナバチ飛行時の左右旋回を容易に弁別可能である。

4. 研究成果

本研究は、クロマルハナバチから飛行筋活動電位情報を取得し、昆虫操縦型マルチコプターを構築することを目的とする。クロマルハナバチがマルチコプターを新たな身体として拡張（拡張ボディイメージ）して認識し、適応能力を発現する自立型飛行ロボットを試みた(図3)。身体のイメージを拡張できるかどうかを生体-機械融合システムを採用することで議論した。対象昆虫をクロマルハナバチとした。本研究によって、生体機械融合システムの実現に関わる工学的成果のみならず、昆虫の生態学的な、また生体力学的な理解を深めることができる。これまでで、飛行筋活動電位の活用がクロマルハナバチの左右旋回飛行の弁別に有用であることが明らかとなった。

マルチコプターカメラの主観動画を利用したクロマルハナバチ遠隔操作システムの開発を行った。左右旋回運動の弁別を行なうためには、クロマルハナバチに実際に運動をさせなければならない。この要請に対して、クロマルハナバチは左右のオプティカルフロー（左右方向に動く景色を利用した視覚入力）に応答し、左右の旋回飛行を行なった。そこで、複雑で自然なオプティカルフローに対して旋回飛行を行なうかを検証した。具体的には、マルチコプターを単独で飛行させて、同時に前方カメラによる主観動画を取得した。この主観動画に対してもテザリング環境下のクロマルハナバチが応答するかを計測した。クロマルハナバチをマルチコプターに実装する前段階として、テザリング環境下からマルチコプターを遠隔操作することが可能となった。

ここまでの結果をより高精度にするための工夫を行った。左右旋回飛行の弁別のために使う情報として、飛行筋の活動電位のみを利用していた。これに対して、本年度においては、飛行筋活動電位の時系列における波形自体の比較も行うことで、弁別精度の向上を試みた。また、最終的に飛行筋活動電位の情報を持ちいてマルチコプターのリアルタイム制御を行うために、弁別をリアルタイムに行う方法の検討も行った。飛行行動の検証をトルクセンサによる応答もあわせて整合性の検証も行った。

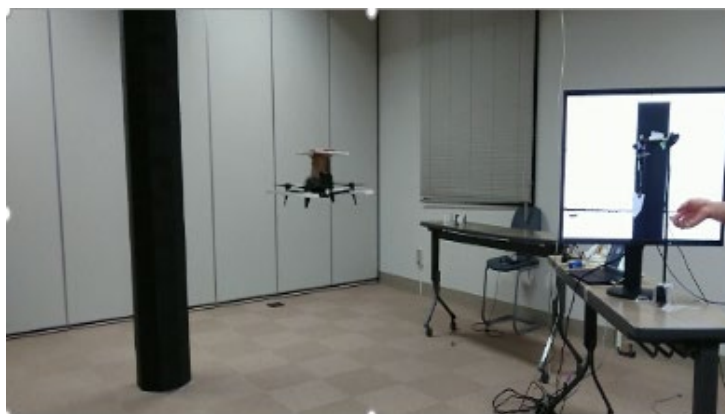


図3：クロマルハナバチの遠隔操縦型マルチコプターによる、障害物回避実験の様子。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 小林広希, 清水正宏, 山口美悠, 細田耕
2. 発表標題 マルハナバチによる遠隔操縦型マルチコプタ
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro SHIMIZU, Miyu YAMAGUCHI, Hiroki KOBAYASHI and Koh HOSODA
2. 発表標題 Flying control of multicopter by optically-stimulated tethered bumblebee
3. 学会等名 The 40th annual meeting of the Japanese Society for Comparative Physiology and Biochemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口美悠, 清水正宏, 安藤規泰, 神崎亮平, 細田耕
2. 発表標題 マルハナバチ旋回時の飛翔筋活動電位に基づいた行動弁別
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----