



Title	Autonomous Navigation of Intelligent Cyborg Insect in Unstructured and Unknown Environments Based on Onboard and Offboard Sensors
Author(s)	Ariyanto, Mochammad
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/96060">https://hdl.handle.net/11094/96060</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name (ARIYANTO MOCHAMMAD)	
Title	<p>Autonomous Navigation of Intelligent Cyborg Insect in Unstructured and Unknown Environments Based on Onboard and Offboard Sensors</p> <p>(オンボード・オフボードセンサーによる無限定未知環境下における昆虫サイボーグの知的自律ナビゲーション)</p>
<p><b>Abstract of Thesis</b></p> <p>For over a decade, researchers have built cyborg insects by mounting a wireless backpack stimulator on insects. Combining insects with mechatronics creates a cm-scale hybrid robot that moves well in unknown environments. Moreover, developing a low-power, lightweight backpack for sustained operation is a challenge due to size and payload constraints. Cyborg cockroach navigation has not been explored and studied by researchers in unstructured and unknown environments so far. In this study, the feedback control for autonomous navigation from onboard and offboard sensors is developed and implemented under unknown and unstructured environments. Obstacle avoidance and autonomous navigation that are based on onboard sensors (IMU, and distance sensors) and offboard sensors (motion capture systems) are proposed. The proposed feedback control successfully navigates the cockroaches to avoid obstacles and walls, escape sharp corners, and move toward the destination area.</p> <p>Chapter 1 introduced the background of the cyborg insects and the challenges of developing this hybrid robot. The motivation and the objectives of this dissertation were presented.</p> <p>Chapter 2 provided a comprehensive overview of cyborg insect technology, focusing on wireless backpack stimulators to control the locomotion of cyborg insects. The proposed backpacks that have been developed during this study were presented to address challenges for autonomous navigation in unstructured and unknown environments.</p> <p>Chapter 3 addressed the challenge of open-loop control for cyborg insects via teleoperation techniques instead of local wireless communication. The proposed system enabled us to steer cyborg cockroaches manually to follow a predetermined trajectory and avoid a circular obstacle. Machine learning techniques were applied to optimize the insect's movement within a circular bounded space. The study showed that the search rate could be increased, and stimulation provided to the insect was reduced to minimize cockroach fatigue.</p> <p>Chapter 4 solved the challenge of cyborg insect obstacle avoidance in unstructured environments. Autonomous navigation is equipped with IMU, distance sensors, and a motion capture system. This multi-sensor setup, coupled with a feedback loop, allows cockroaches to navigate autonomously, avoiding obstacles, escaping corners, and even detecting nearby humans. This is the first demonstration of a cyborg insect augmented with three sensors achieving navigation in unstructured and unknown environments.</p> <p>Chapter 5 applied human presence detection in cyborg insects utilizing a thermal array sensor. The human recognition algorithm was applied in both offboard and onboard cyborg insects. The proposed human detection results could recognize the human presence at a short distance.</p> <p>Chapter 6 summarized the main idea and results of this dissertation and proposes potential development in the future study.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Mochammad Ariyanto)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	森島 圭祐
	副 査	教授	大須賀 公一
	副 査	教授	石川 将人

**論文審査の結果の要旨**

昆虫のような超小型生命体に無線で刺激を与える小型電子デバイス（バックパック）を取り付けてサイボーグ化し操作することで、無限定未知環境下における昆虫サイボーグの知的自律ナビゲーションの手法について提案している。サイボーグ昆虫とメカトロニクスを組み合わせることで、センチメートル単位のバイオハイブリッドロボットが未知環境下で探索などの作業をおこなうことが可能になることを示している。しかしながら、昆虫サイボーグに搭載するバックパックの大きさ及び重量に限界があることから、動作を持続させるための低電力で軽量のバックパックを開発することが課題で、無限定未知環境下における昆虫サイボーグのナビゲーションはこれまで困難であった。そこで、本論文では、オンボード・オフボードセンサーにより、フィードバック制御することで、無限定未知環境下においても生物の本来の持つ能力と電子制御技術を組み合わせることで、自律ナビゲーションを実現することを目指している。本論文では、オンボードセンサー（IMU および距離センサー）とオフボードセンサー（モーションキャプチャ）を用いることで、障害物回避と自律ナビゲーションの実験環境を構築し、フィードバック制御手法によって、壁及び障害物の回避や狭隘路から脱出しながら目的地までゴキブリを誘導することに成功している。本論文の構成は以下のとおりである。

第一章では、昆虫サイボーグの研究背景とハイブリッドロボット開発の課題を挙げ、本論文の目的を示している。

第二章では、昆虫サイボーグの行動を電気刺激によって制御するワイヤレスバックパックに注目し、昆虫サイボーグ技術の概要についてまとめ、本論文における無限定未知環境下における自律ナビゲーションの課題を解決するために必要なバックパックの設計仕様について、述べている。

第三章ではローカル無線通信の代わりに遠隔操作によって昆虫サイボーグを開ループで制御する課題について論じている。提案したシステムによって、手でサイボーグゴキブリを操作し、円形の障害物を回避しながら所定の軌道上に沿って誘導させることに成功している。また、円形に区切った空間内におけるゴキブリの動きを機械学習によって最適化し、ゴキブリが探索できる範囲を増加させるとともに、ゴキブリの疲労を最小化するように刺激を減少させる手法について述べている。

第四章では、無限定未知環境下における昆虫サイボーグの障害物回避の課題を解決するための手法について述べている。自律ナビゲーションは、IMU、距離センサーおよびモーションキャプチャによって達成し、複数のセンサーとフィードバックループを組み合わせることで、ゴキブリは自律走行し、障害物や行き止まりを避け、さらに近くのヒトを検出する実験にも成功している。これにより、3つのセンサーを搭載した昆虫サイボーグによって無限定未知環境下での自律ナビゲーションを初めて実証することに成功している。

第五章では、サーモパイルアレイセンサーを利用した昆虫サイボーグがヒトの存在を検出する応用実験について述べている。オフボードのデータを使用した場合とオンボードのみのデータを使用した場合の両方で開発したヒト認識アルゴリズムの検証実験をおこなった結果、どちらの場合でも近距離のヒトの存在を認識することに成功している。

第六章では、本論文の結言として、まとめと今後の展望について述べている。

以上のように、本論文は、これまで小型ロボット、マイクロロボットでは困難であった無限定未知環境下における知的自律ナビゲーションを昆虫の持つ生来の能力を生かしながら電子制御を加えることで実現しており、動的システム、生物と機械の融合システムの設計論として、学術的に意義あるものである。

よって、博士論文として価値あるものと認める。