

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	腹足類の運動に着目した進行波で推進するシート形移動体の機構と制御
Title(English)	Mechanism and Control of Sheet-type Mobile Robots Propelled by Traveling Waves Focused on the Movement of Gastropods
著者(和文)	渡辺将広
Author(English)	Masahiro Watanabe
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10792号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:塚越 秀行,鈴森 康一,蜂屋 弘之,山北 昌毅,遠藤 玄
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10792号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械制御システム	専攻：	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	渡辺 将広		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	塚越 秀行	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor (sub)		

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「腹足類の運動に着目した進行波で推進するシート形移動体の機構と制御」と題し、全 7 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、本研究の背景と意義、目的を述べる。まず、腹足類がシート状の腹足に Pedal waves と呼ばれる筋収縮の進行波を生成しながら移動する現象に着目し、これを工学的に再現する手段を確立することで、移動ロボットの適用領域を拡張できることを述べる。なかでも、i) 粘液と進行波との相互作用で壁面や天井面へ吸着したまま推進する手段、および ii) 進行波を生成する薄型柔軟なシート構造で狭隘空間を移動する手段は、移動ロボットの機動性を高める有用な移動方法となり得ること、一方でこれらを工学的に再現するうえで設計上の知見が十分に得られていなかったこと、さらに生物学的にも未解明な現象が残されていたことを述べる。以上を踏まえて本論文の目的は、上記課題の解決を図るとともに、進行波で推進するシート形移動体を具現化するための機構と制御を検討し、その有効性を検証することとする。

第 2 章「粘液吸着式這行運動の原理」では、カタツムリの吸着原理の究明と進行波と粘液を利用した壁面・天井面の吸着移動のための条件を明らかにする。まず、ミスジマイマイを用いてこれまで不明確だったカタツムリの粘液特性および吸着力の異方性と材質と吸着力の関係を調べ、生物の粘液と進行波による吸着移動の原理を明らかにする。次に、壁面の吸着移動の力学モデルを導出し、ロボットが壁面を粘液で移動するための条件として、粘液特性、摩擦の異方性、足裏の面積比の関係を明らかにする。

第 3 章「剛体移動体による粘液吸着式這行運動の検証」では、2 章で示した条件をもとに粘液吸着式壁面移動ロボットを設計し、実験した結果を述べる。実験機として、剛体構造を基本とした準横波型と縦波型の 2 つの進行波生成装置を提案する。第一の準横波型は連続的な波を生成できる波伝播ロボットであり、第二の縦波型は足を擦りながら移動する Rim 等速型ロボットである。それぞれのロボットの構成や動作原理を述べたのち、壁面や天井面で実験して人工粘液と進行波の違いが吸着と推進速度にどのような影響を与えるのかを実験的に検討する。

第 4 章「進行波の運動解析」では、準横波型の推進速度に主眼を置く。はじめに、従来の進行波の推進速度の記述方法の問題点を示し、これらを解決するために幾何学的関係から得られる推進速度の解析解の導出や、波の表面の軌道を確認するための数値シミュレーション、理論の実証のための実験を行う。これにより、進行波の推進速度が厚さや振幅、波長、時間のパラメータを用いた一般化した式で表せることを示す。

第 5 章「柔軟シート形進行波生成アクチュエータ」では、準横波型の進行波の生成と構造の柔軟性を両立させた空気圧アクチュエータの設計方法とその工学的特性を検証する。まず、進行波を生成する柔軟なアクチュエータを構造の違いから大別し、問題点や特性の違いを示す。次に、様々な波形を生成できる「柔軟変形型」アクチュエータを提案しその基本構成を示す。次に波形のパターンを数学的に導き、のこぎり波型、正弦波型、半波整流波型 3 つの波形の候補を明らかにする。そして、アクチュエータの動作原理と構造、製作方法、制御方法を示す。また、アクチュエータの速度や振幅、力学的な特性などの基本的な特性を導出し、実験により検証する。最後に、アクチュエータを狭隘環境内の推進や物体の搬送実験を行い、異なる性質を示す波形を使い分けることで、目的に応じたアクチュエータの設計ができることを示す。

第 6 章「ペイロード向上のための方策」では、よりペイロード性能を向上させたシート形進行波生成アクチュエータを提案する。まず、進行波生成の原理、構成、製作方法を示す。そして、動作実験を行い、振幅、推進速度、ペイロード、牽引力などの諸特性を明らかにし、本手法により推進速度に加えてペイロードの向上を実現できることを示す。また、圧力室を直交配置することで X-Y 方向の 2 方向への進行波の生成ができることを動作実験で示す。さらに、進行波移動体の総合的考察として、これまで開発した全ての進行波生成アクチュエータの吸着力と推進速度の双方から評価し、進行波で推進するシート形移動体の限界と可能性を考察する。

第 7 章「結論」では、本論文で得られた進行波で推進するシート形移動体の機構と制御に関する知見を総括し、残された課題と今後の展望について論ずる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	機械制御システム	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名 : Student's Name	渡辺 将広		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	塚越 秀行	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This study focuses on the pedal waves of the gastropods and proposes the mechanism and the control method of sheet actuator that generates traveling waves. The method of applying the two functions of the gastropod is discussed, i) crawl while absorbing on walls and ceilings using mucus, ii) the body is a flexible sheet structure with shape adaptability. In this study, the wave is roughly divided into two types, 'longitudinal wave' which moves in the same direction as the propagation direction of the wave and 'traveling wave' which moves perpendicularly to the wave propagation direction, and the characteristics of each wave are clarified.

First, we examine the locomotion principle of snails that move while adsorbing on the outer environment with mucus. Then, the findings are applied to two robots that generate longitudinal waves and traveling waves. In order to clarify the mechanism of the crawling snail, the mucus characteristics and the anisotropy property of adsorption force of *Euhadra peliomphala* are investigated. Then, the condition to climb walls and ceilings is clarified and validate the validity of the method by experiments.

Secondly, the device that generates 'traveling waves' with a flexible sheet structure is proposed. An analytical solution of the propulsion speed using the traveling wave is derived and numerical simulation of the trajectory of the surface of the wave is performed. Also, experiments are conducted and verified the validity of the theory. In addition, two pneumatic driven flexible sheet actuators that generate traveling waves are proposed. The waveform design, fabrication method, control method, dynamic analysis, and experiments to evaluate the performance are presented.

Finally, from the results obtained through these experiments, the performance of adsorption force and propulsion speed of the whole proposed traveling wave actuators are evaluated and discuss the remaining issues and future prospects.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).