



Title	A study on modular robots with multi-directional movement
Author(s)	Mak, Kwan Wai
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/76539">https://doi.org/10.18910/76539</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name ( Mak Kwan Wai )	
Title	A study on modular robots with multi-directional movement (多方向運動が可能なモジュールロボットに関する研究)
<p><b>Abstract of Thesis</b></p> <p>This thesis discusses the idea of developing a new modular robot, which can achieve high freedom of movement, couple with other robots and perform synchronized actions, for the construction of locomotive structures in micro gravity environment.</p> <p>First, a new design of cubic robot (Macrotis) using snap-through-buckling mechanisms as actuators was proposed for achieving high freedom of movement. By installing two snap-through-buckling mechanisms on the robot, together with other mechanisms for adjusting the directions of force output, a translational force can be generated when the two mechanisms generate forces at the same time to the same direction; a moment about the center of the robot can be generated when those forces are in the opposite directions. In addition, the 2 platforms can be aligned with the horizontal level when the robot is positioned horizontally on ground in any orientation. The robot's movement can be controlled through suitable electronic and software design. The motions of the robot under micro gravity was demonstrated by performing experiment on a slope, where the force component parallel to the surface of the slope acted as the pseudo micro gravitational force. In the experiment, rolling and jumping motions of the robot were assessed.</p> <p>Second, a wireless multi-master communication platform for distributed robot systems was developed. Cube-shaped, transparent test modules with infra-red (IR) transceivers installed at all 6 faces were produced. Each test module is equipped with an electronic circuit for supporting wireless transmission of CAN messages via IR, with two rules introduced to the circuit to avoid formation of deadlock loop, regardless of the formation of modules. Messages are prioritized using unique identifiers (ID) offered to all modules. Relay of messages by modules was promoted by modifying the ID field. A program was designed to test on the communication platform, where the periodic LED flash of modules were to be synchronized through communication between modules. From experiments, it is verified that communication can be established and synchronization can be achieved with 8 modules in 4 different formations. The very small deviation in absolute time difference in the flash of modules shows that modules can be well synchronized by using the communication platform.</p> <p>Third, a new cubic modular robot that consists of the actuator part of Macrotis and a magnet-equipped body frame was considered. With the design, it is supposed that the robot is capable of performing jumping and rolling motions in multiple directions, and coupling with other robots for forming closely packed structures. Based on the information obtained from the distance sensors installed on all faces of the body frame for measuring the distance between robots, and the sensor for detecting the direction of gravity, rules were set for controlling the action of robots. With parameters of Macrotis applied and equations implemented for resolving force and torque acting on magnets in the field, a computer simulation was conducted using Open Dynamics Engine. Through simulation conducted with cases of different initial position and orientation on different number of robots in the field, statistical results show that the average number of clusters formed, average number of robots included in the largest cluster formed and the time for forming the structures increase with the number of robots in the field.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 ( Mak Kwan Wai )		
	(職) 氏名	
論文審査担当者	主査	教授 大須賀 公一
	副査	教授 石川 将人
	副査	教授 東森 充

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、微小重力環境下で移動できる再構成可能な構造体を構成するための、多方向への運動、他ロボットとの結合、同期化した動作ができる、新しいモジュールロボットの構築法に関する研究について述べる。

2章では、多方向への運動を可能にするため、飛び移り座屈機構をアクチュエータとして利用した新しい立方体のロボット Macrotis を提案し、試作する。このロボットには、2つの飛び移り座屈機構と出力方向の調整メカニズムが組みこまれている。さらに、この2つの機構が同時に同じ方向へ力を発生させることで並進力を生成することができ、反対方向へ力を発生させることでロボット中心の周りの力のモーメントを生成することができる。これらのメカニズムによって本ロボットは任意の方向に移動できるようになる。そして、緩やかな坂道を利用して、模擬的に、Macrotis の微小重力下での運動実験を行う。具体的には、坂道の斜面に平行する重力の力成分を擬似微小重力とした坂道の上の実験に得られた結果から、ロボットの回転と跳躍運動を評価する。

3章では、分散ロボットシステムに対応するワイヤレスマルチマスター通信システムの構築について述べる。試作する透明な立方体のモジュールでは、全6面に赤外線送受信機を取り付ける。そして、赤外線を利用したワイヤレスのCAN通信に対応するために、各モジュールに通信ユニットを装備する。さらに、任意に配置されたモジュールがデッドロックに陥ることを防ぐため、通信システムに2つのルールを導入する。具体的には、全てのモジュールにそれぞれ違うID番号を付与することで、メッセージの優先度を設定することができるようになる。また、ID域を改造することにより、モジュールの間におけるメッセージの遅延が促進できるようになる。そして、通信システムの稼働実験を行う。そこで想定する制御目的は、モジュールの間の通信によって発光ダイオードの周期的な点滅を同期化することである。そして、4つのフォーメーションで配置された8つのモジュールでの通信と同期化が実現できることを示す。

4章では、前述した Macrotis のアクチュエータ部分と磁石が装備された外殻で構成された新しい立方体のモジュールロボットを考案する。この設計により、このロボットは多方向への跳躍と回転運動が可能であり、他のロボットと結合して密接する構造を形成することができるようになる。また、ロボット間の距離を測るために距離センサー、重力の方向を検出するためのセンサーから受け取った情報に基づいてロボットの行動を制御するための制御則を設計する。具体的には、Macrotis の物理パラメータを利用し、場の中のそれぞれの磁石に与えられた力とトルクを算出するための方程式群を用いることで、スーパーコンピュータ上でシミュレーションを行う。そして、統計的に制御性能を評価する。その結果から、形成された平均の塊の個数、形成された最大の塊の中に含まれた平均のロボットの個数、それに構造物の形成に掛かる時間が場の中のロボットの個数とともに増えること、などを示す。

以上から、本論文は、微少重力下で移動可能なモジュールロボットの設計、駆動方式、通信方式、制御方式などに関する新たな知見を与え、群ロボットの設計論に対する有益な方向性を与え、学術的に意義あるものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。