

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：32619  
研究種目：基盤研究(C) (一般)  
研究期間：2014～2016  
課題番号：26420427  
研究課題名(和文)クライミングロボット及び支援システム

研究課題名(英文)Climbing robot and the support system

## 研究代表者

島田 明 (Shimada, Akira)

芝浦工業大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：50554218

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は「クライミングロボット及び支援システム」に関する基礎的な研究である。研究を遂行するために2項目を実施した。まずは、最適経路計画の確立、力とモーメントを考慮した姿勢制御および移動制御アルゴリズムの開発を行った。いずれも学会等で提案を行った。具体的には、ロボットが壁を落ちずに姿勢を維持するための制約条件の下で最適姿勢及び最適力の導出方法を基礎とするアルゴリズムを提案した、一方、アルゴリズム検証のためには実験装置として、クライミングロボット、クライミング壁、壁を観測するためのビジョンシステム、ロボットの落下時に破壊・故障からロボットを守るためのシステムの試作製作を行った。

研究成果の概要(英文)：This study has been performed to develop a climbing robot and the corresponding support system. For the robot to keep balance without fall, it needs to satisfy some important constraints. This study proposes the algorithm that the climbing robot system derive the optimal solution to satisfy the above constraints. On the other hand, the experimental equipment should be developed in order to evaluate the presented algorithm. The system we developed consists of the climbing robot, the climbing wall with many holds, the vision system to observe the wall, the simple mechanical system using rope to prevent the fall.

研究分野：工学

キーワード：ロボット クライミング ヒューマノイド

## 1. 研究開始当初の背景

### 1) 災害支援に関する国内外の研究

東日本大震災に限らず、人の活動する世界ではあらゆる場所で災害が起きている。災害地では、観測・運搬・救助等の様々な作業が必要である。多くの移動ロボットが災害地用に開発されてきたが、その多くは車輪やキャタピラ等を有し、地面や床を移動する。しかしながら、倒壊建物やがれきなどが散乱する災害現場では、そうしたロボットは移動困難であり、クライミングロボットで移動課題を解決する可能性がある。また、山岳地や海岸において岩壁を登る機能が有効で望ましいケースがある。

### 2) クライミングロボットの研究例と学術的背景

動物や虫を模した多脚でのクライミングロボットやビル壁等を吸盤で登る建設用ロボットなどの例は多いが、傾きも形状も不規則な壁を登る人間型クライミングロボットの例は少なく、そのクライミングルートの探索や力学的な解析、制御系設計に関する研究となると手付かずである。島田らは人間型ロボットによる研究を始めたが、初步的な成果に留まっていた。

## 2. 研究の目的

本研究は、「クライミングロボット及び支援システム」を開発するための研究である。災害地では、観測・運搬・救助等の様々な作業が必要である。これまで多くの移動ロボットが災害地での活躍を意図して開発されてきたが、その多くは車輪やキャタピラ等を有し、地面や床を移動するロボットである。しかしながら、倒壊建物やがれきなどが散乱する災害現場においては、そうしたロボットは移動が困難であり、クライミングロボットにより、移動等の課題を解決する可能性がある。また、山岳地や海岸において岩壁を登る機能が有効で望ましいケ

ースがある。

## 3. 研究の方法

本研究を遂行し成功させるために必要な項目として2項目を実施する。

第1にはアルゴリズム開発である。すなわち、仕様を考慮に入れた最適経路計画法の確立、力とモーメントを考慮した姿勢制御及び移動制御アルゴリズムを開発する。このアルゴリズム検証には実験装置が必要である。

第2には実験装置の開発と評価実験である。実験装置は、人工的なクライミング壁、クライミング壁上の複数のホールド。クライミング壁を観察するビジョンシステム或いはホールドを認識するためのレーザセンサ装置、クライミングロボット、ロボットの落下時に破壊・故障からロボットを守るためのシステム等である。

## 4. 研究成果

本研究は「クライミングロボット及び支援システム」を開発するための研究である。災害地では、観測・運搬・救助等の様々な作業が必要であるが、倒壊建物やがれきなどが散乱する災害現場において、クライミングロボットにより、移動等の課題を解決できる可能性が考えられる。また、山岳地や海岸において岸壁を登る機能が有効であるケースが考えられる。本研究はその実現に向けた初期の基礎的な研究であった。本研究を遂行し成功させるために必要な項目として2項目を実施した。第一にはアルゴリズム開発であり、最適経路計画の確立、力とモーメントを考慮した姿勢制御および移動制御アルゴリズムの開発を行った。いずれも初期段階のものとして学会等で提案を行うことができた。

具体的には、ロボットが壁を落ちずに姿勢を維持するためには、ホールドに手足が届く、関節角度が可動範囲である、関節トルクが許

容範囲、ホールドでの手足にかかる力が許容範囲である等の制約条件と、縦横奥行き XYZ 軸の力 3 成分、同じく XYZ 軸周りのモーメント 3 成分が全て平衡状態を維持することの制約条件の下で、最適姿勢及び最適力の導出方法を基礎とするアルゴリズムを提案している。図 1、図 2 はロボットが 4 肢を用いて、ある最適姿勢を実現していることを仮定したシミュレーション結果を表現したものであり、所定のホールドに対して、質量中心 (COM) が実現可能な領域と手足にかかる力ベクトル等を非線形最適計画法に基づき、導出したものである。

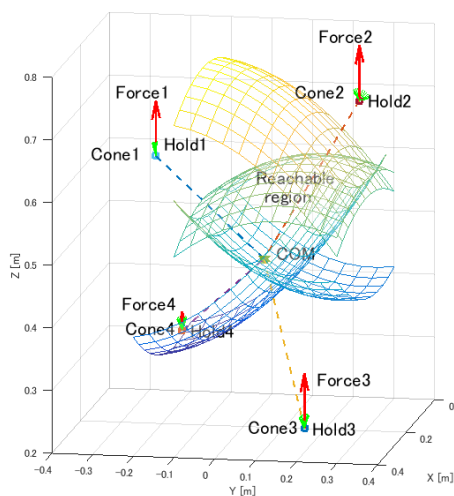


図 1 シミュレーション例 (1)

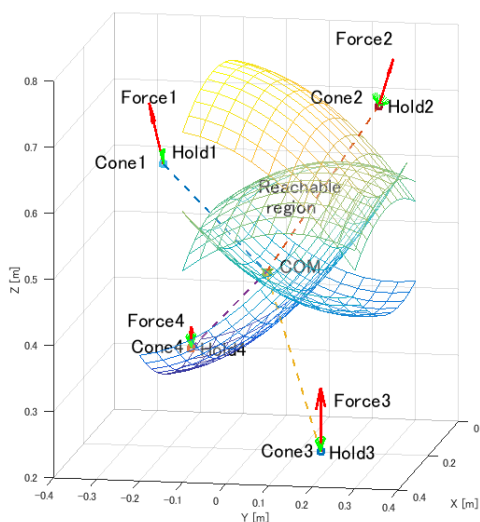


図 2 シミュレーション例 (2)

一方、アルゴリズム検証のためには実験装置が必要である。実験装置は、クライミングロボット、人工的なクライミング壁、クライミング壁上の複数のホールド、クライミング壁を観測するためのビジョンシステムあるいはホールドを認識するセンサ装置、ロボットの落下時に破壊・故障からロボットを守るためのシステム等から構成され、本研究で図 3 に示すような装置を試作製作した。



図 3 実験装置の外観

## 5 . 主な発表論文等

( 研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線 )

[ 雑誌論文 ] ( 計 1 件 )

Anh-Dung Nguyen, Shimada Akira :  
Equilibrium Control on Four-Limbed  
Climbing Robot, Applied Mechanics and  
Materials Journal, Vols.799-800, pp.1021  
-1027, 2015-10

[ 学会発表 ] ( 計 7 件 )

Nguyen Anh Dung, Akira Shimada :  
A Path-Planning Algorithm for  
Humanoid Climbing Robot using

Kinect Sensor, SICE Annual  
Conference 2014 in Sapporo,  
pp.1549-1554,2014-9-12  
Akira Shimada, Dung Anh Nguyen:  
Equilibrium Motion Planning of  
Humanoid Climbing Robot under  
Constraints, SAMCON2016, IS4-1,  
pp.1-4, IEEJ, 2016-3-8

Akira Shimada, Dung Anh Nguyen :  
Equilibrium State Control for Climbing  
Robot, IEEE Advanced Motion Control,  
pp.463-468 Auckland New Zealand,  
April 22-24,2016

島田 明, Dung Anh Nguyen : フリーク  
ライミングに学ぶモーションコント  
ロール, 第 56 回自動制御連合講演会,  
102, pp. 11-12, (2013-11)

島田 明, Dung Anh Nguyen : ヒューマ  
ノイドクライミングロボットにおける  
ダイナミクスの一検討, 第57回自動制  
御連合講演会, 1B08-1, pp. 656-658, 群  
馬伊香保, 2014-11-10

島田明, Nguyen Anh Dung, 古川絢子:  
クライミングロボットのための平衡状  
態制御, 第 58 回自動制御連合講演会,  
112-1, 神戸大学, 2015-11-14

島田明: クライミングロボットの平  
衡状態を維持するための最適化法, 第  
59 回自動制御連合講演会,  
ThC7-5, pp.536-541 北九州国際会議  
場, 2016-11-10

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.sic.shibaura-it.ac.jp/~ashimada/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

島田 明 (Shimada Akira)

芝浦工業大学 デザイン工学部 教授

研究者番号 : 50554218