

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420206

研究課題名(和文) 災害探索用球体センサのための球体外殻を持つ歩行ロボットの研究

研究課題名(英文) Study on walking robot with spherical outer shell for spherical sensor to search on disaster site

研究代表者

青木 岳史 (AOKI, Takeshi)

千葉工業大学・先進工学部・准教授

研究者番号：20397045

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、超弾性ロッドで構成する球体外殻を持つ歩行ロボットの開発を行っている。これまでに歩行動作による移動方法の確立と、球体外殻を用いた複合移動の実現、跳躍動作による移動の実現を目指して、3台の試作機の開発を進めてきた。試作したQRoSS IIとIVは球体外殻を用いた2種類の方式の回転移動を実現した。QRoSS IIIは跳躍動作による不整地移動を目的とし、跳躍動作の実現と、跳躍のための離陸姿勢の構築、歩行動作の検討を行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have been developing walking robots with a spherical outer shell composed of superelastic rods. We have been proceeding with the development of three prototype robots aiming at establishment of a movement method by walking locomotion, realization of hybrid movement using the spherical outer shell, and movement by jumping motion. QRoSS II and IV which are prototype models were realized rotational movement of two types using the spherical outer shell. QRoSS III is aimed at moving over rough terrain by jumping motion, we realized jumping motion, constructing takeoff posture, and considering walking locomotion.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボット工学

1. 研究開始当初の背景

近年、災害現場などで人が立ち入り不可能な場所での探索を目的として様々な不整地移動ロボットが開発されている。特に安価に製作可能な小型の探索用機器は複数台により同時に広範囲の探索が可能となるため、被災者の探索作業において非常に有効な手段であると考えられる。また災害現場への探索機器の搬入は瓦礫の倒壊などの危険性があり、二次災害を避けるためにも投擲によるロボットの搬入は有効な手段であると考えられる。我々はこれまでに小型の探索用機器として探索用球体センサの開発を目的とする図1に示すコンセプトを策定し、図2に示す耐衝撃性能を有する球体外殻を持つ四足歩行ロボットの開発を進めてきた。球体外殻は転倒時の衝撃を軽減するとともに、球体の表面形状を利用する事により転倒姿勢からの復帰を容易にすることが可能であるため、転倒を恐れないうり挑戦的な歩容の実現が可能となり、実用性の高い歩行ロボットの開発が可能になると考える。



図1 投擲可能な探索ロボット

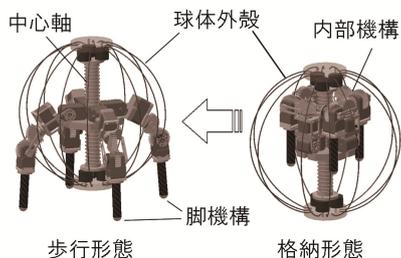


図2 球体外殻を持つ四足歩行ロボット

2. 研究の目的

災害現場での探索を目的とした小型の探索機器の開発を目的とし、レスキュー隊員による投擲によって現場搬入が可能な探索用球体センサとなる、球体外殻を持つ四足歩行ロボットの研究開発を行う。本研究では、球体外殻を用いた移動機構の開発と、球体外殻を用いた移動方法の確立を目的とする。

3. 研究の方法

先行研究において試作機としてQRoSS Iの開発を行った。QRoSS Iは超弾性ロッドで構成する直径200mmの球体外殻を持つ四足歩行ロボットであり、重量は約1.0kgであった。QRoSS Iは動作実験により、基本動作である

着地状態からの起き上がり、四足歩行による移動が可能であることを確認した。しかしアクチュエータのトルク不足により、球体外殻を効果的に利用した複合移動の実現には至らなかった。

そこで複合移動を実現するために、脚機構の関節配置を再設計し、アクチュエータを高出力の物へと変更した2号機と4号機を開発を行う。どちらも球体外殻を連続的に回転させる移動方法を実現するために、2号機では球体外殻の外で脚を無限回転させる脚機構を開発し、4号機では無限回転機構を必要としない回転方法の検討を行う。さらにセンサシステムを導入し、動作実験の状態を解析することにより運動特性を明らかにする。

大きな瓦礫上を小型の探索機器が移動する場合は跳躍による障害物踏破が非常に有効な手段である。3号機では球体外殻の中心軸に復動式エアシリンダを内蔵し、跳躍により障害物を踏破する。跳躍動作を実現するためには、脚による離陸姿勢の制御と、着地に備えた脚の球体外殻内への格納が必要となる。

4. 研究成果

(1) QRoSS II の開発

2号機の開発として、1号機であるQRoSS Iを大型化したQRoSS IIの試作を行った。QRoSS IIは、球体外殻の直径が280mm、重量は2.8kgであり、1.4倍に大型化したことにより各アクチュエータのトルクを約7倍の4.1Nmにすることができた。図3はQRoSS IIの外観である。

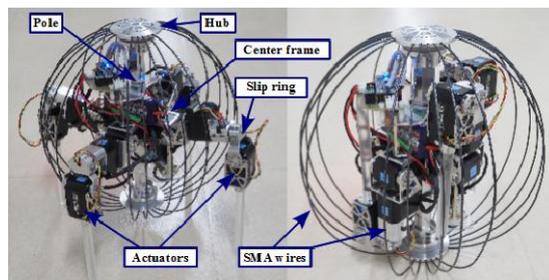


図3 QRoSS II

QRoSS IIでは球体外殻の形状を効果的に利用した移動方法として、図4に示すように球体外殻の外部へ出した対向する2脚を無限回転させる事によって地面からの反トルクを用い、球体外殻を連続的に回転させることで移動を実現した。この方法を実現するためには脚の第2関節を無限回転させるが必要があり、今回はスリップリングを用いて実現した。しかし球体外殻が構造上の問題で楕円に変形してしまうため、図5に示すように回転速度が一定せず周期的に加減速を繰り返してしまった。また球体外殻内での重心位置が偏心していたため、その影響による加減速も加わって地面に押し付けた足先が浮いてしまう現象が発生した。この問題点を解決するた

めに図 6 のように脚の格納方法を見直し、重心が球体外殻の中心に配置できるようにした。これにより周期的な加減速の差を図 7 のように小さくし、足先の地面からの浮き上がりを最小限に抑えた。また足先に受動車輪を付加して球体外殻と 2 本の脚による旋回動作を実現した。

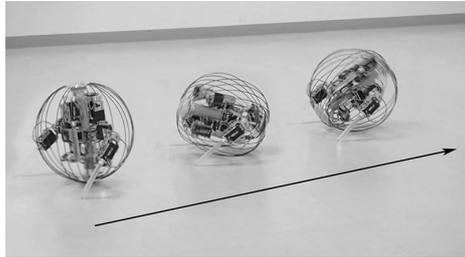


図 4 QRoSS II による回転移動

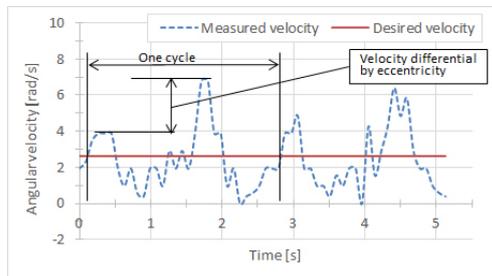


図 5 回転移動 (改良前)

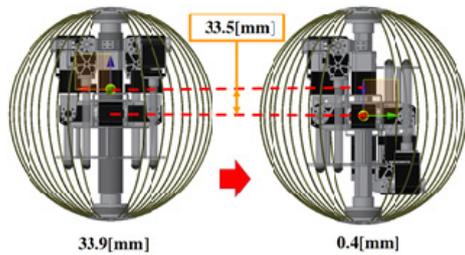


図 6 脚の格納方法の見直し

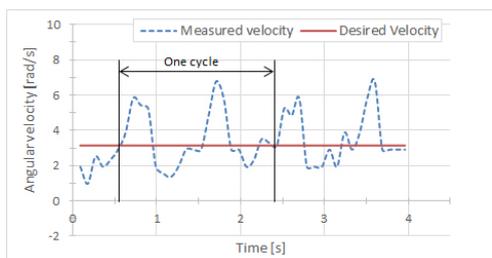


図 7 回転移動(改良後)

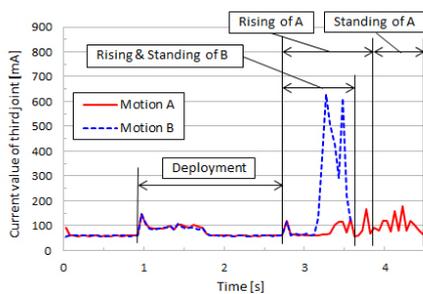


図 8 起き上がり動作の比較実験

また起き上がり動作の際の球体外殻の効

果を検証するために実験を行い、図 8 のようにアクチュエータの電流値を測定した。結果より球体外殻を使用して起き上がる (赤線) 場合の方が使用しない場合 (青線) と比較して電流値のピークを抑えることができていたことを確認した。

(2) QRoSS IV の開発

QRoSS II は回転移動を実現することができたが、脚機構にスリップリングを内蔵する必要があり、全体が大型化してしまった。そこで先行研究である QRoSS I と同じサイズで、平行リンクで構成する脚機構を持つ 4 号機 (QRoSS IV) の試作を行った。QRoSS IV は QRoSS I とは異なる脚機構で構成するが、上下の方向性を無くすロボットのコンセプトを満たすために可動範囲の広い脚機構を開発した。また回転移動の際に連続して脚を突き出すために、2 脚を組みにして球体外殻内へ互い違いに配置した。図 9 に QRoSS IV の外観を示す。

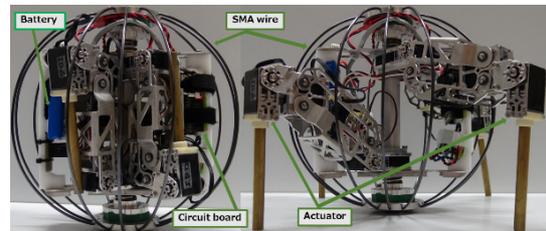


図 9 QRoSS IV

当初の計画では図 10 に示すように脚全体を外殻から突き出し、地面を蹴ることによって回転移動を実現する予定であった。しかしこの方式では脚を突き出した際に重心が進行方向とは逆に移動し、球体外殻は前方へ回転できないことが判明した。

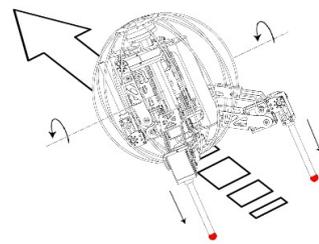


図 10 脚の突き出しによる回転移動

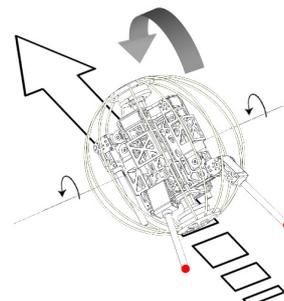


図 11 脚先の蹴り出しによる回転移動

そこで図 11 に示すように脚の第 3 関節のみを駆動し、脚先のみで弾くように蹴り出す方式を考案した。この方式では球体外殻内の重心の移動を最小にすることができるため、安定した回転運動を生成することができる。図 12 に回転移動の動作実験の結果を示す。移動速度は 0.5m/s であった。

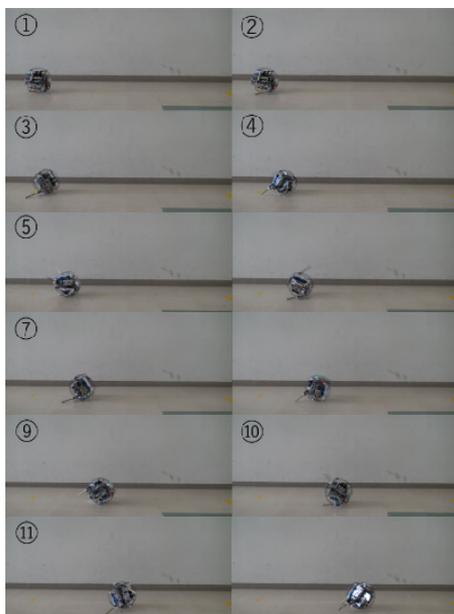


図 12 QRoSS IV による回転移動

(3) QRoSS III の開発

跳躍動作によって歩行での移動では踏破困難な段差を乗り越えるために、球体外殻の構造を利用した跳躍機構を有する 3 号機 (QRoSS III) の開発を行った。図 13 に QRoSS III の外観を示す。球体外殻の大きさは直径 200mm であり、重量は約 850g である。QRoSS III は球体外殻の中心軸の内部に空気圧シリンダを内蔵し、3 本の脚によって離陸姿勢を制御して、空気圧シリンダによって跳躍を行う。

図 14 は跳躍によって障害物を越える際の動作を表したものである。QRoSS III は跳躍した後、最高到達点に達する前に着地に備えて脚機構を球体外殻内へ完全に格納する必要がある。そのため、最高到達点に達するまでの時間が脚の格納に要する時間 (0.3s) よりも長い必要があり、この時間を確保するために高さ 500mm 以上の跳躍が必要となる。

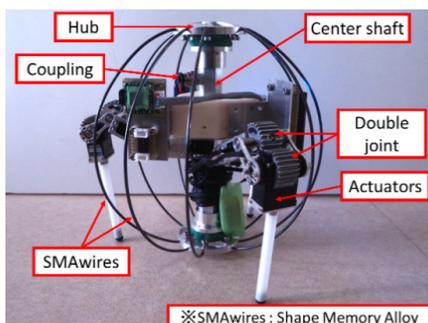


図 13 QRoSS III

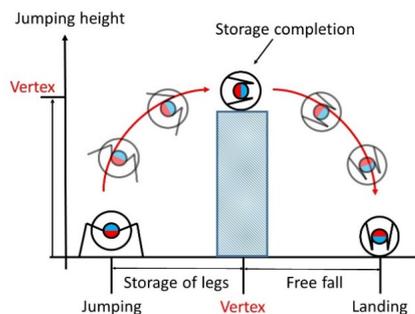


図 14 跳躍による障害物の踏破

図 15 に空気圧シリンダの内蔵する球体外殻の中心軸を示す。今回は高压で空気圧シリンダを始動させるため、ピストンに磁石を内蔵した。

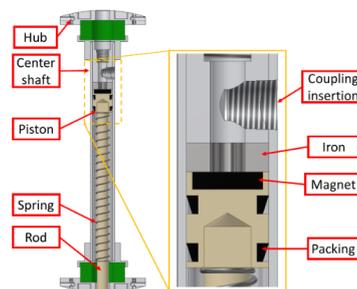


図 15 中心軸の内部構造

QRoSS III は跳躍の準備として、3 本の脚によって跳躍する方向を決める離陸姿勢を制御することができる。本研究では離陸姿勢を 2 種類検討した。図 16 は"外殻基準型"、図 17 は"足先基準型"とする。

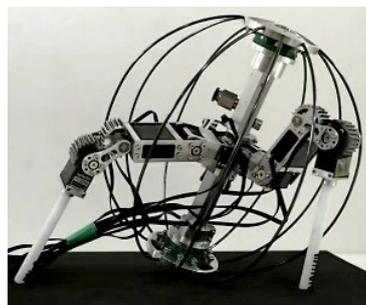


図 16 外殻基準型離陸姿勢



図 17 足先基準型離陸姿勢

外殻基準型は球体外殻が地面に接してい

る状態で、足先3点で姿勢を構成する。本体の傾きを決定した上で、足先の位置を任意に選択可能であるため、転倒を防ぐ脚配置が可能である。足先基準型は足先の3点で構成され、球体外殻を可能な限り地面に近づける姿勢である。この姿勢は足先の点を変更することなく、跳躍方向及び球体外殻と地面の間の高さを、任意に変更することが可能であるため、目標角度に対して外乱が生じる不整地等での運用に適している。

QRoSS III は跳躍が不要な不整地上では歩容による移動を行う。しかし、本試作機は3脚であるため、脚のみでの安定した静的な歩行が不可能であり、球体外殻を擬似的に4脚目として扱い、静的に周期的歩行を実現する必要がある。歩行パターンとして2種類のクリープ型インチウォーム歩容を検討し、図18に示す動作実験によって歩行動作が実現可能であることを確認した。

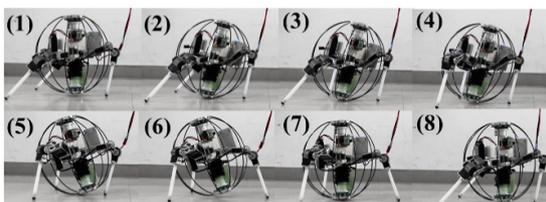


図18 クリープ型インチウォーム歩容による移動

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)

- ① Takeshi.Aoki, Kazuki.Ogihara, Design of Quadruped Walking Robot with Spherical Shell, American Transactions on Engineering & Applied Sciences, 査読有, vol.3, pp.265-280, 2014

[学会発表] (計12件)

- ① 金城孝俊, 青木岳史, 球体外殻を持つ歩行ロボットの跳躍動作の実現 - 第3報: 離陸姿勢と歩容の検討 -, 第22回ロボティクスシンポジウム, 磯部温泉「舌切雀のお宿」磯部ガーデン (群馬県安中市), 2017年3月15日
- ② 金城孝俊, 青木岳史, 球体外殻を持つ歩行ロボットの歩行ロボットの跳躍動作の実現 - 第2報 跳躍準備姿勢の構築 -, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市), 2016年6月9日
- ③ 清陽亮, 伊藤智, 青木岳史, 球体外殻を持つ四足歩行ロボットの研究 - 球体外殻を持つ四足歩行ロボットにおける段差乗り越え動作の実現 -, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会

2016, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市), 2016年6月9日

- ④ 千葉峻介, 鈴木雄大, 青木岳史, 球体外殻を持つ四足歩行ロボットの回転移動における動作の構築, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市), 2016年6月9日
 - ⑤ Takeshi.Aoki, Satoshi.Ito, Yosuke.Sei, Development of quadruped walking robot with spherical shell-mechanical design for rotational locomotion, Proc. of Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems 2015, Hamburg(Germany), October 1, 2015
 - ⑥ 清陽亮, 伊藤智, 青木岳史, 球体外殻を用いた回転移動のための旋回動作の実現, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市) 2015年12月14日
 - ⑦ 清陽亮, 伊藤智, 青木岳史, 球体外殻を持つ四足歩行ロボットの研究 - 球体外殻を持つ四足歩行ロボットのための動作の実現 -, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, みやこめっせ (京都府京都市), 2015年5月18日
 - ⑧ 金城孝俊, 青木岳史, 球体外殻を持つ歩行ロボットの跳躍動作の実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, みやこめっせ (京都府京都市), 2015年5月18日
 - ⑨ 鈴木雄大, 青木岳史, 球体外殻を持つ四足歩行ロボットの研究 - 回転移動を可能とする四足歩行ロボットの開発 -, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, みやこめっせ (京都府京都市), 2015年5月18日
 - ⑩ Takeshi.Aoki, Kazuki.Ogihara, "Design of Quadruped Walking Robot with Spherical Shell," Proc. of Int. Conf. on Design Engineering and Science, Pilsen(Czech Republic), September 1, 2014
 - ⑪ 清陽亮, 伊藤智, 荻原一輝, 青木岳史, 球体外殻を持つ四足歩行ロボットの研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014, 富山市総合体育館, 富山県富山市, 2014年5月26日
 - ⑫ 伊藤智, 清陽亮, 荻原一輝, 青木岳史, 球体外殻を持つ四足歩行ロボットの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014, 富山市総合体育館, 富山県富山市, 2014年5月26日
6. 研究組織
- (1)研究代表者
青木 岳史 (AOKI, Takeshi)
 千葉工業大学・先進工学部・准教授
 研究者番号: 20397045