

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560162

研究課題名(和文) 安定かつ高効率な歩行を実現するバリエーション歩行モードを有する4足歩行ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of quadruped robot with variable walking mode

研究代表者

樋口 勝 (HIGUCHI, Masaru)

日本工業大学・工学部・准教授

研究者番号：40293039

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：一般的な規格の階段を含めた人間の移動環境内において、安定かつ高効率な移動を可能とする4足歩行ロボットとして、階段のような不整地を移動するための広い作業領域を有する2つのモードと、水平面を移動するための移動効率に優れた1つのモードの合計3つの歩行モードを自由度を追加することなく切り替えることのできる歩行ロボットを提案し、その具体的な関節機構やブレーキ機構、小型実験機および試作機的设计・製作を行い、その有効性について検討した。

研究成果の概要(英文)：New quadruped robot, which has variable walking modes, so-called tall mode, short mode, SCARA mode and stair mode, has been developed. A leg of the robot has 3D.O.Fs with three rotational joints connected in series like SCARA and achieves the GDA. Due to the wide motion range of the legs, the robot can make stable going up/down motion on the stairs and walk on horizontal floors high-efficiently. The prototype and the miniature robot which has the proposed mechanism have been designed and manufactured.

研究分野：機構設計

キーワード：歩行ロボット 機構設計 脚機構

1. 研究開始当初の背景

従来多くの歩行ロボットが開発され、平地だけでなく不整地や階段歩行が可能となっている。また、平地での移動速度と効率を向上するための RollerWalker も提案されている。しかし、安定・安全に移動する場合には、原発の現場のロボットのようにクローラが用いられている。この主たる要因は、

(1)あらゆる歩行面に対応できるオールマイティな脚が設計されており、階段を安定して移動することに着目した脚の設計がされていない。

(2)移動効率が悪い(特に平面移動)

(3)自由度が多く(機構が複雑で)信頼性が低いと考える。そこで、本研究ではこれらの問題を解決する歩行ロボットを開発することを目的とする。

2. 研究の目的

本研究では①GDA を実現した高効率な駆動、②安定した階段昇降をするための広い作業領域を有する脚、③直進関節を含まない小形・軽量の関節で構成された脚機構、④少ない自由度の脚機構、⑤RC 用モータを用いた小形・軽量・高出力駆動系の5点に着目して4つの歩行モードを有する歩行ロボットを提案する。そして、この歩行ロボットを実現するために以下の課題に取り組む。

(1)想定した使用状況に最適な機構設計を可能とするために、従来の水平面移動に限定した移動仕事率だけでなく、歩行ロボットの活躍する階段や段差等の移動や、加速・減速、エネルギー回生を考慮した移動効率と、転倒安定余裕のような歩行安定性など総合的に評価する、評価指標を提案する。

(2)広い作業領域で高効率な軽量ロボットを実現するための、小形・軽量・高効率な駆動系の開発。

(3) 上述の3つの歩行モードを実現するための大きな可動範囲の関節機構の開発

(4)各モードに対応した脚機構の設計法および複数のモードを有する脚機構の設計法の構築。

3. 研究の方法

(1) 関節機構の開発

本研究で提案する脚機構はモード切替するため、その各関節には広い可動範囲が要求される。可動範囲を広くする場合リンクの干渉が問題となる。リンクの干渉を避けるために、産業用ロボットのようにリンクを片持ちにする方法があるが、関節軸およびリンクにモーメントが作用して、強度・剛性が低下する。そこで平成24年度に開発した減速機を組込んだ可動範囲の広い高剛性の関節機構を開発する。

(2) 足部機構の設計

クローラと異なり、歩行ロボットはその足部を適切に設計することで、クローラには実現できない歩行性能を実現できる。本研究で想定している警備ロボットにおいては静粛性が、家庭用ロボットでは床面への低侵襲性が、レスキューロボットにおいては、安定した接地が必要とされ、これらは適切に足部を設計することで実現可能となる。そこで、それぞれの用途に適した足部機構について検討し、具体的に警備ロボット用の足部機構の設計を行う。

(3) 歩行運動の設計および脚機構の設計・製作・評価

脚機構を設計するためには、その歩行運動も同時に考慮する必要がある。特に階段歩行の場合には、階段と脚、本体との干渉を考慮する必要がある、室内で使用できる小形の歩行ロボットを実現するためには、歩行運動と脚機構の同時設計が必要不可欠である。そこで、平成24年度に検討した評価方法を用いて各歩行モードでの歩行運動および脚機構の寸法を決定し、さらに、3つの歩行モード全てにおいて最適となる機構寸法を決定する。そしてそれに基づき開発した関節機構を有する脚機構の設計・製作を行う。まず1脚のみを製作し、台上試験により各モードにおける性能(可動範囲、剛性、運動速度、運動精度、関節トルク、動力)の評価および問題点の把握・改良を行う。

(4) 試作機の設計

これまでの結果を受けて歩行ロボットの試作機を設計する。3つのモードのいずれの場合においても、脚機構と本体とが干渉せず、かつ、この歩行ロボットを用いたサービスを行う機能(ロボットアーム、監視カメラ等)を設置可能なスペースと強度を有する本体を設計する。特に階段歩行を考慮すると重心が高くなりがちなので、階段における歩行安定性を考慮した設計を行う。なお、脚機構取り付け部を含む本体フレームの設計だけでなく、制御系、エネルギー伝達系等の設計を行う。

(5) 試作機の製作・実験

設計した歩行ロボットを製作し、まず台上試験および水平面歩行により性能の評価(モード切替、各モードでの歩容の確認、歩行ロボット全体としての剛性、可搬重量、移動速度、位置精度、消費エネルギー等)と問題点の把握・改良を行う。そして、フィールドテストを行う。試作機は警備用ロボットを想定し、テストフィールドは本学キャンパス内の建物および校庭等を利用する。警備用ロボットでは、特に階段での安定かつ静かな歩行、水平面での静かな歩行フィールドテストでは、特に歩行安定性(路面の不確定性等への適応性)や移動効率、長時間使用による耐久性等について評価する。

4. 研究成果

(1) 脚機構の提案

脚機構には3つの回転関節からなるシリアル機構を採用する。この場合、階段昇降を可能とするサジタル平面の広い作業領域を実現するためには、股関節と膝関節の回転軸を互いに平行かつサジタル平面に対して直角に配置した機構が有効であると考えられる。また、水平面での高い移動効率を実現するためには、スカラ型ロボットのように股関節と膝関節の回転軸を互いに平行かつ水平面に対して直角に配置した機構が有効であると考えられる。これらどちらの機構も股関節と膝関節の回転軸が互いに平行であり、その軸の方向が異なるだけである。そこで、階段歩行と高効率な水平面移動の両方を実現する機構として、図1に示す、残りもう一つの股関節の回

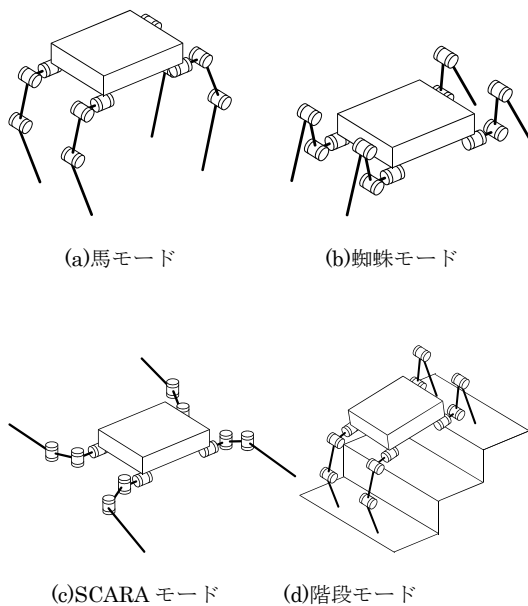


図1 脚機構の構成と歩行モード

転関節により、股関節と膝関節の回転関節の軸の方向を変化させる機構を提案する。この脚機構は、股関節と膝関節の回転軸がサジタル平面に直角な場合では、①馬のように脚を直立させて、本体下に広い空間を確保できる歩行モード(図1(a))と、②蜘蛛のように脚を屈曲させて本体の重心を低くした歩行モード(図1(b))が、股関節と膝関節の回転軸を水平面に垂直に配置した場合では、③主に足先を水平面内で運動させる歩行モード(図1(c))、の合計3つの歩行モードが切り替えられる。また、階段歩行を行う場合は、図1(d)のように股関節と膝関節の回転軸がサジタル平面に直角にし、前後の脚で膝関節の運動範囲を変えることで、安定して行えると考えられる。さらに、足部に受動車輪を取り付けることで図2のように理論的には本体を支持するためにエネルギーを消費することなく移動することができると考えられる。

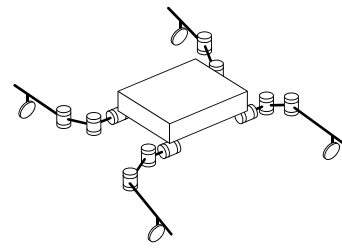


図2 RollerWalker モード

(2) 着脱可能な関節機構の提案

ロボットの運搬効率の向上だけでなく、下腿部に破損などの問題が発生した場合や、別の機構を有する下腿部に交換することで、使用目的に沿った機能を持たせることや現場での早急な修復が容易に行えるようにするには、重量やその大きさが問題となる、これを改善し、かつ取り付け際に、ガタがなく、高剛性となり、容易に脚の着脱が可能な関節機構を設計した。また、この関節は、図3

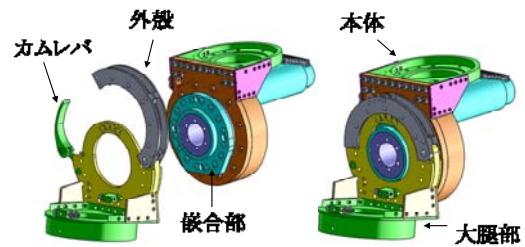


図3 脱着可能な関節機構

のようにカムレバにより、コアを二つの外殻によって、締め付けることで、脚の着脱を行う設計とした。

(3) 受動車輪のブレーキ機構の提案

提案するロボットはSagittal平面内の広い作業領域を有するモードを階段昇降等の歩行用のモードとし、SCARA形のモードは、水平面でのより高い移動効率を実現するために、足部の受動車輪を用いて移動するモードがある。この受動車輪は、SCARA形のモードでは開放し、歩行時は固定する必要がある。

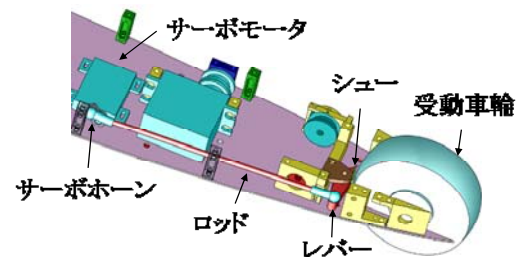


図4 受動車輪とブレーキ機構

ブレーキは軽量かつ小形にする為、図4のようにサーボモータにより、ロッドを介してレバーを揺動させ、シューを受動車輪に押し付けることで制御する機構とした。なお、サー

ボーンとレバーにより倍力効果を持たせている。

(4) 足部機構の提案

クロール歩容を用いて静歩行する場合に、支持脚交替時に COG (Center Of Gravity) が支持多角形の境界に来る。つまり、安定余裕が零となる瞬間が存在する、そのため、本体を左右に振ることで安定余裕を確保することが行われている。この左右に本体を移動させることによるエネルギー損失を抑え、高効率な歩行を実現するために、支持脚交替時の安定余裕を確保するために、支持多角形を拡大することを考えた。

この方法として、図 5 に示す。補助足部が受

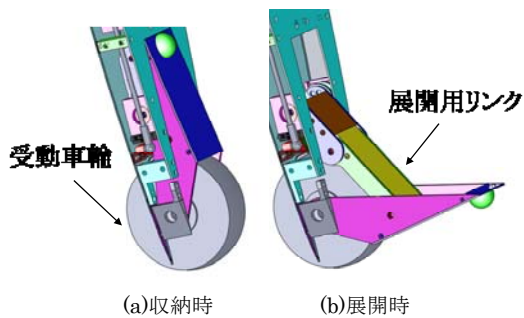


図 5 足部機構

動輪と同軸に揺動することで展開する足部機構を提案する。この足部機構により支持多角形が拡大し、安定余裕を確保できる。

(5) 設計

提案するロボットの脚機構は、Sagital 平面内の広い作業領域を実現するために、各関節の可動範囲に機構的な制限がない (360° 以上回転出来る) ように設計した。また、脚機構の機構寸法は、階段昇降が可能のように設計した。対象とする階段は、人の日常生活環境内での移動を想定し、建築基準法に基づいた蹴上 0.2m 以下、踏面 $0.23 \sim 0.30\text{m}$ の階段とし、階段昇降時の脚運動は、図 6 のように歩

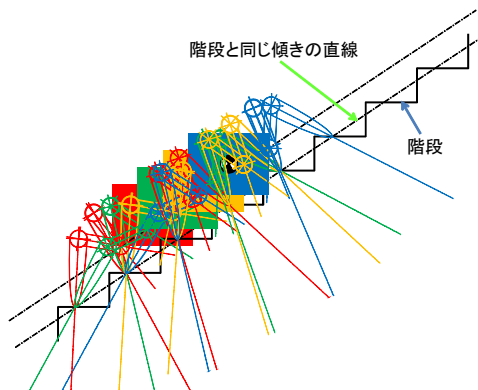
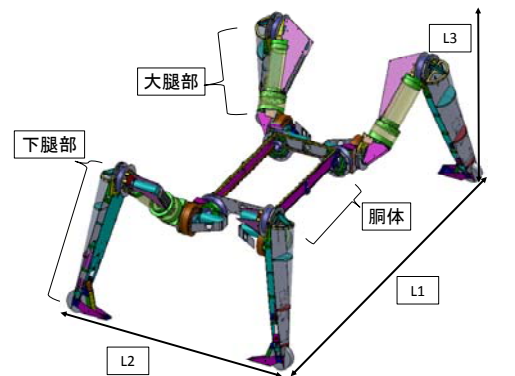


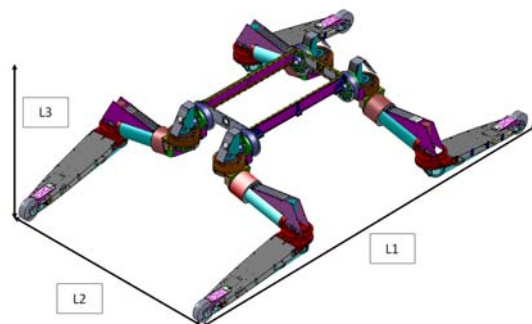
図 6 階段昇降

行させたい階段に階段と同じ傾きを持った直線を引き、全ての脚がこの直線上で階段と接地する運動を行わせることとした。この時、

COG が支持多角形の中に納まるようにし、脚及び本体が階段と干渉しないことを考慮して、最低地上高を 100mm と設定して設計した。その結果、大腿部の長さ 300mm 、下腿部の長さ 450mm と決定した。図 7 に設計結果を示す。



(a) 蜘蛛モード



(b) SCARA モード

図 7 設計した歩行ロボット

また、製作中の脚機構を図 8 に示す。



図 8 製作した脚機構

(6) 小形実験機

予備実験を行うために、試作機同様のモードを有する小形実験機を設計した。アクチュエータは、減速機や軸受が一体なので、軽量のラジコン用サーボモータを採用した。また脚の長さは試作機と同じ比率とし、それ以外の各部の寸法は極力試作機と同じ比率になるように設計した。また、小形・軽量且つ高

剛性のフレームを得るために、高級自動車のアルミフレームのように、アルミパーツの接合部分に樹脂接着剤を使用した。図 9, 10 に

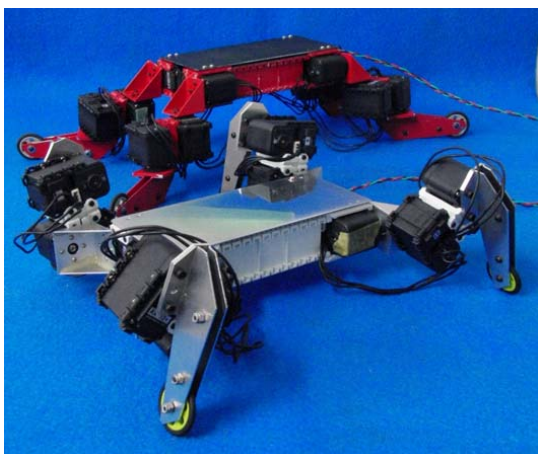


図 9 小形実験機試作 1 号

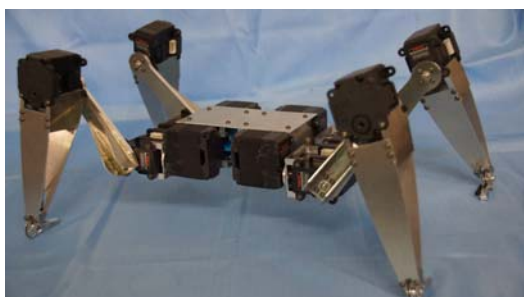


図 10 小形実験機試作 2 号機

製作した小形実験機を示す。図 9 の 2 台のマシンの様に異なる歩行モードを実現し、受動車輪もブレーキ機構により、歩行モードに合わせた制動・解放を実現した。

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 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

- ①樋口勝, 複数の歩行モードを有する 4 足歩行ロボットの脚機構の設計, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会, 2014 年 9 月 5 日, 九州産業大学 (福岡県・福岡市)
- ②樋口勝, バリエブル歩行モードを有する 4 足歩行ロボットによる脚車輪ハイブリッド移動に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 2013 年 5 月 23 日, つくば国際会議場 (茨城県・つくば市)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

樋口 勝 (HIGUCHI Masaru)
日本工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 40293039