

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560254

研究課題名(和文) バーチャル力学に基づく多脚ロボットの全身位置・姿勢・力・モーメントの知的歩行制御

研究課題名(英文) Intellectual walk control of the whole body position, posture, force and moment of multi-legged robot based on virtual dynamics

研究代表者

黄 慶九 (HUANG, Qingjiu)

工学院大学・工学部・准教授

研究者番号：20361785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000 円、(間接経費) 1,230,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究では、多脚移動ロボットを研究対象とし、各関節に十字バネ構造を持つトルク検出機構を装着して、関節の回転位置・トルクと脚先の力の釣り合い関係、またバーチャル力学モデルに基づき、脚の位置・力と胴体の位置・姿勢・力・モーメントの釣り合い関係を解明することによって、多脚移動ロボットの環境適応型全身位置・姿勢・力・モーメントの知的歩行制御を提案し、全身どこでも環境外乱に対応できる安定な歩行を実現した。

研究成果の概要(英文)：In order to realize the purpose of keeping the posture stability of the multi-legged walking robot when it is walking on irregular terrain, we proposed a robust control method based on the virtual suspension model. This method considers the active control input and disturbances from collisions and the slippage between the foot of the robot and the ground, and the dynamic change of the supported weight of the robot. And then, on the basis of designing a suspension model which has virtual springs and dampers in the vertical direction, the directions of the pitch angle and the roll angle, respectively.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械力学・制御

キーワード：多脚ロボット バーチャル力学モデル 環境適応型全身位置・姿勢・力・モーメントの制御 トルク検出機構

## 1. 研究開始当初の背景

脚式移動ロボットは高速性では車輪式移動ロボットに劣るが、起伏や沼沢などの荒地に対して対地適応性が優れている。このため脚式移動ロボットの研究が21世紀80年代から盛んに行われてきた。脚式移動ロボットには1脚(ホッピングマシン)、2脚、4脚、6脚、8脚などがある。そのなか、4脚、6脚などの多脚移動ロボットは静的安定性と荷物搭載能力を持つため、惑星探査、火山の火口探査、森林作業、地雷探知、原子炉作業などの特殊作業に応用する研究が数多く行われている。しかしながら、現在まで多脚移動ロボットを作業ロボットとして実用化するには、未知な環境に対して自由自在な歩行がまだ実現できていない問題が残されている。これは、多脚ロボットが馬や昆虫などの脚で移動する動物のように脚や胴体の全身が外部環境に順応する柔軟性が欠かせるからである。現在の多脚移動ロボットの歩行制御には、胴体の中心から見た各脚の動く軌道を算出して各関節のローカル位置制御、及び胴体の安定を保つための各脚の支持力を算出して各脚のローカル力制御によって歩行制御を行うのは平地や既知の路面に安定な歩行ができるが、各関節と胴体に剛性しかなく柔軟性がないため、路面と外部からの外乱に適応し難い。このため、多脚移動ロボットの歩行制御には、関節のローカル位置制御や脚のローカル力制御は環境適応性に対して十分ではなく、脚、関節また胴体の柔軟性も必要となり、すなわち全身の位置、姿勢、力及びモーメントの自由自在な実現が必要となってきた。

そこで、研究代表者は4脚と6脚の多脚移動ロボットの十数年の研究期間において多くの研究実績を持ち、特に千葉大学での博士研究を通じて地雷探知6脚移動ロボットCOMETの1号機、2号機及び1トンの重さがある3号機の設計、製作、地雷探知、マーキング、マッピング及び地雷回避歩行などに関する研究を行った。また、東京工業大学の教員に赴任して以来、多脚移動ロボットのダイナミクスと制御の基礎研究を続けており、「バーチャル力学モデルに基づく作業用6脚移動ロボットの力・姿勢および振動の制御」という提案研究で、平成16年度～17年度の文部科学省科学研究費補助金若手研究(B)を得た。研究成果としては、6脚歩行ロボットに対してより安定な歩行を実現するためのバーチャル力学モデルに基づく支持脚の位置と力、胴体の姿勢と振動の階層型ハイブリッド制御を提案した。また、約60kgの1台中型6脚歩行ロボットTRUTHを設計・製作し、実験によって提案手法の有効性を明らかにした。これらの多脚移動ロボットの開発経験及び研究成果によって、10篇程度の学術論文が掲載され、「多脚移動ロボットの不整地歩行に適用する位置、力、姿勢及び振動の制御の研究」というタイトルで2005年に

日本機械学会の研究奨励賞を受けた。

平成18年度～19年度には、コベルコ建機株式会社との共同研究で「6脚小型ショベルの研究開発 階段昇降解析」を行ったため、多脚移動ロボットのダイナミクスと制御の基礎研究を一度中断したが、バーチャル力学に基づく多脚移動ロボットの歩行制御を研究し続けてきた。

本研究では平成16年度～17年度の科研費若手研究(B)の研究成果を発展させるため、また研究代表者の2足歩行機構の効率歩行ための受動能動融合型アクチュエータの開発成果を踏まえて、現有の設備、多脚ロボットの1つである6脚ロボットを研究対象とし、各関節に十字バネ構造を持つトルク検出機構を装着して、関節の回転位置・トルクと脚の力の釣り合い関係、またバーチャル力学に基づき、脚の位置・力と胴体の位置・姿勢・力・モーメントの釣り合い関係を明らかにすることによって、多脚移動ロボットの環境適応型全身位置・姿勢・力・モーメントの知的歩行制御を提案し、全身どこでも環境外乱に対応できる安定な歩行を実現することを研究目的とする。

## 2. 研究の目的

本研究では、4脚、6脚、8脚などの多脚移動ロボットを研究対象とし、各関節に十字バネ構造を持つトルク検出機構を装着して、関節の回転位置・トルクと脚先の力の釣り合い関係、またバーチャル力学モデルに基づき、脚の位置・力と胴体の位置・姿勢・力・モーメントの釣り合い関係を解明することによって、多脚移動ロボットの環境適応型全身位置・姿勢・力・モーメントの知的歩行制御を提案し、全身どこでも環境外乱に対応できる安定な歩行を実現することを研究目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究目的を実現するために、下記のいくつかの研究内容を研究期間に明らかにする。

### 3.1 全身柔軟性を持つ6脚歩行ロボットの機構の創出

平成16年度～17年度の科研費若手(B)によって開発した1脚3関節DCモータ駆動60kg重さの6脚ロボットTRUTH(Titech Robot which can walk stably on Unsmooth Terrain like Hexapod)を研究対象とする。

十字バネ構造を持つトルク検出機構を開発して、TRUTHの各関節に装着する。各関節のトルク制御によって全身の柔軟性を持つ6脚歩行ロボットの機構を実現する。

### 3.2 各関節の回転位置・トルクと脚との力の釣り合い関係の解明

動力学解析及び実験検証によって、各関節の回転位置・トルクと脚との力の釣り合い関係を解明し、脚先の力制御を行うことを可能にする。

### 3.3 胴体の全方向バーチャル力学モデル

## の構築

平成16年度～17年度の科研費若手(B)によって胴体重心におけるピッチ姿勢、ロール姿勢及び高さ方向にバネとダンパを用いるバーチャル力学モデルを構築してアクティブ制御によって安定な歩行を実現したが、本研究ではヨー姿勢、横方向及び進退方向にもバーチャル力学モデルを構築して、胴体の全方向、すなわち6自由度のバーチャルモデルを構築する。

### 3.4 各脚の位置・力と胴体の位置・姿勢・力・モーメントの釣り合い関係の解明

胴体の全方向バーチャル力学モデルにおける6自由度の運動に位置・姿勢・力・モーメントを自由自在に実現するため、各脚の位置・力との釣り合い関係を解明する。

### 3.5 環境適応型全身位置・姿勢・力・モーメントの知的歩行制御の提案及び構築

バーチャル力学に基づく各脚の位置・力と胴体の位置・姿勢・力・モーメントの釣り合い関係に基づき、多脚歩行ロボットの環境適応型全身位置・姿勢・力・モーメントの知的歩行制御を提案して構築する。

### 3.6 未知環境への適用実験

脚の各関節に当たる障害物に対して、脚をリフトして乗り越えるか、障害物に順応して回避する。

## 4. 研究成果

本研究の目的を達成するためには、機構の創出と解析モデルの完成、脚の柔軟化と対地適応、胴体の柔軟化と外乱適応という三段階の研究計画、及び研究成果の踏まえ、研究調査、既存実験装置の活用、理論解析と実験検証の研究方法によって、研究計画の通り、下記の機構の創出と解析モデルの完成および脚の柔軟化と対地適応に関する研究開発を進めた。

4.1 全身柔軟性を持つ6脚歩行ロボットの機構の創出：研究代表者のいままでの2足歩行ロボットの受動能動融合型アクチュエータの開発成果を踏まえて、ひずみを増大させる十字バネ構造を駆動部と出力部の間に挟み込むようなトルク検出機構を開発した。開発した十字バネ検出機構を6足ロボットの各関節に装着して、検出した関節トルクを用いて、トルクフィードバック制御を行い、全身柔軟性を持つ6脚歩行ロボットの機構を設計した。

4.2 各関節の回転位置・トルクと脚との力の釣り合い関係の解明：動力学解析によって、各関節の回転位置・トルクと脚との力の釣り合い関係を解明し、脚先の力制御を行うことを可能にした。

4.3 位置と力のハイブリッド制御：前年度の研究成果、すなわち解明した各関節の回転位置・トルクと脚の力の釣り合い関係に基づいて、各支持脚の力を算出することによって、脚先の位置と力のハイブリッド制御を行った。

4.4 6脚ロボットの胴体のヨー姿勢、横方向及び進退方向にもバーチャル力学モデルを構築して、胴体の全方向、すなわち6自由度のバーチャルモデルを構築した。また、解析と実験によって本制御手法の有効性を確認した。

以上のことによって、本研究では、バーチャル力学に基づく各脚の位置・力と胴体の位置・姿勢・力・モーメントの釣り合い関係に基づき、多脚歩行ロボットの環境適応型全身位置・姿勢・力・モーメントの知的歩行制御の提案と構築を行った。さらに、解析と実験によって、その有効性を確認した。

## 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 1 件)

Qingjiu Huang, Liqing Nie, Fast Convergence Efficiency of Inverse kinematics for Robot Manipulators, Journal of Applied Sciences, Vol.13, No.22, pp.5174-5179, 2013. 査読有

[学会発表](計 1 件)

Liqing Nie, Qingjiu Huang, Inverse kinematics for 6-DOF manipulator by the method of sequential retrieval, Mechanical Engineering and Material Science, Proceedings of 2012 International Conference on Mechanical Engineering and Material Science, pp.255-258, December, 2012. 査読有

[図書](計 件)

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黄 慶九 (HUANG, Qingjiu)  
工学院大学・工学部・准教授  
研究者番号：20361785

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：