

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23760236

研究課題名（和文） Twin-Frame 型移動システムにおける多様の移動形態の獲得

研究課題名（英文） Derivation of Versatile Locomotion Styles for Twin-Frame Structure Robot

研究代表者

太田 祐介 (OTA YUSUKE)

千葉工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20367311

研究成果の概要（和文）：必要最小限の自由度を有するロボットを用い、平面上を移動するための方法について検討を行った。腰部に 2 自由度運動を生成するアクチュエータのみから構成されるロボットを製作し、これを用いて平面上の移動を実現した。腰部における適切な 2 自由度運動により、平面上における歩行動作を確認した。

研究成果の概要（英文）：A methodology to move on ground by the robot with minimum degrees of freedom (DOF) has been researched. The robot has only two actuators in the waist which generate pitching and rolling motion of its upper body mass. This robot can move on the ground. We have confirmed that the appropriate 2-DOF motion in waist can generate yawing motion of the robot as well as rolling and pitching motion of the leg and that can make the walking motion on the ground.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：ロボティクス

## 1. 研究開始当初の背景

様々なロボットが開発されてきており、それらは非常に多くの自由度を高精度に制御することによりその柔軟な運動動作を実現している。これはコンピュータ能力の向上並びに、制御用デバイスの低価格化、高性能化によるところが大きい。

これに対して、我々は必要最小限の自由度のみを有するロボットの構成方法について提案を行い、この設計法に基づき数体のロボットを具現化してきた。我々が提案する形態のロボットは、2 つのフレームとそれらを連結するアクチュエータ群から構成されているロボットであり、この様な構成のロボットシステムを我々は、Twin-Frame 型移動システムと定義し、その機構構成法、運動生成

法について主に研究を行ってきた。フレーム間の相対運動によって、移動と作業を両立することや、歩行形態と車輪型移動形態を両立することも可能であることを実証している。このような Twin-Frame 型移動システムにおいては、各フレームの接地状況によってアクチュエータ群の運動を適切に制御することによって、同一機構を用いて様々な運動動作を実現できる特徴を有している。

これらを体系立てて分類していくと、Twin-Frame 型移動システムでは、アクチュエータ群の運動によって、例えば跳躍型移動、歩行型移動、車輪型移動、といった異なる種類の移動運動を生成することが可能であることが分かる。しかしながら、移動システム自体をこの様な構成として捉えた研究は無

く、またこの様な適応的移動手法に関する研究は現在までほとんど行われていない。

## 2. 研究の目的

本研究においては、同一のアクチュエータ群の運動によって生成される運動を、自律的・選択的に制御することによって、ロボットが存在する状況に適切な移動手法を自在に選択していくための手法を新たに作り上げる事を目的とする。

現在多く行われている研究は多くの自由度を最適に制御し、ロボットに柔軟な運動をさせることに主眼がおかれているものがほとんどである。ロボットの機構構成も、生物を模倣したものが多く、あるいは、車輪型移動を実現するためには、車輪を装備する必要があると考えられており、申請者らが提案しているような、同一機構を用いた歩行・車輪型動作の実現に関してはあまり行われていない。脚機構を車輪型構造へ変形させ、車輪型移動を行うロボットの開発は行われているが、これは機構構成の変更に着目した研究であり、本研究で目指す、運動の変化による異なる移動形態の実現に関する研究とは根本的に違う目的である。

今回は、完全に同一機構を用いてその運動を適切に変更するだけで歩行型・車輪型移動の両者を実現することができる、と言う点において従来他に例のない手法である。また、車輪型移動を実現するには無限回転動作が必要不可欠だと思われるが、本手法を用いることで、並進運動のみを利用して無限回転運動を実現できることが分かる。このように無限回転関節を必要としない回転運動生成手法は、非常に独創的であり、この機構構成、制御手法を応用することにより、従来にない全く新しい対地適応性、不整地踏破性の高い移動機械を作ることが最終的な目的である。

## 3. 研究の方法

始めに、簡易機能モデルを用いて、車輪型・歩行型移動が実現可能であることを検証していく。

歩行動作と車輪型移動動作を同時に実現するための必要最小限の自由度を考えると、7自由度で構成できることが従来の研究より分かっている。これよりさらに自由度を減ずるために必要な条件を検討していくと、脚先を点で考えた場合に3自由度が必要となり、動的効果を利用して移動する形態となる。この際に、脚が個別の運動自由度を持たない固定脚として考えると、遊脚先は接地脚点に対して球面上を移動することになる。これはすなわち2自由度のみでシステムの運動を記述することが可能であることを意味する。

以上の結果より、脚先を球面上に沿って移

動させるために必要な最小限の自由度数は2であり、この自由度を有するロボットを作成し、脚先を球面上に沿って移動させることが可能であれば、最終的に歩行と車輪型移動の両方を同一自由度で運動可能であると言える。本研究においては、まず腰部に2自由度有するロボットを作成し、歩行動作の実現を確認し、脚先の運動を間接的に制御することによって、提案する手法による車輪型移動に対する実現可能性について検証していく。

## 4. 研究成果

### (1) 試作機の製作

開発した試作機の外観を図1にモデル図を図2に、そしてそれらのパラメータを表1に示す。ロボットの全高は0.51[m]、全幅0.21[m]、で、質量は0.57[kg]である。腰部はロール軸・ピッチ軸方向に運動可能な2自由度構成としてあり、それぞれRCサーボモータ（日本遠隔制御社製ロボット用デジタルサーボDSR581）により駆動する。脚部には、姿勢を検出するための6軸慣性計測ユニット（シリコンセンシング社製DMU-02）が取り付けられている。本体上部にマイコンボードを搭載し、これにより姿勢制御を行う。電源は外部から供給し、姿勢等のデータも外部PCによって取得する。

脚の先は点接地が理想的であるが、長さ方向に0.04[m]を有した構造となっている。脚交換時に衝撃がかかるため、厚さ2[mm]のスポンジテープを貼り付けた構造となっている。

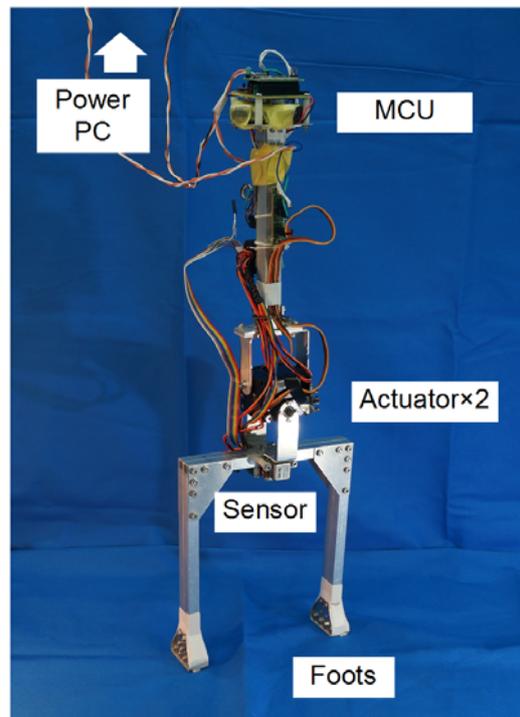


図1 開発した2自由度ロボットの構成

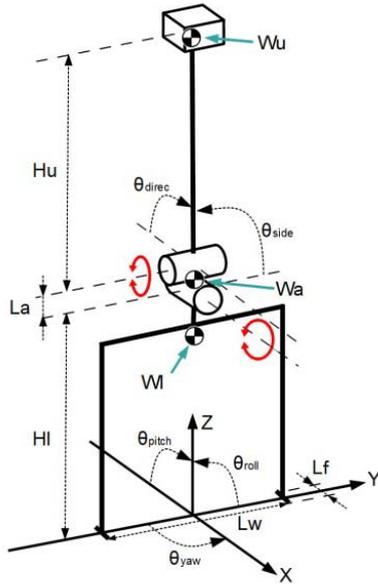


図2 ロボットのパラメータモデル

表1 ロボットのパラメータ

Part	Symbol	Value	[Unit]
Height	-	0.51	[m]
- Upper Body	Hu	0.24	[m]
- Lower Body	Hl	0.25	[m]
Leg Width	Lw	0.21	[m]
Axis Difference	La	0.02	[m]
Foot Length	Lf	0.04	[m]
Weight	-	0.57	[kg]
- Upper Body	Wu	0.20	[kg]
- Lower Body	Wl	0.18	[kg]
- Actuators	Wa	0.19	[kg]

### (2) 足踏み実験

腰部のアクチュエータを運動させることで足踏み動作を実現していく。モデルの運動方程式を作成し機体自体の有する固有振動数を求めていった所、周期は約0.5[s]であることが分かった。これにあわせて上部を揺動させたところ、足踏み運動が生成できることがシミュレーションにより確認できた。

この結果より、実機において足踏み実験を行った。上部の振幅を8[deg]とし、周期を0.40[s], 0.48[s], 0.56[s]としたときの脚部角度を計測した。計測結果は図3のようになり、周期を早くすると振幅が小さくなる傾向が見られた。しかし周期が早い時に接地足先でY軸方向の滑りが頻繁に観測された。足先の滑りは今回の制御では損失となるため、歩行には適さない。

以上より、周期0.48[s]による足踏み運動が生成できることをシミュレーションと実機実験によって確認した。

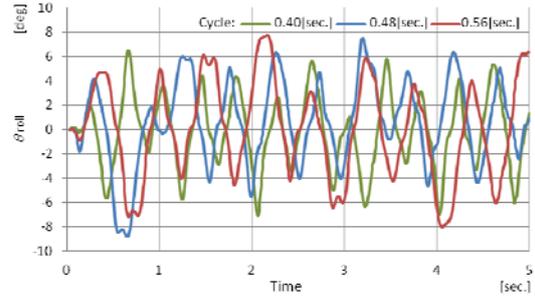


図3 足踏み実験で測定されたロール角度

### (3) 歩行実験の結果

足踏み動作を踏まえ、歩行実験を行った。歩行を実施するためには、本体に対しヨー軸周りのモーメントを発生させる必要がある。しかし、今回開発したロボットにその様なモーメントを直接的に発生させるアクチュエータは搭載していない。そのため、前後のバランスを保ちながら必要なモーメントを生成するための重心軌道を計算した。結果は図4のようになった。左右の振動周期の2倍、あるいは4倍の周期を前後方向へ入力することによって移動を実現できることを確認した。転倒を防ぐためには外乱の影響を受けにくくする必要があるので、片足支持中のモーメントを少なくした方が転倒しにくくなると思われるため、本研究においては4倍周期の軌道を使用することにする。この場合、転倒の危険性は少なくなるが、当然前後の歩幅は少なくなる。この周期を使って歩行動作に関してシミュレーションを行った結果、重心位置の移動は図5のようになり、歩行による移動を実現していることが確認できた。

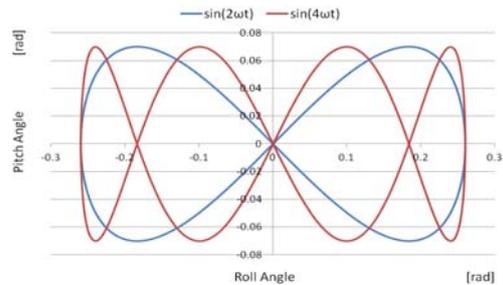


図4 歩行のための重心の移動軌跡

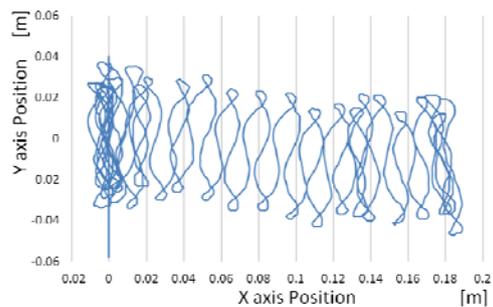


図5 歩行の際の重心軌跡

次にシミュレーションの結果より、製作した試作機を用いて歩行実験を行った。上体の左右振幅は 8[deg]、前後振幅を 2.5[deg]、振動周期は 0.48[s]としている。実験においては、始め 2 秒間は足踏みのみを行い、その後歩行動作を行った。歩行実験時の脚部姿勢の変化を図 6 に、その際の様子を図 7 に示す。

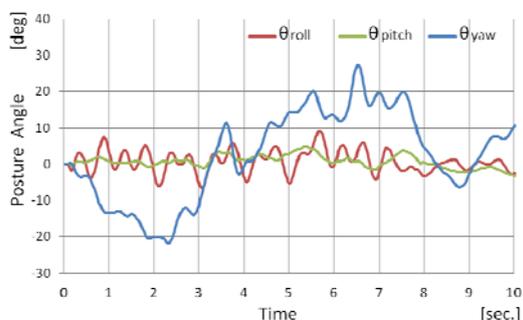


図 6 歩行時の姿勢変化

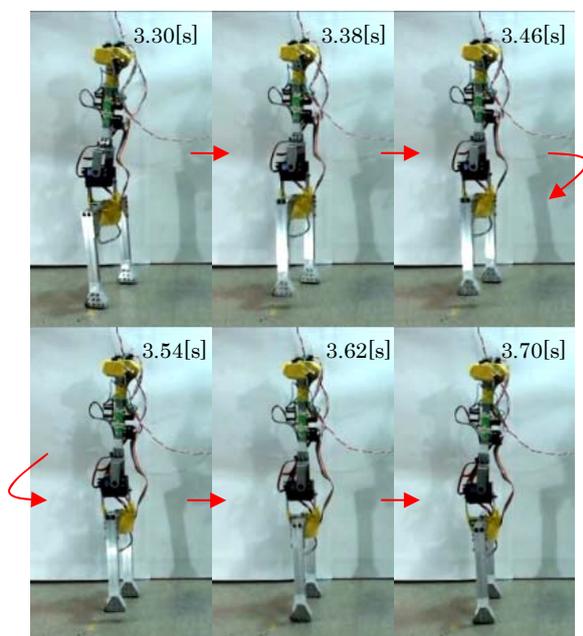


図 7 歩行実験の様子

歩行実験の結果、歩行速度にばらつきがあるものの、足踏み動作に同期した前後揺動を用いることで遊脚の振り出し動作を行い、それによる歩行動作を実現した。

以上より、腰部の 2 自由度運動のみを利用し、あらかじめ決められた周期運動を入力することによりヨー軸周りのモーメントを生成し、それにより歩行動作が実現可能であることを確認した。

しかしながら、始め 2 秒間の足踏み時にヨー軸の回転が発生してしまっている。これは、重心位置のずれによる影響と考えられる。この方向にはセンサによるフィードバックを行っておらず、また遊脚の振り出し幅そのも

のを制御することは現状では難しい。従って今回の実験においては、左右の遊脚の振り出し幅の差が蓄積していきヨー軸方向へ回転しながら歩行している。

#### (4) まとめ

本研究では、歩行動作と車輪移動動作を同一の機構を用いて実施するための方法について検討し、その結果、必要最小限の 2 自由度によりその運動が実現可能であることを述べた。歩行運動の可能性を確認するために、腰部に 2 自由度のみを有する Twin-Frame 型移動システムを作成し、シミュレーション並びに試作機による歩行実験を通して、歩行動作の実現性を確認した。歩行動作を実現する際に、遊脚は支持脚に対して円弧運動となるよう拘束されているため、脚の構造によって車輪型移動を十分実現できると考えられる。

以上より、姿勢制御と歩行動作自体に関しては、同時に制御できることが確認できた。しかし、ヨー軸周りの運動に関しては、現状では十分に制御できているとは言い難く、脚の振り出し幅などの制御に関しては、今後の課題であり、歩幅の制御、および脚上げ高さの制御に関して研究を行っていく予定である。

#### 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)

[学会発表] (計 3 件)

① 番場 義孝, 太田 祐介, "自励振動を用いた 2 足歩行ロボットの研究", 第 29 回日本ロボット学会 学術講演会 予稿集, pp. RSJ2011AC3J1-8 (2011. 9. 9)

② 番場 義孝, 太田 祐介, "上体運動を用いた省自由度 2 足歩行ロボットの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, pp. 2A2-U04 (2012. 5. 29)

③ 太田 祐介, 亀井 聡, 加藤 史哉, "直立ツインフレーム型省自由度脚歩行ロボットの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, pp. 2A2-U03 (2012. 5. 29)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

太田 祐介 (OTA YUSUKE)  
千葉工業大学・工学部・准教授  
研究者番号：20367311