

# 手首が柔らかい 4 本指ハンドを備えた 6 脚作業移動ロボットの開発 Development of Working Six-Legged Robots with Four-Fingered Hands of Flexible Wrists

○佐々木 洸太, 井上 健司  
○Kota Sasaki, Kenji Inoue

山形大学  
Yamagata University

キーワード: 6 脚ロボット (Six-legged robot), 4 本指ハンド (Four-fingered hand),  
柔軟手首 (Flexible wrist), ワイヤ駆動 (Wire drive)

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16  
山形大学大学院理工学研究科応用生命システム工学専攻 井上健司  
TEL&FAX: 0238-26-3335, E-mail: inoue@yz.yamagata-u.ac.jp

## 1. はじめに

災害現場などの危険な環境でロボットが活動するためには, 一台で高い移動能力と作業能力を併せ持つ必要がある. そこで, 著者らの研究室では, 高速かつ安定な移動を行う 6 脚モード, ボディを水平にして低所での 2 腕作業が可能となる水平 4 脚 2 腕モード, ボディを垂直にして高所での 2 腕作業が可能となる垂直 4 脚 2 腕モードの 3 つのモードに切り替え可能な 6 脚作業移動ロボットを開発している[1,2].

先行研究[3]では, 全ての脚先に 4 本指ハンドを取り付け, 形や大きさの異なる物体の把持実験, ハンドを閉じた状態での 6 脚歩行実験を行った. その結果, ロボットの作業能力・移動能力は拡大されたが, 脚先とハンドの結合部分 (以下, 手首と呼ぶ) が固定されていたため, 把持や歩行が制限されるという問題があった.

本研究では, 手首に柔らかい素材を用い, ハンドが物体を把持したり着地したりする際に, 形状や外力に応じて手首が変形することでなじむ効果を発揮する 4 本指ハンドを提案する. このハンドをロボットの全ての脚先に取り付けて実験を行い, 脚先接地能力や物体把持能力を検証する.

## 2. 6 脚作業移動ロボット

ハンドを取り付ける前の 6 脚作業移動ロボ

ットを図 1 に示す. 直方体のボディの下面四隅に 4 本の脚を, 上面の二隅に 2 本の脚を配置している. 脚の自由度は 3, よってロボットの自由度は 18 である. 関節には ROBOTIS 社のサーボモータ Dynamixel RX-64 を使用した. 外部のメインコンピュータでロボットの動作を生成し, 有線の RS-485 を介して関節角指令値をサーボモータに送り, ロボットを動かす. ロボットのサイズは, 脚を水平に広げた状態で約 74[mm]×82[mm], 重量は 5.15[kg]である. ロボットは, 外部直流電源 18.5[V]を用いて駆動する.



図1 6脚作業移動ロボット

## 3. 4 本指ハンド

先行研究[3]で開発した 4 本指ハンドを図 2 に示す. このハンドは, 指の根元部分が図中の十字の部材 A に連結されており, 部材 A を

出し入れすると4本指ハンドが一斉に放射状に開閉する仕組みになっている。サイズは図に示す通りである。

先行研究[3]では、サーボモータを手首に置き、部材Aがモータ軸にリンクで連結されていた。そのため、モータを回転させると部材Aが動き、ハンドを開閉できる。モータのベースは脚に固定されており、手首は硬く曲がらない。そのため、以下の問題があった。

- (a) ハンドは放射状に開閉するため、ハンドの中心に物体を置いて四方から把持しないと、片側の指に負荷が集中する、ハンドが閉じない、物体が動くといった不具合が生じる。
- (b) 脚は垂直に着地するとは限らない。ハンドを開いた状態で斜めに着地すると、4本指が同時に接地できず、接地した少数の指でロボットの自重を支えなければならない。そのため、モータの過負荷や指の破損を招く危険性がある。

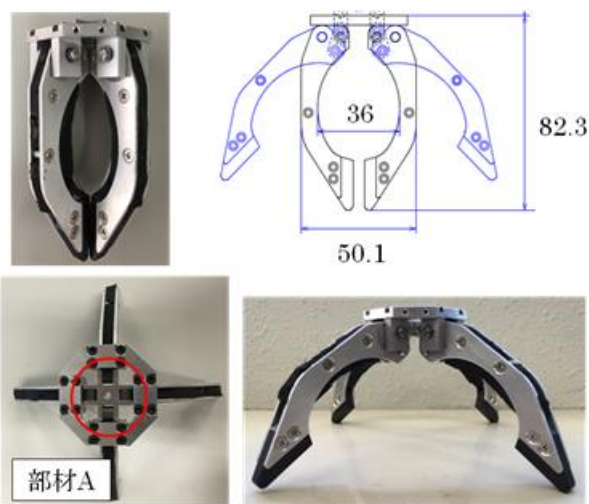


図2 4本指ハンド

#### 4. 手首が柔らかい4本指ハンド

##### 4.1 全体構成

本研究では、手首に柔らかい素材を用い、ハンドが物体を把持したり着地したりする際に、形状や外力に応じて手首が変形してなじむ効果を発揮する4本指ハンドを提案する。

製作した手首を図3に、ハンドをロボットの脚先に取り付けた状態を図4に示す。手首のサイズは図3に示す通りである。手首の柔軟素材には、ラジコン用のゴムタイヤを用いた。ハンド開閉には、ROBOTIS社のサーボモータ Dynamixel RX-28を使用した。モータ

を手首に置くことはできないので、ロボットのボディに置いてワイヤで駆動する。すなわち、モータでワイヤを引っ張るとハンドは閉じ、緩めるとバネの力で開く。手首の断面を図5に、ボディに取り付けたモータ部分を図6に示す。詳細を以下に説明する。

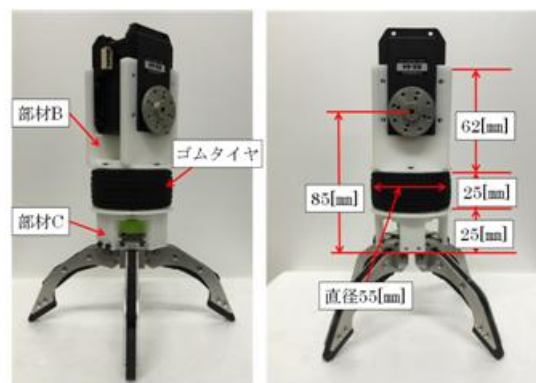


図3 手首が柔らかい4本指ハンド

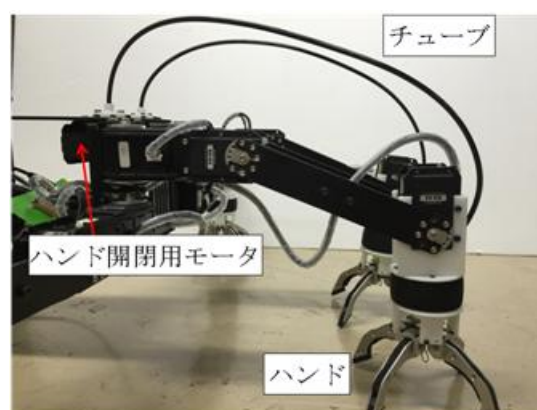


図4 ハンドを脚先に取り付けた状態

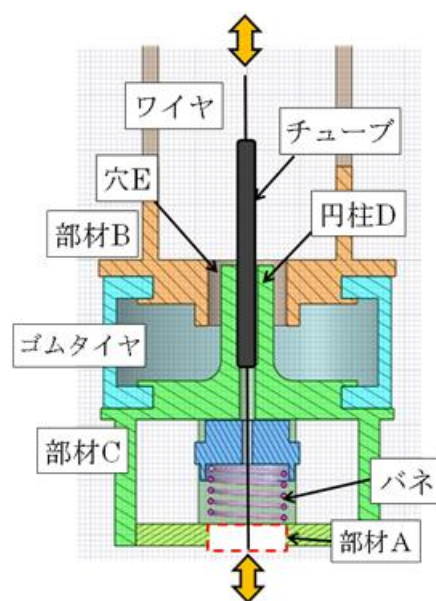


図5 手首の断面図

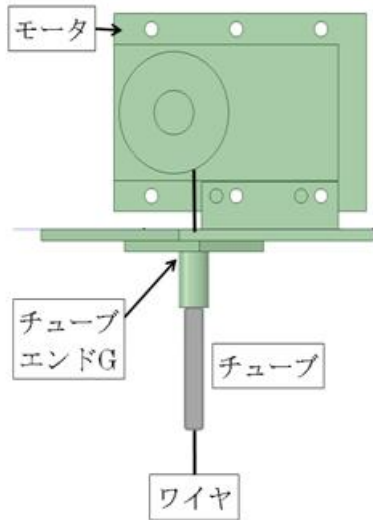


図6 ボディに取り付けたモータ

#### 4.2 手首の構造

- 手首にゴムタイヤを用いることで、6自由度の変形に対応できる。
- 脚先側部材 B とハンド側部材 C には、ゴムタイヤが外れないように返しがあり、ハンドと脚先を連結する。部材 B と部材 C は 3D プリンタで製作した。
- ゴムタイヤがねじれたとき、ゴムタイヤの縁と返し部分がずれてしまうのを防ぐために、部材 B と部材 C とゴムタイヤの縁をネジで固定する。
- 部材 C 中央にある円柱 D は、部材 B 中央の大きめの穴 E を貫通している。ゴムタイヤが過大に変形すると円柱 D が穴 E にぶつかり、ストップの役割を果たす。

#### 4.3 ワイヤ駆動

- 円柱 D に、チューブの一端を固定する。
- チューブの他端は、ボディ側のチューブエンド F に固定する。
- チューブと円柱 D の中にワイヤを通し、ワイヤの一端をハンドの部材 A に繋ぐ。
- チューブエンド F を通ったワイヤの他端をモータのプーリに固定し、モータ軸と部材 A を繋ぐ。モータを回転すると、ワイヤを介して部材 A が引っ張られ、ハンドが閉じる。
- 部材 C と部材 A の間に、圧縮バネを入れる。モータを戻してワイヤを緩めると、バネの力でハンドが開く。
- ワイヤの両端は、不感帯を無くすために、バネが少し圧縮した状態で固定する。その結果、ワイヤは常に張った状態になる。

#### 5. 手首の曲げ性能の評価

図7のように、脚を水平に固定してハンドを閉じた状態にする。ハンドに重りをぶら下げて荷重  $F$ [N]を加え、ハンド先端の変形量  $\delta$  [mm]を計測した。結果を図8に示す。図から、最大約 0.9[N]の荷重を加えた時に 75[mm]の変形が可能なのことがわかる。

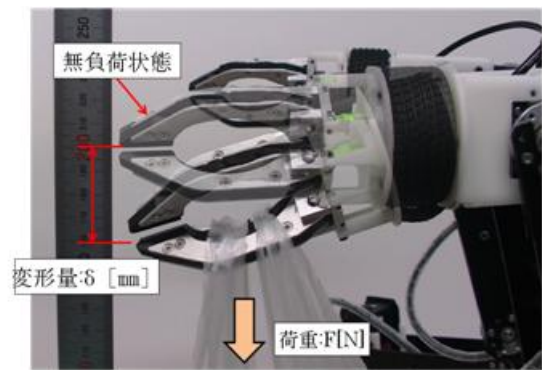


図7 手首の曲げ性能の評価

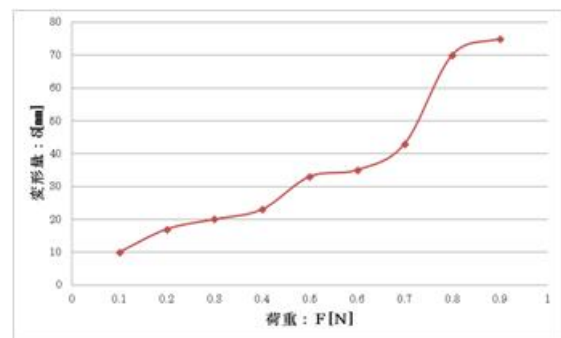


図8:荷重  $F$ [N]によるハンド先端変形量  $\delta$ [mm]

#### 6. 歩行実験

ロボットの全ての脚にハンドを取り付け、ハンドを開いた状態でトライポッド歩容する実験を行った。脚が垂直に近い角度で着地するように、歩幅を 40[mm]に設定した上で、ゴムタイヤの変形により 4 本指接地が維持できるかを調べた。ボディの指令速度は 50[mm/s]、制御周期は 15[mm]とした。

実験結果として、前脚・中脚・後脚の接地の様子を図9に示す。全ての脚が 4 本指で接地し、歩行していることが確認できる。

#### 7. 物体把持実験

ロボットの水平 4 脚 2 腕モードにおいて、腕 2 本とハンドを遠隔操作し、梯子の横木(直径 28[mm])を把持する実験を行った。はじめに、横木がハンド中心からずれた状態でハン



ドを閉じ、横木を把持する。次に、横木を把持したまま脚先を上下させ、ゴムタイヤが変形する様子を調べた。

実験結果を図 10 に示す。図から、ゴムタイヤの変形によりハンドが横木に対してなじむ効果が発揮され、把持を維持できていることが確認できる。

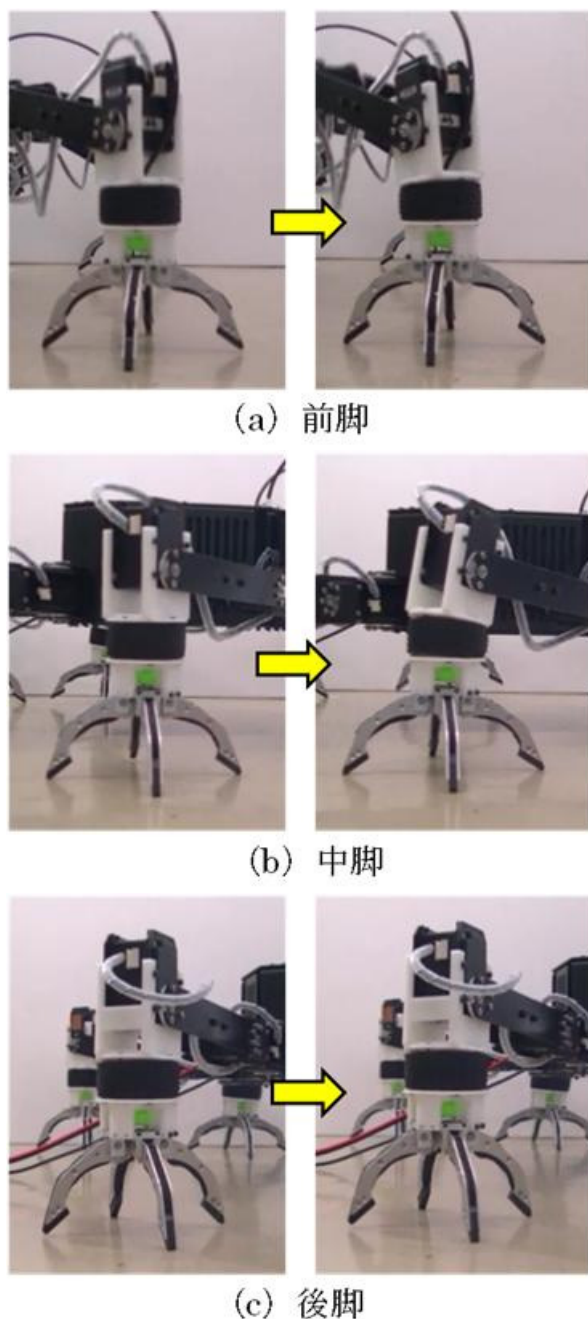


図9 歩幅40[mm]による歩行実験

## 8. おわりに

手首が柔らかい 4 本指ハンドを開発し、6 脚作業移動ロボットの全ての脚先に取り付けた。脚先接地能力や物体把持能力を実験により検証し、良好な結果を得た。今後は、手首の柔らかさを利用した梯子登りを目指す。

## 参考文献

- [1] 井上, 大江: 3つのモードを切り替え可能な6脚作業移動ロボットの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 講演論文集, 1A1-E04, 2008/6.
- [2] 関口, 井上: 6脚作業移動ロボットの直立歩行, 計測自動制御学会東北支部第 291 回研究集会, 291-2, 2014.
- [3] 余, 井上, 李, 小関: 4本指ハンドを持つ6脚作業移動ロボットの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 講演論文集, 1A1-P13, 2013.

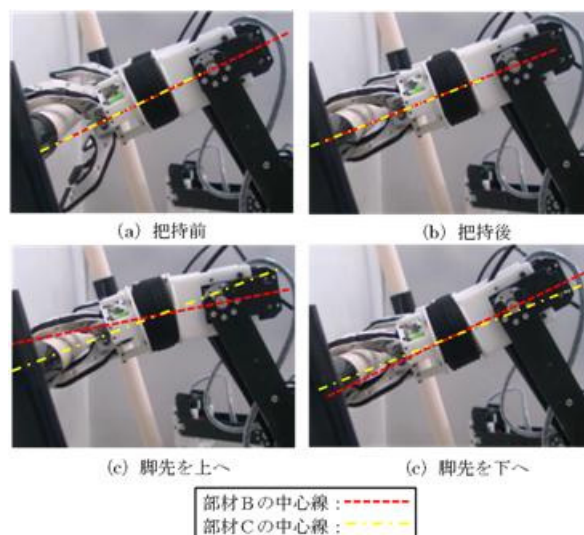


図10 横木の把持実験