

ヒューマノイド用ロボットハンドの開発

新谷裕和*・中野研悟**

Development of a Robot Hand for Humanoids

Hirokazu Araya and Kengo Nakano

In this study, we have developed a robot hand for humanoids which support humans' daily life. This hand has three fingers (two fingers and one thumb that consist of three joints respectively). Each finger has only one motor, but each joint synchronizes by the wire drive and it works. The motor is connected with the wire through a load-sensitive continuously variable transmission. Experimental results show that this hand can grasp the object of a various shape and hold the light one. In addition, this hand can pick the one under the limited condition.

1. 緒言

近年、人間の生活の場を支援するロボット(ヒューマノイド)の開発が盛んに行われている。また、それらのアームに取り付けられるロボットハンドは、単純な一軸の自由度を有するグリップから多指の人間の手に近いハンドへと移行しつつある。その理由は、人間の生活の場での作業や人間用の道具を自由に扱うには、やはり人間の手に似た形状であることが優位に働くからである。

現在開発されているハンドには、指の各関節に動力を配し、それぞれをプログラム等で制御するものと、指に動力を配置せず、別に動力を配置し機械的に伝達させ動かすものがある。また動力を配さず、機構によって自動的に握りこむもの¹⁾もある。指の関節に動力を配置するものでは小型モータとハーモニックドライブを使っているもの²⁾がある。このハンドは、性能が高く、また、センサなどの導入によっては人間にはできない動きも可能である。しかし、モータの小型化は容易ではなく、ハーモニックドライブも高価である。

そこで、本研究では、比較的安価で、機械的に動力を伝達する方法を用いた多指ハンドの開発を行った。今回は、さまざまな形状でかつ軟らかいものをつかむことができるハンドを目指した。

2. 一指の試作機

ロボットハンドの開発にあたり、まず指一本で物を把握するハンドを製作した。材料は軽量で加工のしやすいアルミニウム材を使用した。制御部はハンドの外側に配し、ハンドの稼働の妨げにならないようにした。指部は、包み込み把握³⁾を採用し、さらに可動部は複数あるが動力の数を減らし機械的に協調して動くように全体機構を単純にした。

土台・把握部は、把握時の支えとなる部分である。土台部に配する指の稼働に必要なモータを

* 原子力技術応用工学科 ** 元機械工学専攻大学院生

一つにすることで今後の小型化、軽量化が容易に行える。

2.1 指部

指部は、図 1 に示すように四部品三関節からなる指をワイヤ駆動により各関節が連動して動くようにし、対象物の形状になじむ形にした。それぞれの関節にアルミの軸とプーリを取り付けワイヤのルートを確認している。関節は上からそれぞれ 45 度、90 度、45 度の範囲まで稼動する。なお、指の大きさは、 $24 \times 260 \times 30$ [mm] (幅×長さ×高さ) である。

指の把握動作は、モータによりワイヤを巻き取り動作する。対象物と接触する部分には滑り止めと多少のクッション性を持つマットを張ってある。把握対象に指が触れると下から順に関節が曲がり対象を包むように把握する。

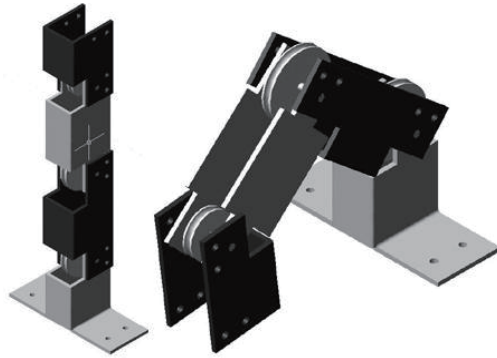


図 1 指部

指の戻りは、指の背にワイヤと引きばねを取り付け、モータの逆回転とばねの戻りによって動作する。

2.2 把握・把持実験

一指の試作機を用いて、把握・把持実験を行った。把握、把持に使用したものは、

- ① 円筒形 (アルミ缶 350ml、500ml スチール缶 350ml、250ml)
- ② 板状 (木製 $\phi 120$ [mm] $\times 15$ [mm])
- ③ 四角柱 (木製角材 42 [mm] $\times 42$ [mm] $\times 100$ [mm])
- ④ 凹凸物 (L字型に加工した木材の組み合わせ)

の 7 種類である。また②～④の把握物は、さまざまな方向から把握した。ロボットハンドの土台部を机に固定し、把握物を把握、把持させた。把握時のハンド全体の様子と把握物の状態を調べ、比較した。

2.3 結果と課題

実験の結果、以下のことが分かった。

- ① 上記 7 種類のさまざまな形状の物体を包み込み把握することができる。
- ② スチール缶などの硬いものを持つことはできるが、アルミ缶など軟らかいものを変形させてしまう。
- ③ 指先と土台部で、つまむように把握することもできる。

また、これらの結果から以下の課題が出た。

- ① 指の稼働または把握動作が不安定である。
- ② 軟らかい物体を持つにはパワーが大きく、把握対象をつぶしてしまうことがある。
- ③ 大きいものをつかむ時、土台部をたわませてしまう。

④ 人間が使う工具類などはつかめない。

3. 多指の試作機

上記の試作機の課題から、それらを改善した多指のロボットハンドを試作した。

試作した多指ロボットハンドの特徴は、以下の通りである。

- ① 指の数を必要最低限の3本とした。
- ② 機械的に力制御を行うため負荷感応無段変速機を取り付けた。
- ③ 指を含む把握部のサイズを人間の手とほぼ同じサイズ（15×85×15[mm]：幅×長さ×高さ）にした。

指の構造や把握動作などに変更はなく、モータ回りや全体の小型化などに主眼を置いた。

3.1 機械的力制御

機械的に力制御をするために、東京工業大学の開発した負荷感応無段変速機⁴⁾を参考に同じ理論のものを製作し組み込んだ。図2に原理図を示す。

負荷に応じて、入力リンクと入力補助リンクによる仮想入力リンクが変化することで、入力軸から中間リンクへの垂線距離 L_{in} が増減し、出力軸から中間リンクへの垂線距離 L_{out} との比が変化する。この L_{in} と L_{out} の比が減速比 R を示す。ここで入力トルクと出力リンクとの関係は以下の式となる。

$$R = \frac{L_{out}}{L_{in}} \quad (1)$$

$$\tau_{out} = R \cdot \tau_{in} \quad (2)$$

ここで、 τ_{out} ：出力トルク τ_{in} ：入力トルク R ：減速比

L_{in} ：入力軸から中間リンクへの垂線距離 L_{out} ：出力軸から中間リンクへの垂線距離

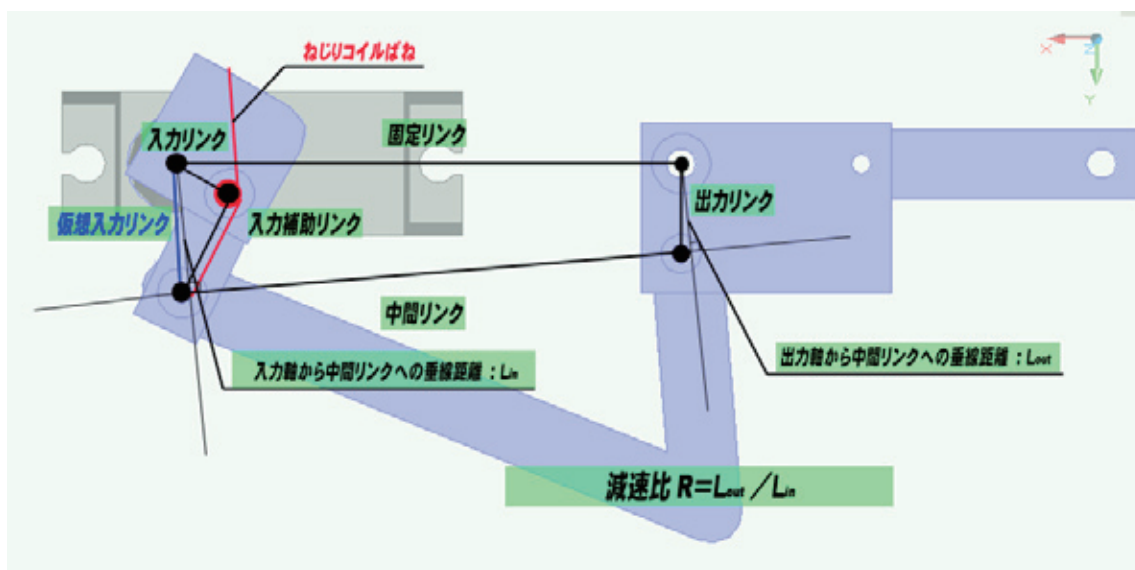


図2 無段変速機

無段変速機の性能、および有用性を調べるために力の計測を行った。仮想入力リンクを通常の状態と固定した状態とで力の変化を比較した。その結果、力を緩やかにかけるよう制御していることが分かった(図 4)。

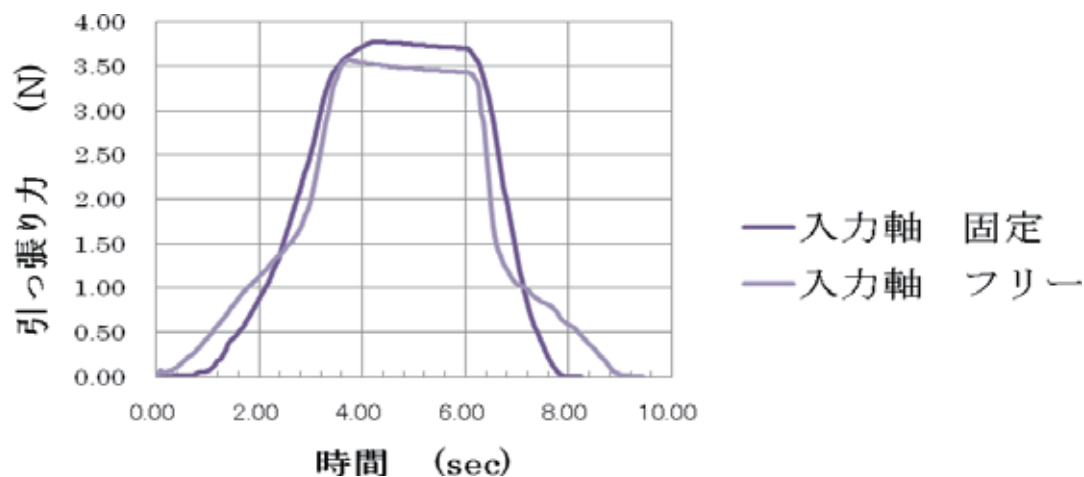


図 3 無段変速機の実出力変化

3.2 把握・把持実験

一指の試作機同様に様々なものを把握、把持させその性能を試験した。またその際に、把握物などにかかる荷重を測定し、挙動の観察とともに試作機の性能評価とした。

3.2.1 センサ

把握時に把握対象にかかる荷重を測定するための手段として、ニッタ（株）製の FlexiForce ボタンセンサを使用した。センサをそれぞれ、ハンドの所定の位置に配置し（図 4）荷重を測定した。

このセンサは加重により抵抗値が変化する物であるが、非線形性が強いので、予め校正曲線を作成し、使用した。

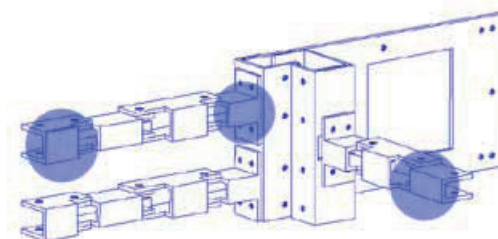


図 4 センサの配置

3.2.2 実験方法

把握・把持実験に使用したものは、以下の 11 種類の対象物である。

① 円筒形

(アルミ缶 350ml、500ml スチール缶 350ml、190ml
ペットボトル 500ml 紙筒[A4 コピー用紙]缶と同径)

② 四角柱

(木材 [57mm×47mm×92mm]、ペットボトル 500ml)

③ その他形状

(手のひらサイズの人形[柔らかい凹凸物]、紙コップ[テーパー状]、ボール)

また、モータの制御プログラムを2種類用意しその違いを観察した。プログラムの違いは、指定角度まで一気に回転させるもの(以下、プログラムA)と一定角度ずつ徐々に回転させるもの(以下、プログラムB)である。

3.2.3 実験結果と考察

以下に結果を示す。

- ① 把握時の観察では、用意した両プログラムともに指が包み込むようにして把握し、様々な形状の対象物を変形させずに把握、把持できた(図5)。
- ② 把握対象にかかった荷重の値は、プログラムBの値がプログラムAの約10分の1の値となった。
- ③ 把持においては、重量のある把握物を把持できず取りこぼすことが多かった。
- ④ ハンドの挙動に関しては、指の背に取り付けた引きばねとモータの引っ張りのバランスが把握物ごとにより変わり、安定性に欠けていた。

①により、本ハンドの機構部の基本的な設計思想に問題がないことがわかる。②においてプログラムの違いで荷重の違いが出たのは、機構部分などに違いはないので指部にかかった慣性力の違いと思われる。③については、もともとのモータのトルクが小さいことや力の損失があり、ハンドの握力が弱いことに原因があると思われる。また④については、モータが引っ張れる限界の張力の引きばねを使用しているため指の戻りが安定していないことが原因と思われる。これらを改善するためには、モータのトルクを上げ、引きばねとのバランスを変える必要がある。無段変速機により、モータのトルクは増加するが、指の重量や摩擦などによる力の損失のため、期待した力が出せなかった。このことを考慮に入れ、モータの変更もしくはトルクを上げるため減速機の導入も考えられる。またモータのトルクが上がれば強いばねと交換できるので挙動が安定すると思われる。

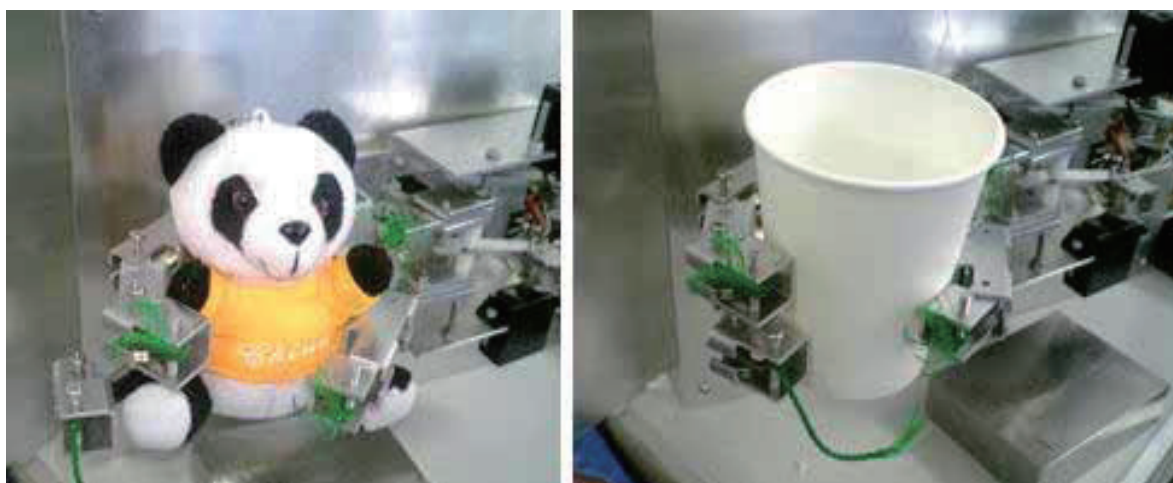


図5 多指ハンド把握・把持実験例

3.2.4 その他の把持方法の検討

試作した多指ハンドは、把握対象を包み込むように把握する機構であるが、この機構でほかに把握把持する方法がないか検討した。

(1) 指の一部を支えとする把持

ワイングラスのようなもの、または普通のコップなどをつかむ時、滑りやすくハンドのグリップ力だけでは把持できないものを把持するとき、二本の把持指のうち下側に当たるほうで取りこぼしを防ぎ、残りの指と親指で把持できた(図 6)。

(2) 指先による把持

指先だけでの把握では、把握物に指先を引っ掛ける部分がある時に限り把握把持ができた。また指先と手のひらにあたる部分でつまんで把握把持することができた(図 7)。

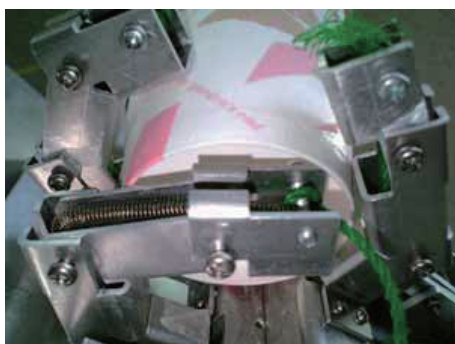


図 6 指の一部を支えとする把持



図 7 指先による把持

4. 結言

本研究では、それぞれ三関節からなる二指と親指の計三指をもつヒューマノイド用ロボットハンドを開発した。動力は各指一つとし、ワイヤ駆動により各関節が連動して動く機構とした。把握・把持実験の結果、軽いものであれば様々な形状のものを包み込み把握することができ、限定条件下であれば包み込み以外の把握把持ができることが分かった。しかし、トルク制御の面で課題が残っている。

今後、モータ周りの改善に加え機械的力制御だけでなく、センサによるトルクの制御を行い、把握・把持できるものを増やしていくことで更なる向上を目指していく。

参考文献

- 1) 佐藤 顕治, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: “自動握りこみ機構を有する多指多接ヒューマノイドの開発”, 第 25 回日本ロボット学会講演会, 2007
- 2) 金子 健二, 原田 研介, 金広 文男: “等身大ヒューマノイド用多指ハンドの基礎実験”, 第 25 回日本ロボット学会講演会, 2007
- 3) 金子 真: “包み込み把握”, 日本ロボット学会誌, vol. 18, NO. 16, pp. 782~785, 2000
- 4) 高木 健, 小俣 透: “ロボットハンドのための負荷感応無段変速機”, 日本ロボット学会誌, vol. 23, No. 2, pp. 288~244, 2005

(平成 21 年 3 月 31 日受理)