

低摩擦ギアード電動モータを用いた二指グリップによる高速把持

○松野晃治（立命館大） 加古川篤（立命館大） 川村貞夫（立命館大／チトセロボティクス）

1. はじめに

ロボットによるハンドリング作業において、タクトタイムの短縮は最重要課題の一つである。しかし、従来の産業用ロボットとロボットハンドから構成されるシステムでは、対象物や机などの環境との接触を避けるために、接触が予想される空間でロボットを低速度で運動させる必要がある。

このような接触を伴う作業を高速化させるためには、実際の接触を機械的に許容できるバックドライバビリティの高さが重要と考えられる。しかし、多くの既存ロボットの関節は固く、外力が加わっても容易にバックドライブできない。従来の産業用ロボットとロボットハンドでは、ロボットを小型化するために小型の電動モータと高減速比ギアから構成されている。そのため、ギア間の摩擦が大きくなり、バックドライバビリティが低下する。その結果、外部環境と接触した際にロボットの破損を招く恐れがあった。この問題を解決するために、グリップの関節のみをバックドライブしやすくして接触を許容する研究が報告されている。

Bihatia らは DD モータとパラレルメカニズムを用いたハンド [1] を、Tanaka らは DD モータと磁石歯車を用いたグリップ [2] を開発し、接触しながら物体の高速把持を実現している。しかし、前者では4つのモータが使用されているので、ハンドの高重量化を招く。また、後者では磁石歯車を使用しているため、バックドライバビリティを高めると最大伝達トルクが小さくなる。さらに、両者とも DD モータが用いられているため、トルクリプルなどの問題もある。

そこで、本研究では摩擦の小さいギアと電動モータを組み合わせた低摩擦ギアード電動モータを用いてバックドライバビリティの高い二指グリップを開発する。低摩擦ギア以外の機構による摩擦を増加させないために、2個の低摩擦ギアード電動モータを利用して各指を独立に駆動する。2個のモータの可動域を広く設置して、把持だけではなく、グリップの手先姿勢角の変更も実現する。本報告では、提案グリップの設計や基礎実験結果を述べる。

2. 高速ロボットシステム

2.1 システム構成

ロボットシステムの概要を図1に示す。グリップを取り付けるロボットアームには6軸の垂直多関節ロボット（RV-4FRL-D、三菱電機株式会社）を用いた。グリップを図1の右に示すような2自由度のシンプルな開閉式とし、今回は2個のサーボモータ（XM430-W210-R、ROBOTIS Co., Ltd.）を利用した。指とベース部については3Dプリンタを用いて造形した。また、2個のモータを向かい合わせに配置することによって関節の可動域を広くした。それによって、ロボットアームの関節を回転させなくてもグリップの回転動作のみで手

先姿勢を変更できる（図2）。グリップの大きさは W 38.5 [mm] × D 117 [mm] × H 195 [mm] であり、その重量は 314 [g] である。

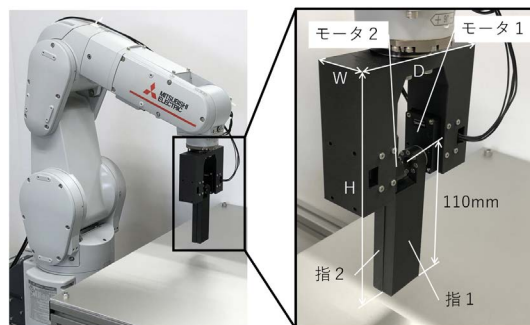
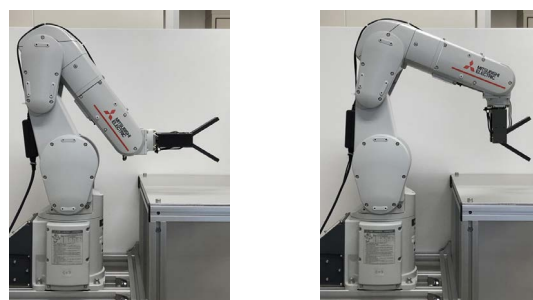


図1: ロボットシステムの概要



(a) ロボットアームの関節を用いた場合 (b) グリップの関節を用いた場合

図2: 手先姿勢角の変更

2.2 運動学

ロボットアームの手先はZ軸方向のみ上下運動するので、それをグリップと組み合わせると、図3のような3DOF マニピュレータ（並進+回転）のモデルで表せる。ただし、 d_x : ロボットアームの手先のX座標、 d_z : ロボットアームの手先のZ座標、 z_c : 接触した指先のZ座標、 L : 指の長さ、 θ_i : 関節角度、 τ_i : モータトルク ($i=1, 2$) とする。ロボットの手先位置と関節角度の関係は

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_x + L \sin \theta_1 \\ d_z - L \cos \theta_1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_x - L \sin \theta_2 \\ d_z - L \cos \theta_2 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (1)$$

となる。

2.3 制御法

グリップが机と接触する前には、モータの角度を制御する。接触後は、モータトルクを電流から制御する。このとき、モータの回転角はエンコーダから測定できるので、前述の (1) 式からロボットアームへの入力は

$$d_z = z_c + L \cos \theta_i \quad (i = 1 \text{ or } 2) \quad (2)$$

となる。ただし、 θ_i は先に接触した指の関節角度を用いる。

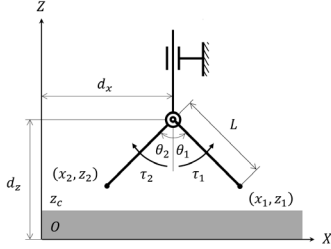


図3: ロボットアームの手先とグリップの幾何学モデル

3. 基礎実験結果

ロボットに高さ情報を与えないで机と接触させ、対象物を高速把持できることを実験で確認した。図4のように座標系を設定した。ロボットアームの手先の初期位置は $(x, y, z) = (335, 0, 625)$ [mm] で、グリップの初期角度は $(\theta_1, \theta_2) = (30, 30)$ [deg] である。また、ロボットアームの手先の目標位置は $(x, y, z) = (335, 0, 445)$ [mm] とした。接触後はモータトルクを 1.0 [Nm] で制御し、ロボットアームはその回転角に応じて位置制御した。接触判定には、グリップの関節角度に閾値 (35 [deg]) を設け、その値を超えると接触したとみなした。また、対象物は 31.2 [g] の食品サンプルのえびの天ぷらとした。

実験から、グリップが机と接触しながら対象物を把持できた。この操作は 1.16 秒で完了できた (図5, 6)。

4. おわりに

高バックドライバビリティ・広関節可動域を有する二指グリップを開発した。実験から、グリップはバックドライブしやすく、接触を利用した高速把持が実現できることを確認した。

謝辞 本研究の一部は、内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第2期／フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」(管理法人:NEDO) によって実施されました。ここに関係者に謝意を表します。

参考文献

- [1] A. Bhatia, A. M. Johnson, and M. T. Mason, "Direct Drive Hands: Force-Motion Transparency in Gripper Design," in *Proc. Robotics: Science and System*, 2019.
- [2] S. Tanaka, K. Koyama, T. Senoo, M. Shimojo, and M. Ishikawa, "High-speed Hitting Grasping with Mag-gripper, a Highly Backdrivable Gripper using Magnetic Gear and Plastic Deformation Control," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 9137-9143, 2020.



図4: ロボットの座標系

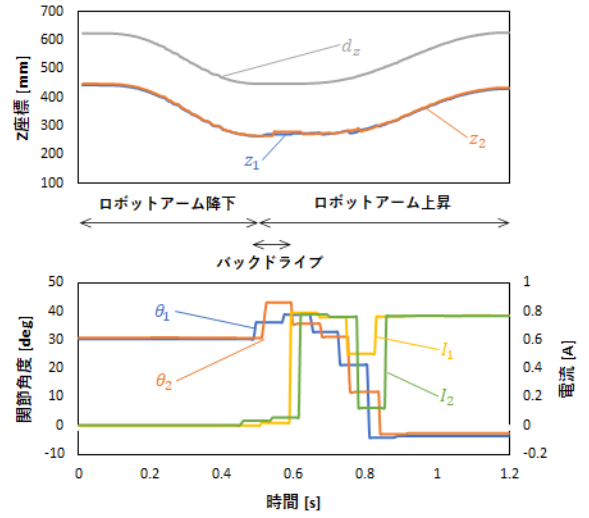


図5: えびの天ぷら把持における時間推移

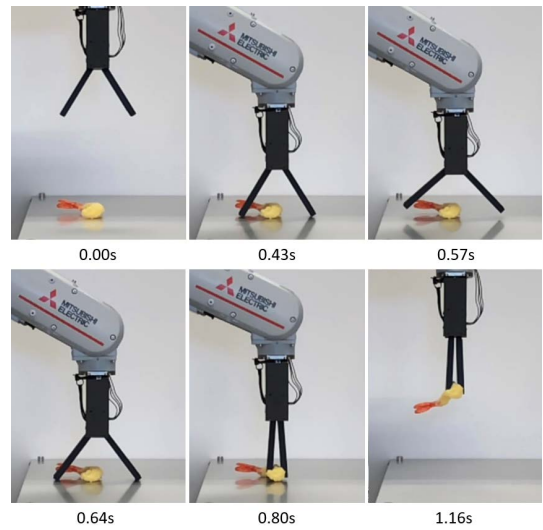


図6: えびの天ぷら把持