

並進関節を用いた柔軟3指による把持対象物の姿勢操作

Regulating Orientation of Object Grasped by Three-Fingered Hand with Soft Fingertips Driven by Translational Joints

○石川 淳一 (立命館大学) 平井 慎一 (立命館大学)

Junichi ISHIKAWA, Ritsumeikan University

Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

This article focuses on the three fingered robotic hand with soft fingertips driven by translational joints. This hand can grasp an object with appropriate grasping force and regulate two degrees of freedom a grasped object orientation. We experimentally show that this hand driven by translational joints can tilt a grasped object up to 70 degrees while a hand driven by rotational joint can tilt the grasped object up to 15 degrees. We also have applied a 3-axis acceleration sensor to measure the orientation of a grasped object. We find that this hand can tilt a grasped object toward any direction.

Key Words: Handling, Soft Fingertip, Translational Joint

1. 緒言

人間は、指先を用いて比較的容易に対象物を把持し、操作することができる。人間がこのような、対象物を安定して把持することができる要因のひとつに、人間の指先が柔軟であることが考えられる。この点に注目し、回転関節を用いた柔軟指ロボットハンドの研究が進められてきた。回転関節を用いた柔軟指ハンドの持つ特徴として、ハンドの持つ自由度の数は、そのハンドが把持対象物に対して操作できる操作対象の最大数と一致する。本研究室で製作された柔軟2指ハンドと柔軟3指ハンドを例に挙げる。前者は、剛体の先端に半球上の柔軟部材を取り付けた1自由度の回転関節を2本組み合わせた計2自由度のハンドのことであり、後者は、剛体の先端に半球上の柔軟部材を取り付けた1自由度の回転関節を3本組み合わせた計3自由度のハンドのことである。前者は、把持対象物の傾く角度、把持力の2つの操作対象を操作できることが確認されている[1]。また後者は、把持対象物の傾く角度と、傾いた方向の2種類の姿勢と把持力の計3つの操作対象を操作できることが確認されている[2]。このように、把持対象物に対して最大操作数は、回転関節を用いた柔軟指ハンドの持つ自由度数と同等になる。

次に、本研究室で製作された2種類のハンドに注目する。1つ目は、柔軟3指ハンドである。柔軟3指ハンドは、把持対象物の3次元操作を可能にした。ところが把持対象物の傾く角度を最大10deg.までしか傾けることができなかった[3]。2つ目は、並進関節を用いた柔軟2指ハンドである。並進関節を用いた柔軟2指ハンドは、柔軟2指ハンドの関節を回転関節から並進関節に変更したハンドである。回転関節のハンドに比べ、把持対象物の傾く角度が大きくなることが確認されている[4]。

本報告は、柔軟な指先を有する柔軟3指ハンドの関節を、回転関節から並進関節に変更することで、把持対象物の2種類の姿勢変化を操作可能であることと、把持対象物の傾く角度が増加することを示す。

2. 回転・並進関節の特徴

図1に柔軟2指ハンドの回転関節の特徴を、図2に柔軟2指ハンドの並進関節の特徴を示す。図1に示した回転関節は、物体把持と姿勢操作を同時に行うことができる。また、把持力、姿勢操作を独立して操作することができる。ただし、姿勢操作を行うさいに、把持対象物にかかる把持力を一定にして制御することが困難であるため、姿勢操作中に把持物体を落下する恐れがある。

図2に示す並進関節は、物体把持と姿勢操作で役割を分担

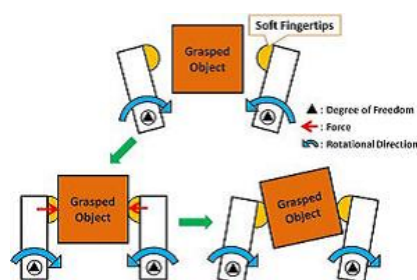


Fig. 1 Motion of two-fingered hand with soft fingertips using rotational joints

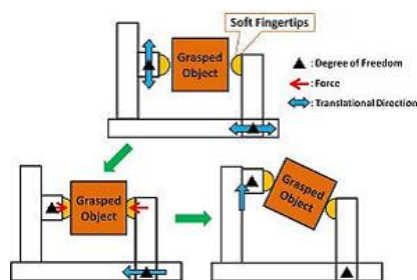


Fig. 2 Motion of two-fingered hand with soft fingertips using translational joints

することができる。そのため、姿勢操作時の把持力を一定に保ちながら姿勢制御を容易に行うことができる。さらに、把持対象物の姿勢操作を行うとき、ハンドの最大可動範囲は関節の最大長に等しい。このことから、1自由度2指ハンドの場合、並進関節は把持対象物が落下するまで、把持対象物を把持し続ける。よって、並進関節は把持対象物を大きく傾けることができる。

3. 並進関節を用いた手動柔軟3指ハンド

本実験で使用した並進関節を用いた手動柔軟3指ハンドを図3に示す。また、図4に手動リニアステージによる動作を、図5にチャックスクロールによる動作を示す。このハ

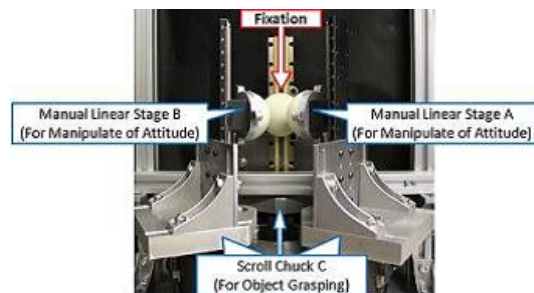


Fig. 3 Three-fingered hand with soft fingertips using manual translational joints

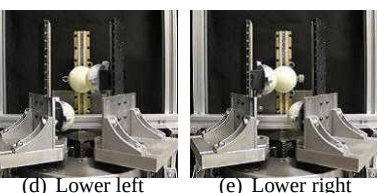
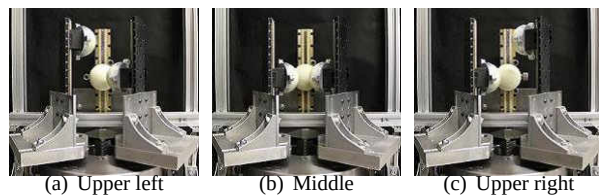


Fig. 4 Motion by manual linear stage

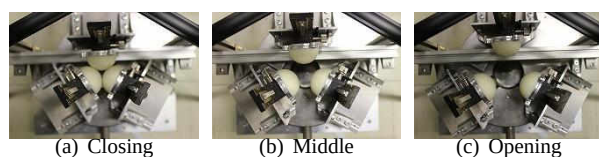


Fig. 5 Motion by the scroll chuck C

Table 1 Adjustable range of translational joints

Translational joints	Adjustable range
Manual linear stage	140 mm
Scroll chuck	50 mm

ンドは、3 自由度すべて並進関節で構成されている。図 3 に示す手動リニアステージ A, B は、把持対象物の姿勢操作を行い、チャックスロール C は、指が 3 つ連動して把持対象物の把持を行う。ただし、図 3 に示す奥にある手動リニアステージは、本報告では固定しているため動作しない。このようにした理由として以下の 3 つが挙げられる。1 つ目は、2 種類の姿勢変化を行うため、姿勢操作の並進関節が 2 自由度必要になるからである。2 つ目は、指の配置を、120 deg. 位相にする必要があるからである。従来の柔軟 3 指ハンドは指を 120 deg. 位相に配置することで、全方向に傾けることを可能にした [5]。並進関節を用いた柔軟 3 指ハンドでも、同様なことが考えらるので同様の配置にした。3 つ目は、機械的なあるいは、制御による関節の連動が必要になるからである。1 自由度かつ、指の配置を 120 deg. 位相を保ったまま物体把持を行う必要があるため、把持用の並進関節が 3 方向から同時に中心に向かうようにしなければならない。これらから

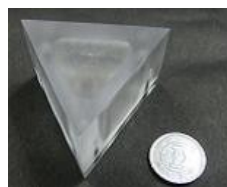


Fig. 6 Grasped object

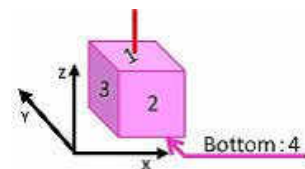


Fig. 7 Initial position of grasped object

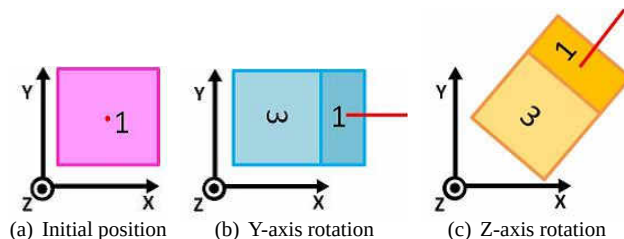


Fig. 8 Change of orientation of grasped object in X-Y plane

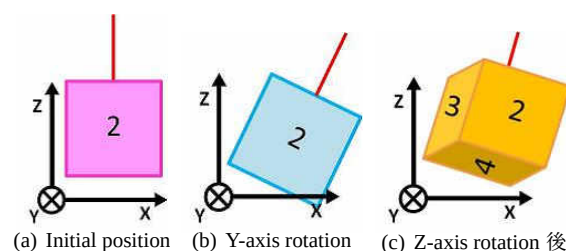


Fig. 9 Change of orientation of grasped object in X-Z plane

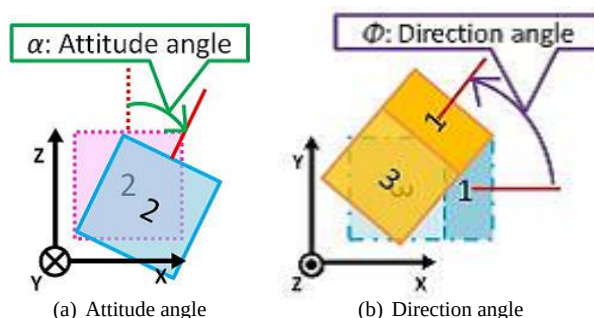


Fig. 10 Change of orientation of grasped object

ら手動柔軟 3 指ハンドは、把持対象物の姿勢操作に 2 自由度、把持に 1 自由度の計 3 自由度で構成される。また、このハンドの指先には、ポリウレタン製の柔軟部材が取り付けられている。柔軟部材の形状は、半径が 20 mm の半球である。表 1 に並進関節を用いた手動柔軟 3 指ハンドの可動範囲を示す。

4. 把持対象物の姿勢計測

4.1 把持対象物の 2 種類の姿勢変化

本研究では、把持対象物の姿勢変化を計測する必要がある。図 6 に把持対象物の外観を示す。把持対象物の形状は正三角柱であり、寸法は 1 辺 50 mm、高さ 30 mm である。把持対象物の中に 3 軸加速度センサを取り付け、2 種類の姿勢変化を計測する。センサを中に入れることで、把持対象物の姿勢変化を直接計測することができる。

2 種類の姿勢変化を説明するために把持対象物の形状を図 7 に示すような立方体とする。また、立方体の面に上面を 1、正面を 2、側面を 3、底面を 4 と番号を付ける。次に、図 8 は、XY 平面から見た把持対象物の姿勢変化である。図 9 は、

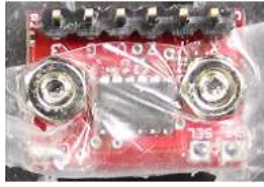


Fig. 11 3-axis acceleration sensor

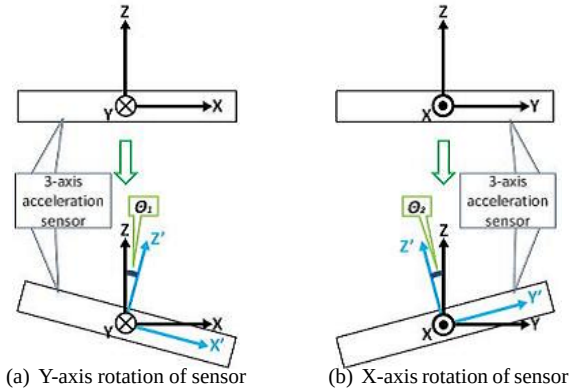


Fig. 12 X-, Y-axes rotation of sensor

XZ 平面から見た把持対象物の姿勢変化である。図 8(a), 図 9(a) は, 把持対象物の初期姿勢である。図 8(b), 図 9(b) は, 把持対象物を Y 軸中心に回転させた状態である。また, 図 8(c), 図 9(c) は把持対象物を Z 軸中心に回転させた状態である。図 9(a) の把持対象物の初期位置から図 9(b) の把持対象物の Y 軸回転後へと姿勢が変化するときの角度を姿勢角とする。次に, 図 8(b) の把持対象物の Y 軸回転後から図 8(c) の把持対象物の Z 軸回転後へと姿勢が変化するときの角度を方向角とする。つまり, 把持対象物の 2 種類の姿勢変化とは図 10(a) に示す姿勢角, 図 10(b) に示す方向角である。

4.2 3 軸加速度センサから姿勢角, 方向角を算出方法

把持対象物の 2 種類の姿勢変化の計測を行うセンサを, 図 11 に示す。この 3 軸加速度センサは重力の変化によってセンサの傾きを検出する。センサからの信号は Y 軸回転, X 軸回転, センサの表裏の 3 つである。今回は X 軸回転, Y 軸回転の 2 つのセンサ信号から把持対象物の姿勢角, 方向角を求める。図 12(a) 示すようにセンサの Y 軸回転時の角度を θ_1 , 図 12(b) 示すようにセンサの X 軸回転時の角度を θ_2 とする,

図 10 より, 姿勢角を α , 方向角を ϕ で表す。このときの回転軸 α は,

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_\phi \\ S_\phi \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

と表すことができる。単位ベクトル $\mathbf{a}$ まわりの角度 α の回転を表す行列 [6] は,

$$\begin{aligned} R(\mathbf{a}, \alpha) &= \begin{bmatrix} C_\alpha + \bar{C}_\alpha a_x^2 & \bar{C}_\alpha a_x a_y - S_\alpha a_z & \bar{C}_\alpha a_x a_z + S_\alpha a_y \\ \bar{C}_\alpha a_y a_x + S_\alpha a_z & C_\alpha + \bar{C}_\alpha a_y^2 & C_\alpha a_y a_z - S_\alpha a_x \\ \bar{C}_\alpha a_z a_x - S_\alpha a_y & \bar{C}_\alpha a_z a_y + S_\alpha a_x & C_\alpha + \bar{C}_\alpha a_z^2 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} C_\alpha + \bar{C}_\alpha a_x^2 & \bar{C}_\alpha a_x a_y - S_\alpha a_z & S_\alpha S_\phi \\ \bar{C}_\alpha a_y a_x + S_\alpha a_z & C_\alpha + \bar{C}_\alpha a_y^2 & -S_\alpha C_\phi \\ -S_\alpha C_\phi & S_\alpha S_\phi & C_\alpha \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (2)$$

この回転行列の (3,1) 要素, (3,2) 要素に, センサからの θ_1 ,

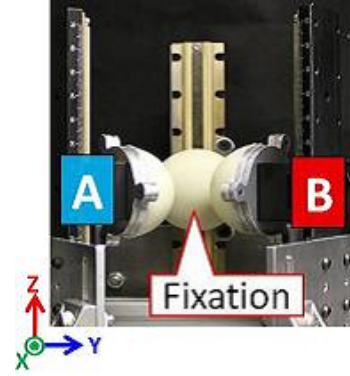


Fig. 13 Position of translational joints

Table 2 Adjustable range of translational joints 1

	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3
A	0~50 mm	0~-50 mm	0
B	0	0	0~50 mm

Table 3 Adjustable range of translational joints 2

	Pattern 4	Pattern 5	Pattern 6
A	0	0~50 mm	0~-50 mm
B	0~-50 mm	0~50 mm	0~-50 mm

θ_2 が対応し,

$$-S_\alpha C_\phi = \sin \theta_1, \quad (3)$$

$$S_\alpha S_\phi = -\sin \theta_2, \quad (4)$$

が成り立つ。これより次式を得る

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\sqrt{\sin^2 \theta_1 + \sin^2 \theta_2} \right), \quad (5)$$

$$\phi = \text{atan2}(-\sin \theta_2, -\sin \theta_1). \quad (6)$$

5. 把持対象物の姿勢計測実験

5.1 実験方法

本実験では, 3 節, 4 節で述べたハンドと計測方法を用いて, 把持対象物の姿勢角 α と方向角 ϕ を計測する。並進関節ハンドが回転関節ハンドよりも, 姿勢角を大きくできることを示す。また, どの方向にも把持対象物を傾けられることを示す。並進関節の初期位置を図 13 に, A, B の並進関節の動作順序を表 2, 表 3 に示す。まず, 並進関節を用いた柔軟 3 指ハンドに把持対象物を把持させる。次に, A, B の並進関節を Z 軸方向に 1 mm ずつ動かし, 6 パターンの計測を行う。それを 3 回試行する。A, B の並進関節は図 13 に示すような 0 mm の状態にしてから, 把持対象物を把持し, 6 パターンの計測を行う。

5.2 姿勢角の実験結果

姿勢角の実験結果を図 14 に示す。図 14 は, 姿勢角の計測結果の平均を表す。把持対象物の姿勢角を最大 72 deg. まで傾けられた。この結果から, 回転関節を用いた柔軟 3 指ハンドより, 並進関節を用いた手動柔軟 3 指ハンドの方が, 把持対象物を大きく傾けられることがわかる。また, 並進移動量と姿勢角の関係が線形的であることがわかる。さらに, パターン 1, パターン 3, パターン 6 は, 並進移動量が 30 mm のときに把持対象物の落下, あるいは, 1 指が離れた。またパターン 2, パターン 4, パターン 5 は, 並進移動量が 40 mm のと

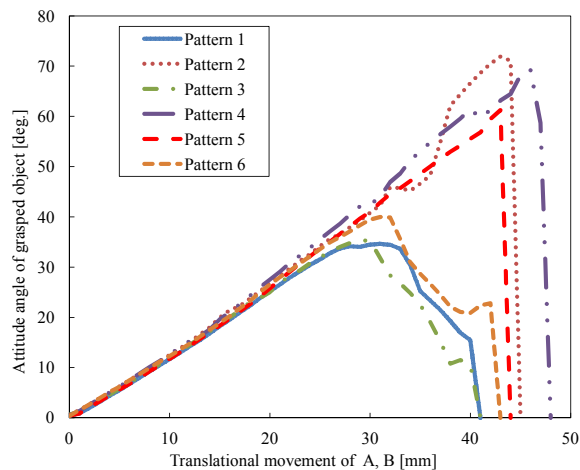


Fig. 14 Translational movement and direction angle

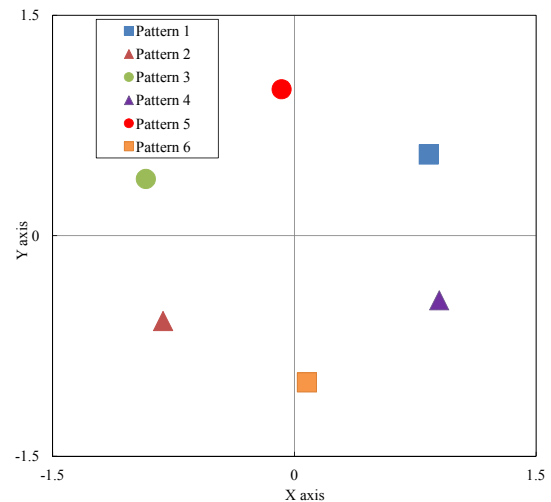


Fig. 16 Each pattern and direction angle

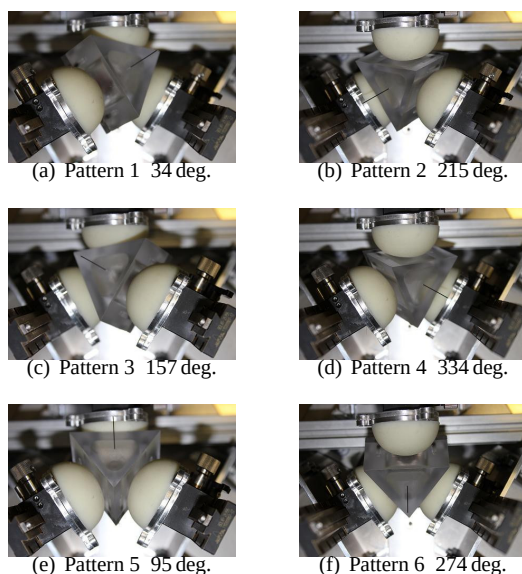


Fig. 15 Direction angle of each pattern

きに把持対象物の落下，あるいは，1 指が離れた．並進移動量が 30 mm と，40 mm の場合では，把持対象物の姿勢角が 37 deg. の差が生じた．

5.3 方向角の実験結果

方向角の実験結果を図 15，図 16 に示す．図 15 は，各パターンの A，B の並進移動量の絶対値が 30 mm のときの把持対象物の姿勢変化を，並進関節を用いた柔軟 3 指ハンドの上から撮影した結果である．図 16 は，方向角の計測結果の平均を行い，さらに，パターンごとの姿勢角が 10 deg.～60 deg. ときの方向角の計測結果の平均を表す．パターン 1 は 34 deg. の方向に，パターン 2 は 215 deg. の方向に，パターン 3 は 157 deg. の方向に，パターン 4 は 334 deg. の方向に，パターン 5 は 95 deg. の方向に，パターン 6 は 274 deg. の方向に把持対象物を傾げることができる．この結果から，6 方向に把持対象物を傾げられることがわかった．加えて，6 方向の間隔が 60 deg. 刻みであった．把持対象物の方向角は，姿勢操作の並進関節の配置と動かし方によって，変化するため規則性が認められる．また並進関節の指の位置と，把持対象物の姿勢角にも規則性が認められる．

6. 結言

本報告では，並進関節を用いた手動柔軟 3 指ハンドの指の位置を，上下に並進移動させることで，回転関節を用いた柔軟 3 指ハンドより把持対象物の姿勢角が，増加することを示した．加えて把持対象物の方向角を 6 方向に，60 deg. 刻みに傾けられることを示した．

今回の実験は手動による把持対象物の姿勢操作であったため，制御を行ったさい，姿勢角を 72 deg. まで傾げることが不明である．そこで，姿勢角，方向角の制御が可能な実機の設計・製作を行い，製作した実機を用いて姿勢角，方向角の制御を行う．

文献

- [1] 井上 貴浩，平井 慎一，“柔軟指による物体操作のダイナミクス”，ロボティクスシンポジウム予稿集，pp. 156-162，2007．
- [2] 平井 慎一，井上 貴浩，“柔軟指による三次元把持と操作”，第 26 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM，神戸，Sept. 2008．
- [3] 上本 宏明，平井 慎一，“柔軟 3 指による把持対象物の姿勢制御”，ロボティクス・メカトロニクス'10 講演会予稿集 CD-ROM，旭川，June 15-16，2010．
- [4] 中谷 泰隆，平井 慎一，“並進関節による把持物体操作”，第 29 回日本ロボット学会学術講演会，豊洲，Sept. 7-9，2011．
- [5] 上本 宏明，平井 慎一，“柔軟 3 指の配置が把持対象物の姿勢角制御に与える影響”，第 28 回日本ロボット学会学術講演，名古屋，Sept. 22-24，2010．
- [6] Takahiro Inoue, Shinichi Hirai, "Mechanics and Control of Soft-fingered Manipulation", Springer-Verlag, pp185-186, 2008.