

小物体群ハンドリング用左右異形構造の把持モード可変グリッパ

○渡辺哲陽（金沢大学） 森野弘大（パナソニック（株）） 朝間由龍（パナソニック（株）） 西谷誠治（パナソニック（株）） 戸島亮（パナソニック（株））

1. はじめに

複数の物体をつかむためのロボットハンドはこれまでも開発されてきたが[1][2][3]，小物体群をハンドリングするためのロボットハンドについてはあまり深く検討されてこなかった．そこで本研究ではこの問題に取り組む．近年普及が進んでいる小型のウェアラブルデバイスの組立を想定し，対象とする小物体群のサイズは数ミリメートル単位とする．このサイズの物体を掴む際に最も問題となるのが薄さと軽さである．高コストや管理の難しさを踏まえて空気による吸引を使わないとすると，産業用で一般に用いられるパラレルジョーグリッパで掴めない薄さを対象がもつ場合，すくう作業が求められる．すくう作業でさらに問題となるのが軽さによりすくい作業中に物体が飛んでしまうことである．このため，薄さと軽さを同時に解決するようなグリッパが求められる．

本研究では，図1に示すような6種類の対象物体をハンドリングできるロボットハンドの開発を目指す．小さい，薄い，軽いという属性がある対象であることはもちろんのこと，剛性，サイズ，表面凹凸，形状が異なる物体群を選ぶことで，対象となる6物品以外の物体でもハンドリングできるような汎用性の高いロボットハンドの開発を目指す．

2. 左右異形構造の把持モード可変グリッパ

- 水平面に置かれた図1に示す物体を全て掴み上げることができる
- 把持動作中に物体が飛び出るのを防ぐ機構を有する
- 使用するアクチュエータ数は1個とする
- 把持手順は簡単である．

以上の機能要件をもとに，図2に示すようなロボットグリッパを開発した．左右の指はリニアガイドに固定され，サーボモーター（Dynamixel XM430-W210-R）により動作する左右ねじにより開閉する．グリッパのボディは主に3Dプリンタ（Markforged Mark Two）により製作した．このグリッパはパラレルグリッパモードとめくりモードの二つのモードを有する．テーブルのような水平面にグリッパを接触させることでモードを変えることができる．これにより単一のモータで複数の把持モードを受動的に実現している．パラレルグリッパモードで把持できない場合めくりモードを使うというのが，基本的な把持戦略である．めくりモードでは，片方の指（すくい指）で物体をすくいながら，もう片方



図1 対象とする小物体群

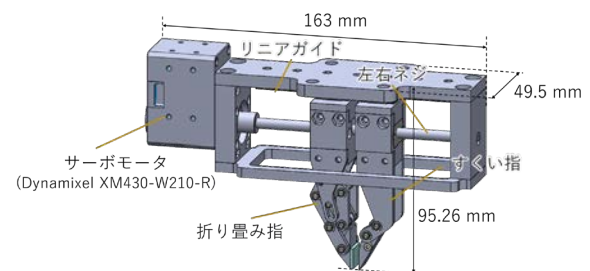


図2 開発したロボットグリッパ

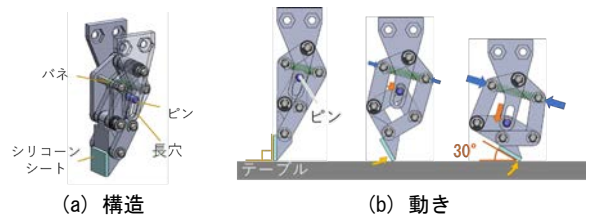


図3 折り畳み指

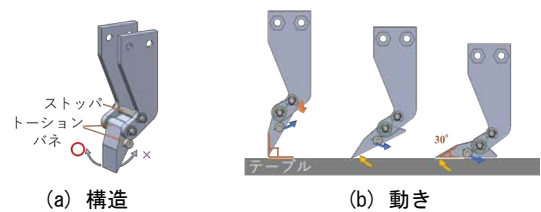


図4 すくい指

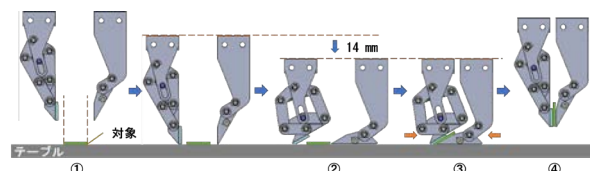


図5 めくりモードでの把持手順

の指（折り畳み指）で上から物体が飛び出るのをおさえることで，薄く軽い物体のハンドリングを実現する．このめくりモードを実現するため，左右異形構造の指を採用した．

図3(a)に折り畳み指の構造を示す．指には，物体

を上から拘束して飛び出さないようにするために、6本の棒状のリンクが取り付けられている。平行4リンク機構に2つの追加リンクを加えたものとなっている。めくりモードではリンクが開いて折り畳まれるのに対し、パラレルグリップモードではリンクが閉じる。平行4リンク機構の可動方向が穴の方向と直角になるように長穴を開けた。指先をテーブルに接触させ、外力を加えるとリンクが開くようになっている。開いたリンクを元の状態に戻すために、バネを取り付けた。図3(b)に示すように、リンクが最大に開いた状態で、指の表面とテーブルの角度が 30° になるように設計した。リンクを閉じた状態では、指の表面がテーブルに対して垂直になるように設計することで、パラレルグリップモードを実現した。なお、指先に水平方向の力が加わったとき、リンク機構が動かないように、ピンで（根元に設置した平行4リンク機構の駆動を担う）リンクの動きを止めるようにした。把持面には、厚さ1.5mmのシリコンシート（Dragon skin 30）を貼り付けた。シリコン面が把持物の形状に倣って、安定把持に寄与することを期待したものである。めくりモードでは、さらに、回転中の指先とアイテムの接触ならびに接触力の維持への寄与を期待した。

図4(a)に、すくい指の構造を示す。めくり作業中に物体の下に滑り込ませて物体を持ち上げるための指である。指先を尖らせ、トーションスプリングを取り付けた受動関節を配備している。指をテーブルに押し付けると、尖った指先がテーブルに沿って回転する。指を最大限に押し付けたとき、指先とテーブルの間の角度は 30° であり、折り畳み指のめくりモードにおける面角度と一致するように設計している。指をテーブルに押し付けていない場合は、指の表面がテーブルに対して垂直になるように設計している。また、パラレルグリップモードで把持力が加わった時に不要な関節回転が起こらないようにストッパを設けている。めくりモードの把持手順概要を図5に示す。

パラレルグリップモードでは主に折り畳み指の接触面に垂直な方向に力が加わるのに対して、めくりモードでは指の長手方向に力が加わる。パラレルグリップモードでは折り畳み指が折り畳まれず、めくりモードでは折り畳まれることが理想である。このことを確認するため、折り畳み指の先端にかかる力の方向と折り畳み動作を起動させるのに必要な力を、力学的解析ならびに実験により調査した。図6に実験装置を図7にその結果を示す。概ね実験値が解析値に近いことを踏まえ、解析結果から、 ζ （図6参照）が $-15^\circ \sim 23^\circ$ の範囲において折り畳み動作が起動し、それ以外の範囲では幾何的拘束により折り畳み動作が起動しないことが分かる。めくりモード（ $\zeta = -15^\circ$ ）では折り畳み動作が起動し、パラレルグリップモード（ $\zeta = 75^\circ$ ）では起動しないことが分かる。詳細は[4]を参照されたい。

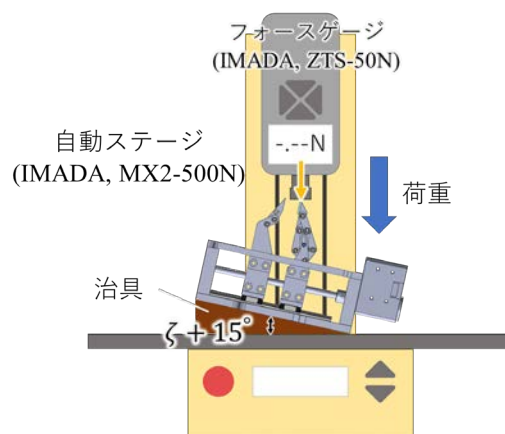


図6 折り畳み指の折り畳み動作を起動させるのに必要な力を調査するための実験装置

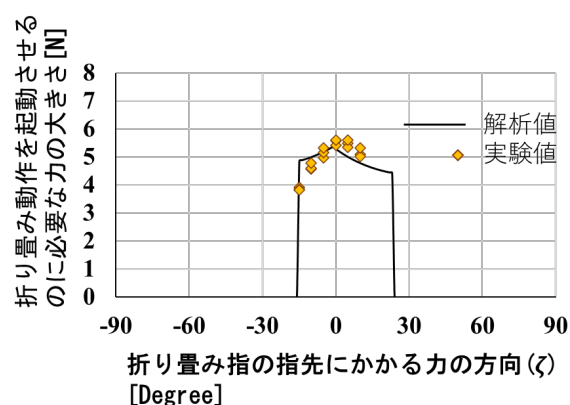


図7 折り畳み指の指先にかかる力の方向と折り畳み動作を起動させるのに必要な力の大きさの関係

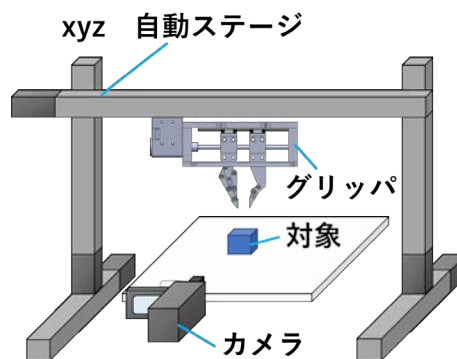


図8 把持試験のための実験装置

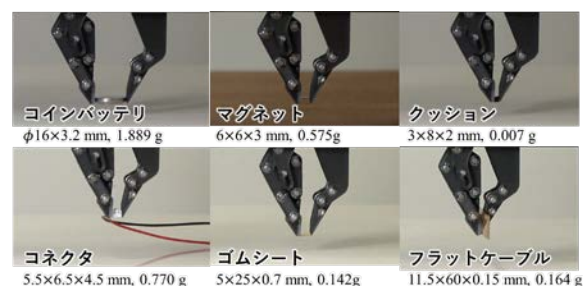


図9 把持試験結果の例

3. 実験的評価

3.1 対象物体のハンドリング実験

水平面上におかれた図1に示す対象物体をハンドリングして持ち上げる実験を行った。図8にそのための実験装置を示す。実験装置は、開発したグリップを xyz 自動ステージ (Oriental motor x-axis: ELS4XE010KD0, y-axis: ELS4YE050KD0, z-axis: EAS4LNX-E050-ARMK-2) にとりつけたものである。各対象物、70回ハンドリング実験を行った。なお、成功率の評価に必要なサンプルサイズは、許容誤差を10%、信頼度を90%とした場合68となる[5]ことから実験回数を70回と設定した。パラレルグリップモードで10回実施し、ハンドリングできない場合はめくりモードにて70回ハンドリング試験を行った。フラットケーブルの場合、薄すぎてパラレルグリップモードではつかむことが出来なかったため、めくりモードを活用した。折り畳み指で上部からフラットケーブルが飛び跳ねるのを抑えながら、すくい指ですくうことで、成功率100%でのハンドリングを実現するに至った。図9に把持実験結果の一例を示す。試験の様子は<https://youtu.be/1lSb195MFbA>[6]を参照されたい。

3.2 他の対象物体のハンドリング実験

対象とした物体は6種類であるが、その材料やサイズは多種多様であるため、同様の小さなサイズの様々な物体のハンドリングが期待できる。そこで前節と同じ実験装置を用いて様々な物体のハンドリング実験を行った。各対象物10回ずつ行ったが、成

功率が0%または100%でない場合、より正確な成功率を導出するため、70回の試験を行った。結果を表1に示す。なお、ハンドリング試験の様子は<https://youtu.be/1lSb195MFbA>[6]を参照されたい。成功率が100%でない対象物が言ってみれば開発グリップでハンドリングできる物体の限界サイズまたは材質であると考えられる。M6 ワッシャーは成功率100%でハンドリングできるものの、M5 ワッシャーはできない。コインも同様である。円筒形の物体の場合、(指先端)接触できる領域が狭いため、すくいづらい。このため、1.0~1.3mm くらいの薄さで硬い材質の場合、ハンドリングが難しくなったものと考えられる。材質が柔らかいと変形により接触面積が増えるため、すくい動作が比較的容易に行える。摩擦が大きい場合、すくい動作はできるものの、ねじれたりするケースも見られた。なお、パラレルグリップモードで把持できた物体の薄さの最小値は0.7mm、重さは0.007g、めくりモードで把持できた物体の薄さの最小値は0.05mm、重さは0.013gであった。

4. おわりに

本研究では、数ミリメートル単位の小さな物体をハンドリングするための左右が異構造で、テーブルなどの環境との接触により、パラレルグリップモードからめくりモードへと把持モードを変えることができるグリップを開発した。今後は、このグリップで組み立てなどの実作業を行う方法等について検討する予定である。

表1 把持実験の結果

成功率	パラレルグリップモード						めくりモード	
70/70	コインバッテリー ($\phi 16 \times 3.2$, 1.889 g)	磁石 ($6 \times 6 \times 3$, 0.575 g)	クッション ($3 \times 8 \times 2$, 0.007 g)	コネクタ ($5.5 \times 6.5 \times 4.5$, 0.770 g)	ゴムシート ($5 \times 25 \times 0.7$, 0.142 g)	フラットケーブル ($11.5 \times 60 \times 0.15$, 0.164 g)		
10/10	M6 ワッシャー ($\phi 11.5 \times 1.5$, 0.706 g)	コイン ($\phi 18.5 \times 1.3$, 2.374 g)	抵抗 ($2.2 \times 6.7 \times 2.2$, 0.163 g)	抵抗 ($1.7 \times 3.2 \times 1.7$, 0.126 g)	青色ベルト ($10 \times 29.3 \times 1$, 0.295 g)	スプリングワッシャー ($\phi 6.6 \times 1.3$, 0.085 g)	紙 ($25 \times 76 \times 0.1$, 0.143 g)	
	オペアンプ ($9 \times 19.5 \times 7$, 0.960 g)	コンデンサ ($4.4 \times 5 \times 2$, 0.228 g)	電圧駆動素子 ($10.4 \times 29 \times 4.5$, 1.982 g)	電子基板 ($18.4 \times 25.6 \times 4.2$, 2.445 g)	電子基板 ($17.8 \times 20.7 \times 11.5$, 1.869 g)	耐熱シート ($10.6 \times 40.2 \times 0.4$, 0.351 g)	ビニル袋(大) ($66 \times 77 \times 4^\dagger$, 3.212 g)	
	スイッチ ($6.3 \times 6.3 \times 6.8$, 0.291 g)	ダイオード ($3.5 \times 5.5 \times 3.5$, 0.136 g)	圧着端子 ($1.95 \times 2.4 \times 6.5$, 0.054 g)	ネジ ($\phi 3.3 \times 3.3$, 0.097 g)	M2 ボルト ($\phi 3.8 \times 6$, 0.205 g)	キムワイブ ($13.1 \times 49.3 \times 0.1$, 0.013 g)	PTP シート ($16 \times 35 \times 4^\dagger$, 0.567 g)	
	M2.5 ボルト ($\phi 4.5 \times 6.5$, 0.362 g)	M3 ボルト ($\phi 5.5 \times 7$, 0.615 g)	M2 ナット ($4.0 \times 4.5 \times 1.6$, 0.117 g)	M2.5 ナット ($5 \times 5.5 \times 2$, 0.227 g)	M3 ナット ($5.4 \times 6 \times 2.4$, 0.329 g)	ビニルシート ($20 \times 20 \times 0.05$, 0.016 g)	ビニル袋	
	ビニル袋 ($25 \times 55 \times 4.9^\dagger$, 1.787 g)		Oリング ($\phi 8.7 \times 1.5$, 0.048 g)		クリップ ($7.5 \times 29 \times 0.8$, 0.373 g)		Oリング	クリップ
61/70						ワッシャー ($\phi 10 \times 1.0$, 0.706 g)		
50/70						コイン ($\phi 18.5 \times 1.3$, 2.374 g)		
0/10	フラットケーブル	スプリングワッシャー	紙	PTP シート	ビニル袋(大)			
	耐熱シート	ビニルシート	キムワイブ	M5 ワッシャー				

参 考 文 献

- [1] J. Shintake, V. Cacucciolo, D. Floreano, and H. Shea: Soft Robotic Grippers,” *Adv. Mater.*, vol. 30, no. 29, 2018.
- [2] T. Watanabe, K. Yamazaki, and Y. Yokokohji: “Survey of robotic manipulation studies intending practical applications in real environments -object recognition, soft robot hand, and challenge program and benchmarking-,” *Adv. Robot.*, vol. 31, no. 19–20, pp.1114-1132, 2017.
- [3] M. Controzzi, C. Cipriani, and M. C. Carrozza: “Design of Artificial Hands: A Review,” 2014, pp.219-246.
- [4] T. Watanabe, K. Morino, Y. Asama, S. Nishitani, and R. Toshima, “Variable-grasping-mode gripper with different finger structures for grasping small-sized items,” *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 6, no. 3, pp. 5673–5680, 2021.
- [5] P. Mathews: “Sample Size Calculations: Practical Methods for Engineers and Scientists. Mathews Malnar and Bailey,” 2010.
- [6] <https://youtu.be/1ISbl95MFbA>