

# 金属 3D プリントを利用した軽量・高可逆動な ロボットアームの手首機構

○笹野誠也 (立命館大学) 植村充典 (立命館大学)

## 1. 緒言

現在、産業界では人の手に頼った単純作業が膨大にあり、そのような作業をロボットが行うには、不確定な作業対象を認識する技術が不可欠である。そこで、我々はロボットアームによる接触によって物体を動かすことで不確定な物体でも個々の物体を区別して認識し操作する「接触を用いた不確定物体操作」を提案している[1][2][3][4][5]。この枠組みで使用されるロボットアームは、不確定な環境で使用するために物体と接触できることが必須である。従来の高重量かつ、逆可動性と呼ばれる他の物体と接触した際の関節の逆方向への受動的な動きやすさが低いロボットアームは、不意の接触時に対象物やアームが破損する可能性が高い。

そのため、我々はロボットアームにワイヤ駆動を採用する。ワイヤ駆動機構の利点として土台部への動力の集約による手先部の軽量化とそれに伴う高可逆動化がある。しかし、ワイヤ駆動の欠点として機構が複雑になりやすい点、可動域を確保するためにプーリにワイヤを1周巻くとワイヤ同士が擦れ合い、摩耗してしまい、耐用年数が短くなってしまう点などがある。

本研究はロボットアームの中でも3つの関節を持ち、構造が複雑化しやすい手首部を対象とする。手首の機構を改良しつつ、金属3Dプリンタを用いて複数パーツを一体成型することで、ワイヤ駆動の欠点を改良し、より軽量に製作することで、手先部の慣性力や重力を削減することに取り組んだ。

## 2. ワイヤ駆動機構

本論文では、ワイヤ駆動機構の動力を離れた位置に配置できるという利点を生かして、軽量かつ高逆可動なアーム手首部を設計する。特に、手首部を軽量化するための機構を改良する。また、ワイヤ機構の持つ機構の複雑さ、ワイヤの摩耗などの問題を、金属 3D プリントの利用や機構の改良によって解決する。

### 2.1 ワイヤ駆動機構の利点

ワイヤ駆動機構とは、ワイヤとプーリによって動力を伝達する機構である。ワイヤ駆動機構は、動力を離れた位置に伝達できるという利点がある。この利点から、大きく動く末端を軽量化することでロボット全体を軽量化しつつ、それによりアクチュエータの減速機の減速比を低くできるので逆可動性を向上できる。

### 2.2 3 連プーリ機構の利用

ワイヤが関節を経由する際に、ワイヤがプーリから外れないようにしつつ関節の可動域を確保するために、我々のこれまでの研究では経由プーリにワイヤを一周巻きつけていた[1]。しかし、そうするとワイヤが一周した部分でワイヤ同士が摩耗してしまい、耐用年数が減ってしまう。この問題を解決するために、我々が提案した3連プーリ機構[2]を採用する。これを用いることで経由プーリの数は増えてしまうが、可動域を確保しつつ、ワイヤを摩耗させずに動力が伝達できるようになる。

### 2.3 金属 3D プリントの利用

本研究で製作するロボットアームの手首部部分は、3つの関節を持つワイヤ駆動機構であるため、構造は非常に複雑となる。また、3連プーリ機構の採用により、ワイヤ摩耗の問題は解決できるが、経由プーリの数が増え、ワイヤ駆動機構の欠点である複雑さがより増してしまう。この問題を解決し、手首部を小型、軽量に設計するために、金属 3D プリントを利用する。今回利用した金属 3D プリントはチタン粉末を積層焼成することで金属を造形するものである。これを利用し、これまでプレートやシャフト、ボルト、ナットなどの固定具を組み合わせて作っていたものを金属 3D プリントによって一体成型することにより、パーツ数を大幅に減らす。先行研究[1]の金属 3D プリントを使わずに設計したアーム手首部を図 1 に、当研究の金属 3D プリントの利用を前提としたアーム手首部を図 2 に示す。また、重量とパーツ数の比較を表 1 に示す。

図 1、2 と表 1 からわかるように、大幅なパーツ数の削減とそれに伴う軽量化に成功した。

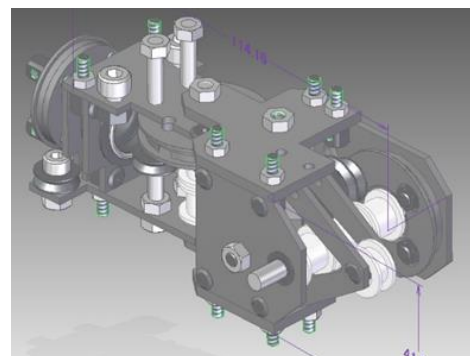


図 1 先行研究アーム手首部[1]

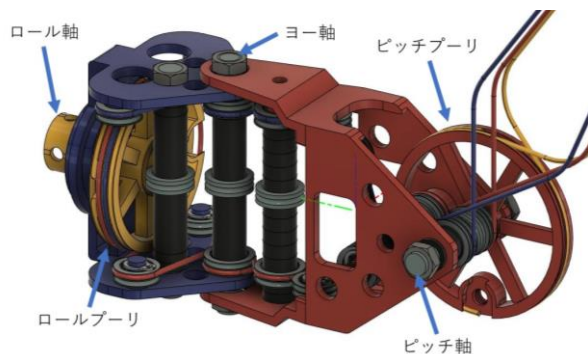


図2 本研究アーム手首部

	先行研究[1]	当研究	減少量
パーツ数	134 個	45 個	66%
重量	169g	114g	33%

表1 アーム手首部比較

#### 2.4 軽量、高逆可動な手首機構

手首部に必要な大型のパーツは、ワイヤ張力を関節の駆動トルクに変換する駆動プーリである。駆動プーリは先行研究[1]のアーム手首部ではロール、ピッチ、ヨーのそれぞれの関節軸に一つずつ配置されている。関節に伝える駆動トルクを大きくするためには、できるだけ駆動プーリの直径を大きくすることが好ましい。しかし、駆動プーリの大型化は手首機構全体の大型化の原因となっている。

そこで、本研究ではヨー関節軸の駆動プーリを削除し、ロール関節軸の駆動プーリに4本のワイヤを固定することで手首部を小型、軽量化する。この機構は、kyentific [6]の機構を参考に、より小型化したものである。具体的には、skyentific の機構ではヨー軸に固定するプーリは削減できるにも関わらず、ヨー軸のプーリは固定プーリと同じ大きさの受動プーリが必要であった。提案する機構では、この問題を解決し、ヨー軸の受動プーリは図2のようにワイヤを経由する最小限の直径のもので代替できる。これは、ロールプーリの直前にある受動経由プーリの配置を改善したことによるものである。金属3Dプリンタを利用しボディと軸を一体成型することで、経由プーリを機体内側に省スペースに設置することができた。ワイヤ経路を図3に、ロール軸を正面から見たワイヤ経路を図4に、ワイヤの回転方向と動作の対応表を表2に示す。ロール軸のプーリを用いて、ロール軸とヨー軸の両方にトルクを発生する原理は、以下の通りである。図4の(b)のように全てのワイヤがロール軸に同方向にトルクを発生させる場合はヨー軸に対しては拮抗的にトルクが加わるためロール軸だけが回転する。逆に、図4(a)のようにワイヤがロール軸に対して拮抗的にトルクを発生させる場合はヨー軸に対して同じ方向にトルクがかかりヨー軸だけが回転する。

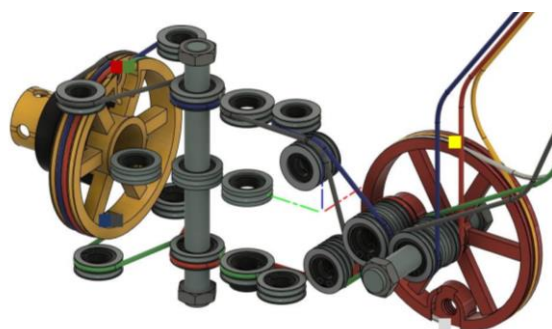
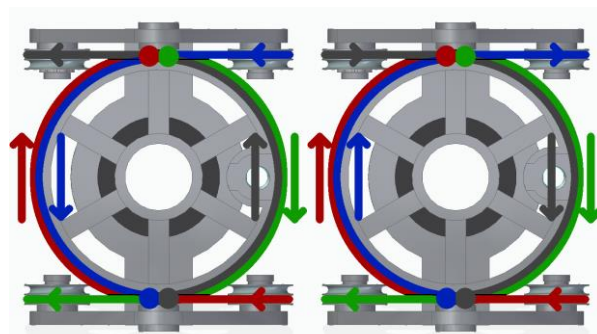


図3 手首部ワイヤ経路図  
(ワイヤ固定点を■で示す)



(a) ヨー回転 (b) ロール回転

図4 ロールプーリ正面図  
(ワイヤ固定位置を●で示す)

ワイヤ移動方向	青黒時計回り	青黒反時計回り
赤緑時計回り	ロール軸時計回り	ヨー軸反時計回り
赤緑反時計回り	ヨー軸時計回り	ロール軸反時計回り

表2 ワイヤ・動作対応表  
(ロール軸を手前側から、ヨー軸を上面側から見た場合)

### 3. 試作機の製作

これらの設計をもとに、実際に製作した試作機を図5に示す。3本のワイヤをそれぞれ操作することで、ワイヤ同士が擦れ合うことなく各関節を動作させることができた。



図5 ロボットアーム手首部試作機

#### 4. 結言

金属 3D プリンタを利用し、ワイヤ駆動機構の改良を行うことで、ワイヤ駆動機構をより小型、軽量かつワイヤの耐用年数を伸ばしたロボットアーム手首部を製作することができた。現在、この手首部を搭載した軽量、高可逆動なロボットアームの設計、製作途中である。今後は、このアームを用いて「接触を用いた不確定物体操作」の研究を進める予定である。

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。

#### 参 考 文 献

- [1] 植村充典, 八木聡明, 平井宏明, 宮崎文夫, 川村貞夫 : “先端化学繊維ロープを用いた軽量脚・腕ロボット”, 第 35 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2017) 予稿集, RSJ2017AC2K2-06, 2017.
- [2] 植村充典, 野口雅人 : “多連プーリによる小型軽量かつ摺動の少ないワイヤの関節経由機構”, 第 39 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2021) 予稿集, 2021 (掲載予定) .
- [3] 鳴田奨太, 植村充典 : “ワイヤ駆動方式における軽量で積載性の高いテンショナー”, 第 39 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2021) 予稿集, 2021 (掲載予定) .
- [4] 末藤幹淑, 植村充典 : “未知物体把持のための動的重心推定制御”, 第 39 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2021) 予稿集, 2021 (掲載予定) .
- [5] 辻川翔大, 有田輝, 植村充典 : “不確定物体把持のための近接覚センサを用いた重心推定制御”, 第 39 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2021) 予稿集, 2021 (掲載予定) .
- [6] Skyentific Youtube channel :  
<https://www.youtube.com/watch?v=EZgZ4u0B4NU>