

Fig.4 Gripping example

製作したハンドは Fig.5 に示す動作を行う。まず、Fig.5-①に示すようにマルチコプターを飛行させる。次に Fig.5-②のように線状物体の下まで移動し、その場でホバリングする。Fig.5-③のようにハンドを閉じ線状物体を把持する。最後に Fig.5-④に示すようにプロペラを止め、ぶら下がる。ハンドロック機構が働くことでプロペラを停止させることが可能となる。マルチコプターを再び飛び立たせる場合はプロペラを始動の上、ロックを解除し、ハンドを開く。把持やぶら下がる理由は、ホバリングに比べ、より安定した状態にするためである。ハンド 1 つでも把持やぶら下がりが可能である。ここでは確実な作業のために機体上部の前後に 1 つずつ配置する。

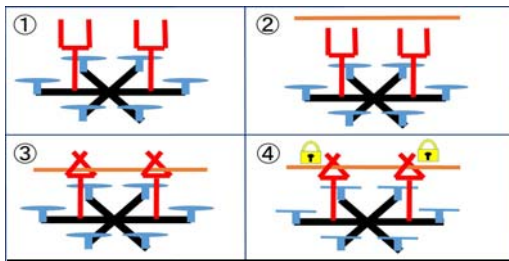


Fig.5 Hand motion

ハンドの開閉にはサーボモータを使用する。アームの根元部分を歯車形状にすることによって 1 つのサーボモータで 2 つのアームを開閉させる。

2.2 手先搭載型ロックメカニズム

2.2.1 機構

手先搭載型はハンドの先にロック機構を搭載しているモデルである。ロック機構によって、サーボモータの動力無しで把持を確実にすることが可能である。ロックを解除しなければアームを開くことはできない機構になっているため、ぶら下がる事が可能となる。この機構では 4 段階でハンドの開きを止めることができる。手先型はロック機構が外部に見えるため機構の動作状況が直ちにわかる。

左のアームに取り付けるロック機構の構成を Fig.6 に示す。構成部品は、上からネジ、左アーム、スペーサー、ロック板、バネ、アーム下板、ワッシャー、ナット、ロック板引き下げ用のワイヤーとサーボモータである。サーボモータ以外を組み上げた状態を Fig.7 に示す。

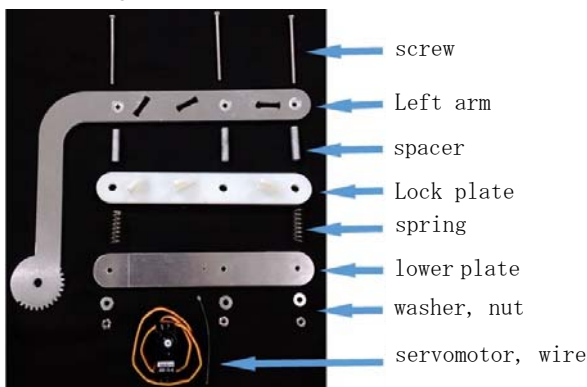


Fig.6 Configuration of Lock mechanism

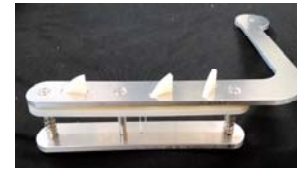


Fig.7 Overall view of Hand end type lock mechanism

アームが閉じる際にはロック板が右アームに押し下げられて下に動き、アームを通過させる。しかし、開こうとする場合はロック板が押し下げられず、アームが開くのを阻止することができ、ロックがかかる。ロックを解除する場合、Fig.8 のようにロック用サーボモータがワイヤーを引き、ロック板を下げる。すると、左アーム上面のロック歯部分が下がり、アームを開くことが可能となる。

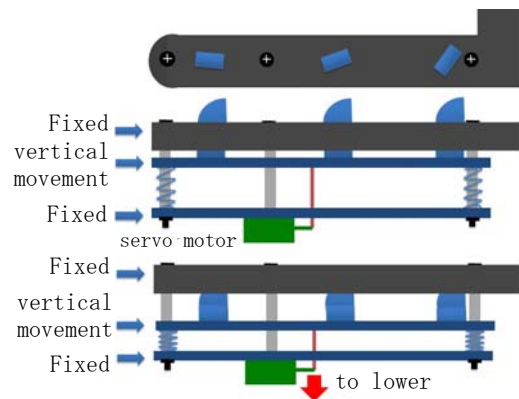


Fig.8 Lock system of hand end type

2.2.2 ロック板

ロック板は 3D プリンターで製作した。材質はアクリル系硬質樹脂であり、重量は 10 g である。完成部品を Fig.9 に示す。厚みは 3mm である。ロック歯部分は右のアームが容易に押し下げることが可能で、交差時に可能な限り右アームに面で接するために角度をつけた。左から水平面に対して 56 度、27 度、-4 度である。

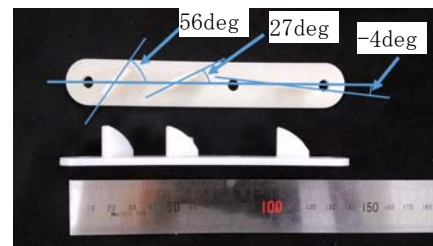


Fig.9 Lock plate

2.2.3 ハンド全体図

全てを組み込んだ手先搭載型ハンドを Fig.10 に示す。

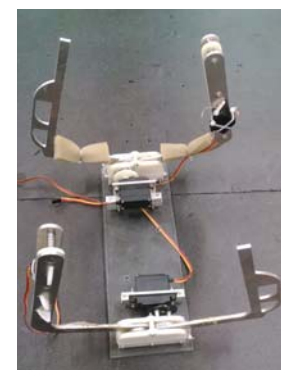


Fig.10 Overall view of Hand end type

2.3 手元搭載型ロックメカニズム

2.3.1 機構

手元搭載型のロック機構は、アーム駆動部のサーボモータの動力を伝えるアーム根元の歯車にラチェット機構を組み込む方式である。マルチコプターの重量により開こうとするトルクをラチェット機構で抑制する。手先搭載型と同じく、モータのトルクが消失しても把持を確実に行うことが可能である。この機構は手先搭載型に比べ、Fig.11 に示すようにハンド全体がシンプルになり、軽量化がおこなえる。また、歯車の歯の数によってロックする段階を変えることが可能となる。アームが交差せずに閉じきらない場合でもロック機構が動作し、その時の太さ以上には開かないようになっている。しかし、アームが交差している場合に線状物体をより確実に把持できるため、今回はハンドの開きを確実にとめる段階は 4 段階とする。

ラチェット機構の要となるロック部分はばねにより歯車に押し付けられている。閉じる際にはロック部分は障害とならないが、開く方向にはロックがかかり、アームが開かないようになってハンドがロックされる。開く際には Fig.12 のようにサーボモータにより歯車とロック部分を離すことでロックが解除され、アームが開くことが可能となる。

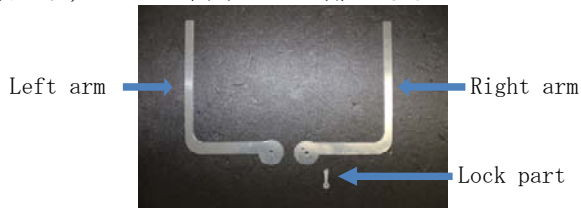


Fig.11 Parts diagram

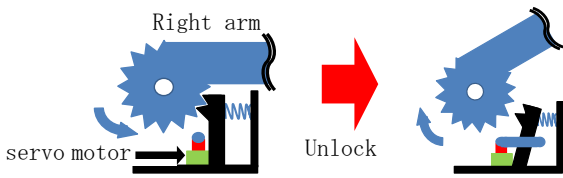


Fig.12 Lock system of hand end type

2.3.2 ハンド全体図

全てを組み込んだハンドを Fig.13 に示す。

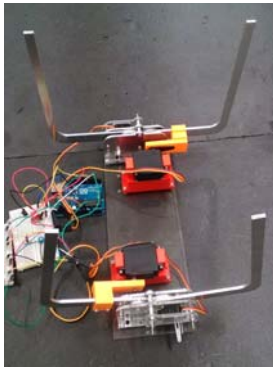


Fig.13 Overall view of Hand end type

3. 人工物パイプでの把持・ぶら下がり実験

3.1 実験機体

使用する機体は DJI 社の F550 を用いた。全長 550mm、重量 1200g、ペイロード 1200g であり、6 つのロータを持つヘキサコプターである。手先搭載型ハンドは重量 784g である。搭載した状態を Fig.14 に示す。手元搭載型ハンドは 745g である。を搭載した状態を Fig.15 に示す。また、制御ユニットには DJI 社の A2 を使用した。



Fig.14 Hand end type



Fig.15 Hand root type

3.2 実験目的

手先搭載型、手元搭載型のロックメカニズムがそれぞれ有効かどうか実験を行う。直径 30mm、50mm、80mm、100mm の人工物（塩化ビニル管、紙管）で把持、ぶら下がりが可能か実験する。ホバリングでハンドを閉じたとき、ハンドロック機構が働き、把持が可能か確かめる。次に、プロペラを止めてそのままぶら下がるのが可能か確かめる。規定した各直径の棒を把持することができ、ロック機構が働きハンドが開いて落ちないことを検証する。また、ぶら下がり状態からの離脱を行えるかを検証する。一方のハンドが故障した時を考え、片方だけのハンドでぶら下がるのが可能か確認する。

3.3 実験手順

マルチコプターはマニュアルで操作する。以下の手順で行う。また、実験状況を Fig.16 に示す。

- 1) 地上約 1.5~1.8m に把持対象物を設置する。
- 2) 対象から離れたところからマルチコプターを離陸させ、対象の下まで移動する。
- 3) ハンドを閉じ、把持可能かどうかを確認する。
- 4) プロペラを止めてぶら下がるができるかを確認する。
- 5) プロペラを始動し、ロック解除のサーボモータを動作させ、ハンドを開く。
- 6) 対象付近から離脱し、初期位置に着陸する。
- 7) 片側のみで把持させ、ぶら下がるのが可能か確認する。



Fig.16 Experimental situation

3.4 把持対象物

人工物パイプは地面と平行状態で設置した。使用したパイプは Fig.17 に示す。右から 30mm、50mm の塩化ビニル管と 80mm、100mm の紙管である。



Fig.17 Pipes for grasping

3.5 実験結果・考察

手先型の実験結果を Table 1 に示す。30mm、50mm、80mm、100mm 全てで把持、ぶら下がり、離脱に成功した。一つのハンドのみでのぶら下がりも可能であった。

手元型の実験結果を Table 2 に示す。30mm、50mm、80mm、100mm 全てで把持、ぶら下がり、離脱に成功した。一つのハンドのみでのぶら下がりも可能であった。

Table 1 Experimental result of hand end type

パイプ直径	把持	ぶら下がり	離脱	1ハンド
30mm	成功	成功	成功	成功
50mm	成功	成功	成功	成功
80mm	成功	成功	成功	成功
100mm	成功	成功	成功	成功

Table 2 Experimental result of hand root type

パイプ直径	把持	ぶら下がり	離脱	1ハンド
30mm	成功	成功	成功	成功
50mm	成功	成功	成功	成功
80mm	成功	成功	成功	成功
100mm	成功	成功	成功	成功

実験ではハンドが想定どおりに動作した。均一な線状物体であれば把持，ぶら下がり可能である。ハンドの不具合によりハンドが一つ稼働しなくなった場合でも，一つのハンドが把持していればぶら下がることできる。マニュアル操作で行ったためホバリングが困難であった。手先型では手先が複雑なため，機体の重心位置のバランスの悪さも考えられ，動きを予想しながら移動し，ハンドの開閉を行う必要がある。また，把持対象が細ければ比較的容易に把持可能であるが，太くなるほど困難であった。手元型では機構が機体とほぼ同じ位置にあるので操作性もよく，把持時の位置合わせも容易であった。そのため，対象物の太さによらず容易であった。手先型，手元型ともに機体の上に直接に取り付けているため，プロペラと対象物が近くなり，接触することも考えられるため，取り付けの方法を考慮する必要がある。

4. 結言

本報告では，対象の詳細が不明瞭でも把持が可能であり，多様な太さに対応可能なロックメカニズムを有するマルチコプター用ハンドを2種類作成した。ハンドを2つ使用することで，把持を確実にした。ハンドを開閉するためのサーボモータの力のみではなく，ハンド自身が把持を確実にできるハンドロック機構を考案し，ハンドに組み込んだ。ハンドを搭載したマルチコプターで規定した複数の直径の人工物のパイプを把持対象物とした把持，ぶら下がり実験を行ったところ確実に行うことができた。以上から現時点のハンドは地面と平行状態であれば，直径100mmまでの線状物体に対して，把持，ぶら下がりが可能である。また，把持の失敗やハンドロック機構の誤動作により一方のハンドが機能不能となっても，もう一方のハンドが正常に動作していれば機体はぶら下がることでき，落下による事故を防ぐことが可能であることがわかった。

手先搭載型よりも手元搭載型を用いる方が重量を抑え，機体の安定性も高く，ロックする段階も増やせることから，今後は手元搭載型を改良していく。現状ではハンドと機体が近い場合，対象物に角度がある場合，把持が困難である。そのため，機体を水平に保ったまま把持対象物の角度に対応する機構を考案する必要がある。また，現時点ではハンドの開閉量をマニュアルで操作しているため，ハンド操作の自動化を考える必要がある。

参考文献

[1] 吉田隆：“飛躍するドローン”，ニッケイ印刷，pp.4-9, 2016.
 [2] “DJI社のウェブサイト”，<http://www.dji.com/ja>
 [3] 政田翔大，河辺伸二，渡辺正雄：“マルチコプター空撮による外壁タイル仕上げのひび割れ調査”，東海支部研究報告集(53)，pp5-8, 2015
 [4] 三輪昌史，植村慎司，金村直哉：“マルチコプタをベースとした空中台車による荷物運搬実験”，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2014, "2A1-C04(1)"-"2A1-C04(3)", 2014
 [5] Rebecca Mileham：“PRIME MOVERS”，ET Magazine, vol.11, pp.70-72, 2016
 [6] 産業無人機（飛行機・ヘリ）の現状と用途別市場動向，シード・プランニング，2015

[7] 島原祥平，立石大貴，ラディックロバート，平井慎一，下ノ村和弘：“機体上方を作業域とするハンド搭載小型飛行ロボット”，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2014, "2A1-C04(1)"-"2A1-C04(3)", 2014
 [8] G. Heredia, A.E. Jimenez-Cano, I. Sanchez, D. Llorente, V. Vega, J. Braga, J.A. Acosta, A. Ollero：“Control of a multirotor outdoor aerial manipulator”，2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 3417- 3422, 2014
 [9] Mina Kamel, Kostas Alexis, Roland Siegwart：“Design and modeling of dexterous aerial manipulator”，2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 4870- 4876, 2016