

ロックメカニズムを有するマルチコプター用ハンドによる線状物体の把持

○寺田将晶(立命館大学) 平井慎一(立命館大学)

1. 緒言

近年では、マルチコプターといわれる複数のロータを持ち、飛行するドローンが登場し、その分野の発展が著しい。また、ペイロード（有効荷重）はロータの数に伴って大きくなり、およそ機体自重の2倍程度の重さを持ち上げて運搬することが可能であるドローンも登場している[1][2]。そのため、個人、企業、官公庁を問わず、カメラを搭載させて上空からの撮影を行ったり、ハンドを搭載させて物品の搬送を行ったりするなどの様々な用途に使用されている[1][3]。

マルチコプターは飛行できることで、人が梯子やリフトを使わなければ届かない高所に容易に到達することができ、高所での作業に適しているといえる。人が高所での作業をする場合、落下防止などの安全対策によって人的被害を防ぐ必要がある。マルチコプターの場合、落下による接触事故などを除けば人的被害を起こすリスクが格段に低くなる。

本研究では、高所で作業するために機体を安定させるハンドを開発する。機体上部に2対のハンドを取り付けることで、線状物体の把持、ぶら下がりを行う。ホバリングではなく、機体を固定させることで安定し、他の作業が確実に行える。また、作業中に突風や機体の不良による機体の落下事故を防ぐこともできる。ハンドの開閉自体をロックすることで危険性のある高所での作業リスクをさらに低減することが可能である。ロックメカニズムを有するマルチコプター用ハンドで多様な太さの線状物体を把持し、ぶら下がる際にロックメカニズムにより把持の確実性をあげることを目的とする。

2. ロックメカニズム

2.1 ロックメカニズムを組み込むハンド

線状物体を把持し、ぶら下がりを行うためのハンドについて記す。ハンドは右アーム、左アーム、ハンドロック機構部、ベース台によって成り立っている。ハンドロック機構の概要について図1に示す。左アームにロック機構があり、ロック機構が働くと右アームが開かず、結果としてハンド全体の開きがロックされるというものである。ハンドの外形寸法は図2に示す。材質は厚さ3mmのアルミ板である。

把持は線状物体を把持しつつマルチコプターのプロペラを動かしている状態とし、ぶら下がり

を止めた状態で把持している状態を示す。線状物体の直径が図3に示すように100mm, 80mm, 50mm, 30mmの場合、確実に把持できる仕様である。また、緩衝材をアーム部分につけることで4段階以外にも前後の太さで確実に把持することが可能である。

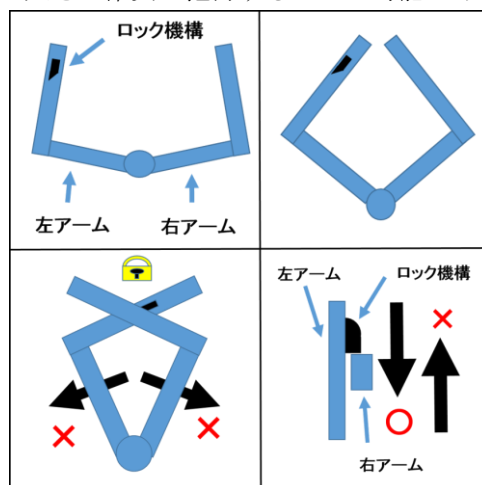


図1 ハンドロック機構

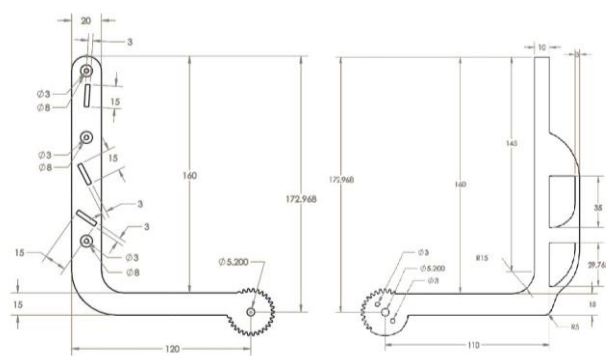


図2 ハンド寸法

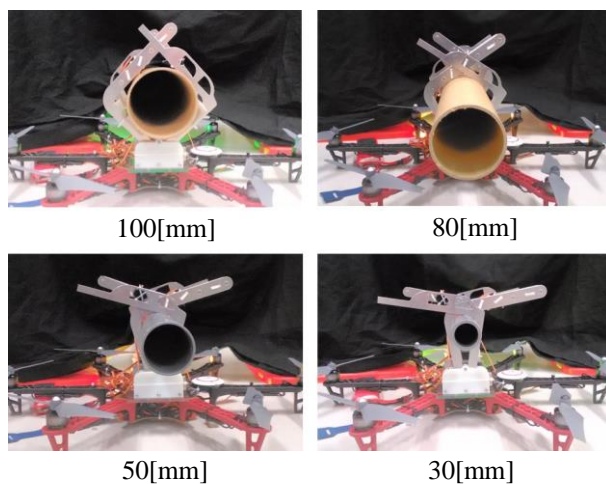


図3 ハンド把持例

製作したハンドは図4に示す動作を行う。まず、図4-①に示すようにマルチコプターを飛行させる。次に図4-②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。図4-③のようにハンドを閉じ線状物体を把持する。最後に図4-④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。ハンドは1つでも把持やぶら下がりが可能であるが、確実なものとするために機体上部の前後に1つずつ配置する。

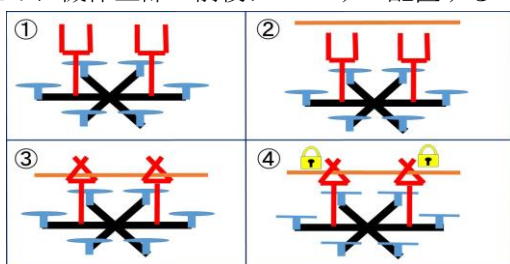


図4 ハンド動作

ハンドの開閉にはサーボモータを使用し、手元に歯車を使用することによって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

2.2.1 ロック機構

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行うことが可能である。ロックを解除しなければアームを開くことはできないようになっているため、ぶら下がるのが可能となる。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。

左のアームに取り付けるロック機構の構成は図5になっている。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構成されている。サーボモータ以外を組み上げた状態が図6である。

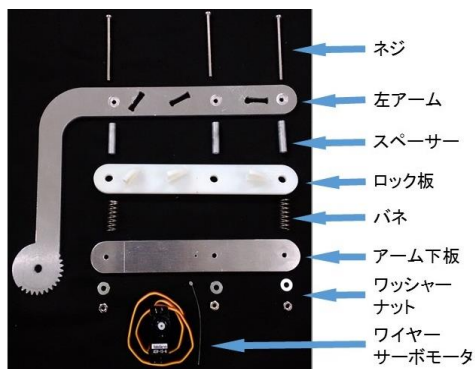


図5 ロック機構構成

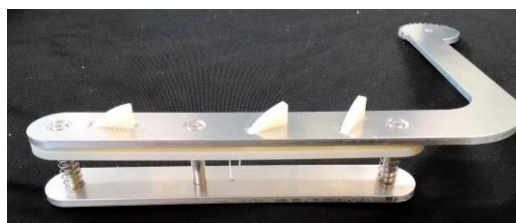


図6 ロック機構全体図

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、ロックがかかる構造である。ロックを解除する場合、図7のようにロック用サーボモータがワイヤーを引き、ロック板が下がるため、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。

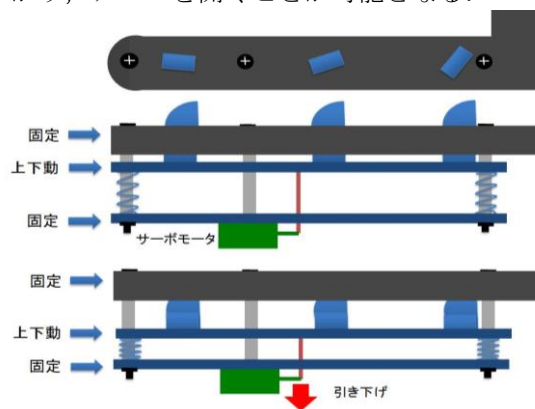


図7 ロック構造

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10gである。完成部品を図8に示す。厚みは3mmである。外形寸法を図9に示す。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。

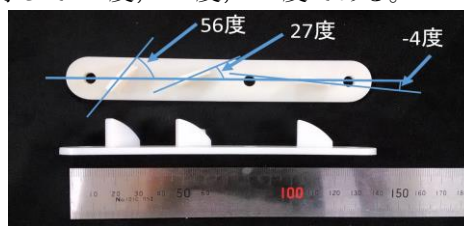


図8 ロック板

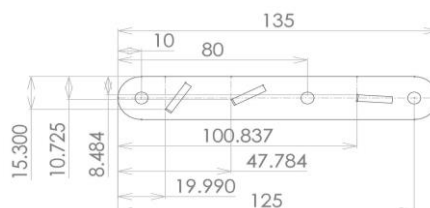


図9 ロック板寸法

2.2.3 ハンド全体図

全てを組み込んだハンドを図 10 に示す。

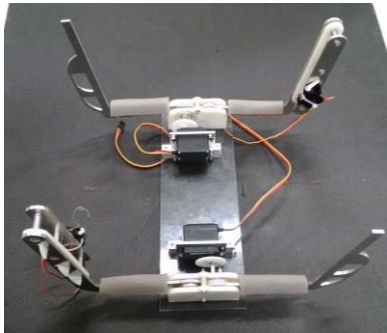


図 10 ハンド全体図

2.3 手元搭載型

手元搭載型のロック機構は、サーボモータの動力を伝えるハンドの手元の歯車にラチェット機構を組み込む方法である。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し、確実にぶら下がるために、設計を改良している段階である。構造は歯車にストッパーをかませることで動きを止める構造である。この構造は手先搭載型に比べ、機構がシンプルになり、軽量化も見込まれる。

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。手先搭載型のハンドを搭載した状態を図 11 に示す。また、制御ユニットには DJI 社の A2 を使用した。



図 10 ハンド搭載状況

3.2 実験目的

手先搭載型のロックメカニズムが有効かどうか実験を行った。直径 30mm, 50mm, 80mm, 100mm の人工物（塩化ビニル管、紙管）、自然物（木の枝）各々で把持、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ことが可能か確かめる。人工物での実験では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、自然物での実験は対象の詳細が不均一で太さが不明な場合でも把持、ぶら下がりが可能であることを検証する。また、ぶら下がり状態

からの離脱を行えるかを検証する。

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。

- 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、把持可能を確認する。
- 4) プロペラを止めてぶら下がることができるか確認する。
- 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。

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。使用したパイプは図 12 に示す。右から 30mm, 50mm の塩化ビニル管と 80mm, 100mm の紙管である。



図 12 使用したパイプ

3.5 実験結果・考察

実験結果を表 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。

表 1 実験結果

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

4. 木の枝での把持・ぶら下がり実験

4.1 把持対象物

本実験では実験機体、実験目的、実験手順は 3 節と同様である。木の枝を使い太さや直径が不均一な線状物体でのハンドの把持能力を確認した。使用した木の枝を図 13 に示す。① は直径 50mm, 長さ 2000mm の塩化ビニル管である。長さ、直径共におおよその値であるが、②の枝は直径 20mm, 長さ 2000mm,

③の枝は直径 25mm, 長さ 1800mm, ④の枝は直径 20mm, 長さ 1500mm である。③と④の枝を使用し, 地面と平行に設置して実験を行った。また, 2 の枝を使用し, 図 14 に示すように地面に対して 30 度, 15 度の角度で模擬的に木についたままの枝を再現し, 現ハンドの角度への対応能力を確認した。



図 13 使用した木の枝



図 14 模擬的な木の枝

4.2 実験結果・考察

実験結果を表 2 に示す。枝が地面と平行な状態の場合, 把持, ぶら下がり, 離脱に成功した。枝を傾けた状態の実験では両実験ともプロペラと枝が接触しプロペラが破損した。枝を 30 度傾けた場合, 両ハンドでの把持, ぶら下がりには失敗した。片方のハンドは把持を行っており, ぶら下がりを行うことができた。離脱は機体の落下の危険が生じる恐れがあったため, 取りやめた。枝を 15 度傾けた場合, 両ハンドでの把持, ぶら下がりには成功した。しかし, 離脱時に分枝部の根元に引っかった。結果として片方のハンドを開くことができず, 離脱不可能となった。

表 2 実験結果

枝番号	把持	ぶら下がり	離脱
4	成功	成功	成功
3	成功	成功	成功
2(30度)	失敗	失敗	-
2(15度)	成功	成功	失敗

想定した直径以外かつ, 人工物のように直線的でない場合でも把持, ぶら下がりが可能なことが確認できた。枝に角度を付けた場合, プロペラとハンドの高さが離れていないため, 把持する際にプロペラが枝に接触し, プロペラが破損したと考えられる。結果として現状では角度がついた場合には対応することができない。ハンドに把持対象の角度に対応可能な機構をつける必要がある。また, 30 度の傾きの実験時, 片方のハンドが把持し損ねた状態となりつつもぶら下がりには可能であったため, ロック機構の

有効性が確かめられた。

5. 結言

本研究では, 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作成した。ハンドは 2 つ使用し, 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を行うことができた。また, 自然物を使い同様の実験を行ったところ地面と平行な状態であれば, 把持対象物が非直線的で不均一の太さであっても把持, ぶら下がりには可能であることがわかった。しかし, 把持対象物が地面と角度がついた状態になるとプロペラと干渉したため把持, ぶら下がりが困難であった。そのため, 把持時にプロペラが枝に干渉しなければ把持可能であると考えられる。また, 両ハンドで把持はできなかったが, 片方だけで把持した場合でも, 機体をぶら下げることは可能であることがわかった。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 までの線状物体であれば人工的, 自然物を問わずに把持, 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ができ, 落下による事故を防ぐことが可能である。

課題として以下の 2 点がある。1 つ目は手先が複雑なため, 想定外のひっかかりや重心が高くなるため, マルチコプターの不安定な動作につながる恐れがあるということである。手先がシンプルであり, ハンドの手元の歯車にロックメカニズムを組み込む手元搭載型のハンドの製作, 実験を行い, 比較する必要がある。2 つ目は地面に対して角度がついた線状物体を機体の損傷を伴わずに把持, ぶら下がりすることである。現状では角度がつくほどに把持が困難になるため, プロペラガードを装着した上でハンドの搭載位置を考慮するか, 新たに角度に対応する機構を考案する必要がある。

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] 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