

ロックメカニズムを有するハンドによる 線状物体へのマルチコプターの固定

○寺田将晶(立命館大学) 平井慎一(立命館大学)

1. 緒言

近年、マルチコプターという複数のロータを用いて飛行するドローンが登場し、ホビー用だけでなく、作業用として使用するための研究が進んでいる。ペイロード（有効荷重）も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、活用方法の幅が広がり、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や検査を行ったり [3]、ハンドを搭載させて物品の搬送 [4][5] を行うなど様々な用途に使用されている [1][6]。

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。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、高所で作業する際に機体を安定させるためのハンドを開発する。これまでに機体上部 [7]、下部 [5][8][9] 各々を作業域とするハンドは開発されている。機体上部に2対のハンドを取り付けることで、線状物体へのぶら下がりを行う。ホバリングではなく、機体を線状物体に固定させることで機体が安定し、作業を確実に実行できる。枝打ち作業に注目した場合、樹木の枝に機体上部のハンドでぶら下がり、機体下部の別の作業ハンドで他の枝を打つ作業が可能となる。さらに、作業中における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、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。多様な太さの線状物体へマルチコプターを固定するために、ハンドで物体を把持した後、マルチコプターをぶら下げる。把持はプロペラを動作して物体を掴んでいる状態であり、その状態からプロペラを止めて、ロックメカニズムによりぶら下がることで固定の確実性をあげることを目的とする。

前報告 [10] では手先にロック機構を搭載したハンドを開発し、有効性を確かめた。その際の問題点を考慮し、手元にロック機構を搭載したハンドを製作した。さらに、地面に対して水平な対象物だけでなく、角度がついた対象物にも対応できる機構をつけることで、機体を水平に保ったまま把持動作を行わせることを目標とする。

2. ロックメカニズム

2.1 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、アーム駆動部、角度対応機構部により構成される。ロック機構はハンドの手先または、手元に搭載し、手先ロック歯型と手元ラチェット型と区別する。ハンドの開き方向への動きを機構的にロックすることで、アーム駆動部による把持力を失った場合でも把持が持続できる機構となっている。手先ロック歯型と手元ラチェット型のハンドロック機構の概要を図1に示す。

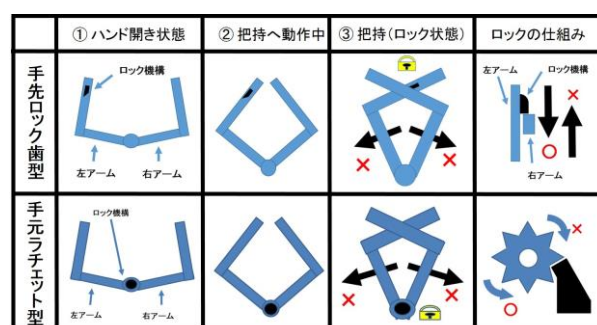


図1 ハンドロック機構

図2に示すように線状物体の直径が30mm, 50mm, 80mm, 100mmの場合、確実に把持できる。

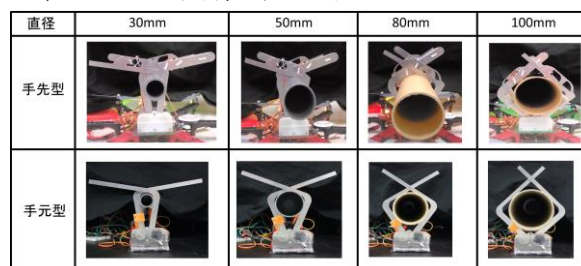
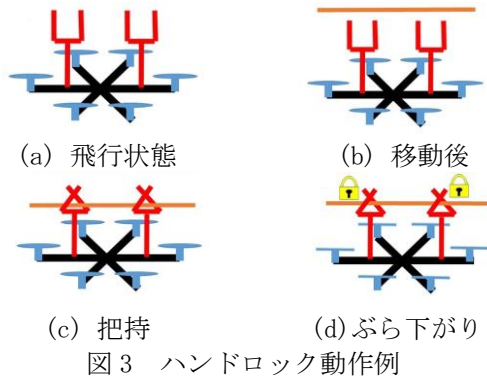


図2 把持例

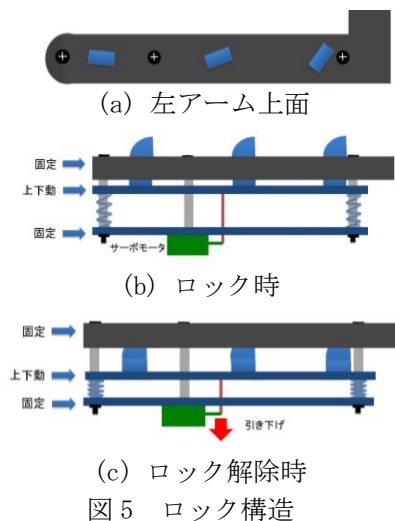
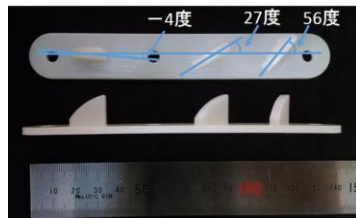
製作したハンドは図3に示す動作を行う。まず、マルチコプターを飛行させる（図3(a)）。次に線状物体の下まで移動し、その場でホバリングする（図3(b)）。ハンドを閉じ、線状物体を把持する（図3(c)）。最後にプロペラを止め、ぶら下がる（図3(d)）。ハンドロック機構が働くことでプロペラを停止させることが可能となる。プロペラを再始動の上、ロックを解除し、ハンドを開くと離脱する事が可能となる。ぶら下がる理由は、ホバリングに比べ、より安定した状態にするためである。ハンド1つでもぶら下がりが可能である。ここでは確実な作業のために機体上部の前後に1つずつ配置する。ハンドの開閉にはサーボモータを使用する。ア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 手先ロック歯型ロックメカニズム

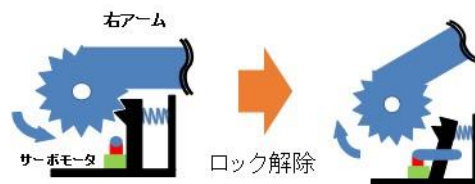
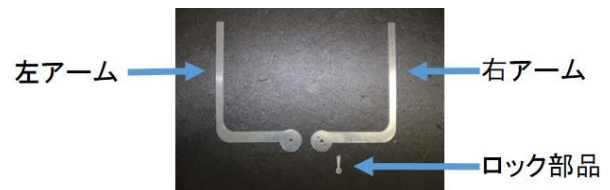
この機構はハンドの手先に図4に示すロック板を用い、左アームにロック機構を組み込む方法である。図5-(a)のようにアーム上面にロック歯が飛び出している。このロック板は図5-(b)に示すようにバネにより左アームに押し付けられているため受動的に動くことができ、左からくる右アームが通過する際には下に押し下げられ障害とはならない。しかし、開く方向への動きは押し下げることができないため、ロック歯の部分で開く方向への動きを抑制することが可能である。図5-(c)のようにロック板を下に引き下げることで左アーム上に飛び出ているロック歯を引っ込め、アームを開くことが可能である。右アームの形状を工夫することで、3個のロック歯で4段階のロック段階をえられた。手先型はロック機構が外部に見えているため、機構の動作状況の確認が容易であるという利点がある。



2.3 手元ラチェット型ロックメカニズム

アームの根元部分に左右のアームへサーボモータからの動力を伝える歯車があり、この部分にラチェット機構を組み込む方法である。マルチコプターの自重や作業時の反力によるアームが開く方向へのトルクをラチェット機構で抑制し、アームの開きを抑えることが可能である。また、電力喪失により、サーボモータのトルクがなくなった場合でも、機構的に確実に把持し続けることが可能である。手先ロック歯型と比較した場合、図6に示すようにハンド全体がシンプルな形状となり、軽量化が成された。歯車の形状、数により、ロックの多段階化が可能である。アームが交差ししない直径の対象を把持する場合でもロック機構が働き、開く方向への動きは抑制され、把持することは可能である。しかし、交差している際に線状物体をより確実にぶら下がることが可能であると考え、ハンドの開きを抑制する段階は4段階とした。

この機構において重要なロック部はバネにより歯車に押し付けられている。これにより、アームが閉じる方向への動きは抑制されることはない一方、開く方向への動きはロックがかかりアームの動きを抑制する。図7のように小型サーボモータにより歯車とロック部を離すことでロックを解除し、アームを自由に開閉することができる。



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。手先ロック歯型ハンドは重量 784g である。搭載した状態を図8に示す。手元ラチェット型ハンドは 745g である。を搭載した状態を図9に示す。また、制御ユニットには DJI 社の A2 を使用した。



図 8 手先ロック歯型



図 9 手元ラチェット型



図 11 把持対象物

3.2 実験目的

手先ロック歯型、手元ラチェット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ことが可能か確かめる。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，片方のみのハンドでぶら下がることが可能か確認する。

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，実験状況を図 10 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こと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，ぶら下がることが可能か確認する。



図 10 実験環境

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 11 に示す。右から 30mm, 50mm の塩化ビニル管と 80mm，100mm の紙管である。

3.5 実験結果・考察

手先型の実験結果を表 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。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表 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。

表 1 手先ロック歯型実験結果

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

表 2 手元ラチェット型実験結果

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

本実験では求められる動作について実行することができた。均一な線状物体であれば把持，ぶら下がりが可能である。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ができることもわかった。そのため，より安全性が高いといえる。本実験は全ての動作をマニュアル操作で行ったため，ホバリングおよび，把持動作が困難であった。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一方，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，接触することもあるため，取り付けの方法を考慮する必要がある。

4. 角度対応機構

4.1 機構概要

水平な対象物であれば現状のハンドで把持することが可能である。しかしながら、実際の枝において、水平である場合は少ない。また、ハンド部のみ枝に沿わせて把持することで機体を水平に保ち、作業中の操作性、離脱時の安定性を図る。そこで、現状のハンドに追加することで角度に対応できる機構を考案した。現状では0から30度まで対応できるものを考案した。能動的に枝の角度に合わせるのではなく、受動的に枝に沿わせることを目的とする。機体のバランスを安定させるため、ハンドを機体中央部に取り付けすることを考慮する。その場合、図12のように枝の傾き30度に対応するには機体上部から最低でも30センチメートル上部に取り付けることが必要である。

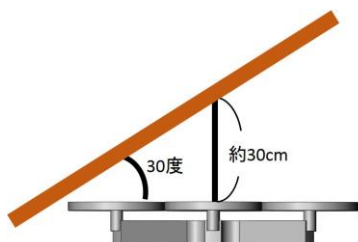


図12 枝と機体の位置関係図

4.2 機構

ハンドを取り付けているプレートを図13のように0から30度の間で動くように取り付け、5度ずつ7段階でロックできるように歯車とラチェット機構を用いる。これは歯車3つを5度ずつずらして重ねることで可能にする。ハンド部と同じようにロックを解除する機構をつけ、水平状態に戻るようにする。

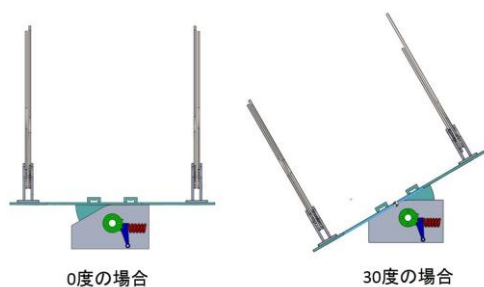


図13 角度対応機構モデル

5. 結言

対象の詳細が不明瞭な場合でも把持が可能であり、多様な太さの線状物体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製作した。安全性という面から1つではなく、2つのハンドを用い、把持、ぶら下がりという状態を確実にした。さらにその状態を維持するために、モータなどの力が必要とせず、機構的に維持できるハンドロック機構を2

種類考案した。この機構を組み込んだハンドを搭載したマルチコプターで把持、ぶら下がり実験を行った。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て実験したところ、確実に行うことができた。以上から現時点でのハンドは2種類のどちらのハンドでも地面に対して水平状態であれば直径30mmから100mmまでの線状物体に対して、把持、ぶら下がるのが可能である。また、片方のハンドのみでも、ぶら下がるのが可能であり、2つのうちの1つのみで把持している状態でも落下事故を防ぐことが可能であると考えられる。

手先ロック歯型よりも手元ラチェット型は低重心、低重量であり、機体の安定性が保てると考えられる。また、ラチェット部の歯車の形状や数により細かくロックできると考えられる。角度対応機構は構造上高重心になり、前後左右への飛行時に機体の不安定化の恐れがある。そのため、機構とハンド全体の更なる軽量化が必要となる。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りのひび割れ調査”，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
- [10] 寺田将晶，平井慎一：“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“第34回日本ロボット学会 学術講演会予稿集，”RSJ2016AC1F1-06”，2016