

市販ドローンを活用した安価な搬送システムの開発

保坂秀彦・布施嘉裕・中込広幸・宮本博永・鈴木文晃・佐藤博紀・浅川伸一*1

Development of Low-cost Transport System using Mass-produced Drone

Hidehiko HOSAKA, Yoshihiro FUSE, Hiroyuki NAKAGOMI, Hironaga MIYAMOTO, Fumiaki SUZUKI, Hiroki SATO
and Shinichi ASAKAWA*1

要 約

昨今のドローン技術の進歩により、多数のドローンが市販され、県内企業においてもドローンの利活用に取り組む企業が増加している。本研究では、そのような企業を支援していくため、ドローンの開発・改良に関する技術シーズの蓄積を目的として研究に取り組んだ。具体的な開発として、企業から相談のあった、電話回線の架線業務における搬送作業の効率化を事例として取り上げ、特に、「市販ドローンによる搬送システム」をターゲットとした。市販されているドローンに脱着可能、かつ、受取者の操作で搬送物落下が可能な搬送システムを試作するとともに、空中搬送作業の評価を行った。その結果、開発した搬送方法が有用であることを確認し、開発等をとおして、ドローンを活用する上で必要となる様々な技術的蓄積を得ることができた。

1. 緒 言

山梨県では平成 30 年 3 月に「山梨県ドローン活用推進計画」を策定し、ドローンの利活用の推進を目的とした施策が始まっている。また、多数のドローンが市販され、ドローンの利活用に取り組む県内企業が多くなってきている。そのような企業の中から、電話回線の架線業務における搬送作業について、ドローンを利用することによる架線業務の効率化に関する相談があった。

架線業務では、電柱間にケーブルを敷設する際、細い呼び線（リードロープ）を最初に通し、順番に太いケーブルを架線する方法が一般的である。従来リードロープの敷設は、人力で運ぶ、リードロープを取り付けたボールや矢を投げるなどの方法で行われてきた。このような従来手法は、山間部や高所における人力での作業が非常に困難であるため、人力に代わる方法としてドローンを活用する動きがある。ケーブルを直接搬送することを目的とする架線業務用ケーブル搬送ドローン^{1) 2)}は既に存在する。それは、ペイロードがかさむことから大型となり、また、専用機として開発する必要があることから高価となる。一方、市販ドローンを活用した方法も提案されている^{3) 4)}。一般的には、リードロープの巻枠（リール）は操縦者側にあり、リードロープの端を搬送する。リールを搭載しない分、ドローンのペイロードは軽量となるが、搬送途中にリードロープが障害物等に絡み、ド

ローンの動きが束縛され、墜落する危険性がある。また、リードロープを受取者がハサミで切断する行為は、リードロープが接続されたドローンのホバリングに影響を及ぼす可能性があり、高度な操縦技術が求められる。

そこで、本研究では、安価で高度なドローン操縦技術を必要としない安全な架線業務を実現させるため、リードロープのリールを搬送する方式を採用する。また、市販されているドローン下部に脱着可能とし、受取者が手をかざすだけでリールを落下できるシステムを試作開発する。さらに、開発したシステムを用いた実証実験を行うことで、ドローンの新たな有用性を評価するとともに、ドローンを用いた搬送の実現に取り組む。

2. 搬送作業の想定

図 1 に想定する搬送作業の概要を示す。

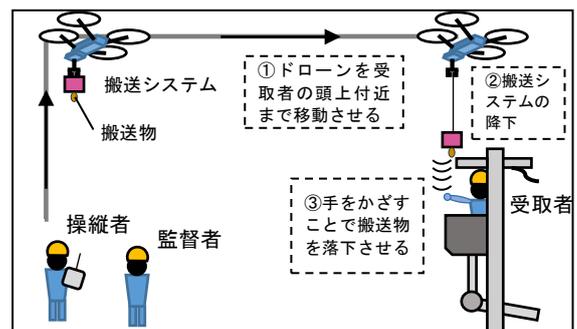


図 1 想定する搬送作業の概要

*1 株式会社アシストコア

本搬送作業を実現するため、次の事項を要求仕様とする。

- ・ 市販ドローンとして、当センター所有のドローン DJI 製 Inspire2 を用い、ドローンの下部に独自に設計した搬送システムを配置する。
- ・ リールが不用意に回転して、リードロープが意図せず送り出されないようにする。
- ・ 高所で架線業務を行う受取者へ、リールを安全に受け取ることができるようにするため、搬送システムをドローンから降下させる。
- ・ 受取者が任意のタイミングで手をかざすことにより自動的にリールを落下させ、受取者がリールの受け取りに専念できるようにする。
- ・ ドローン操縦者側からも、搬送システムを操作できるようにする。

3. 搬送システム構成

開発したドローン搬送システムを図 2、3 に示す。DJI 製 Inspire2 の 4K カメラを取り付ける位置に、開発した脱着可能な搬送システムを搭載する。本システム下部には、搬送することを目標とした、リードロープのリールが取り付けられている。

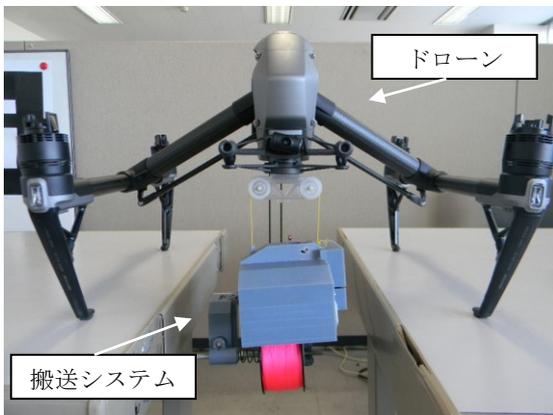


図 2 搬送システム

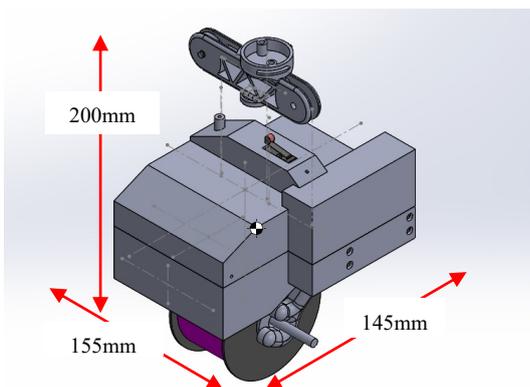


図 3 3次元 CAD によるボディ設計

本システムの各部の詳細を図 4、5 にそれぞれ示す。図 4 は本システムの正面、図 5 は右側面である。本システムのボディの材質はアクリルで、制御基板等を含めた質量は 0.7 kg、リードロープのリールを取り付けたときのシステム全体の質量は 0.8 kg である。大きさは、高さ 200 mm（昇降機構上端時、リードロープ取付時）×幅 155 mm×奥行 145 mm である。本システムは、3次元 CAD による設計及び 3D プリンタによる樹脂成形で試作した。

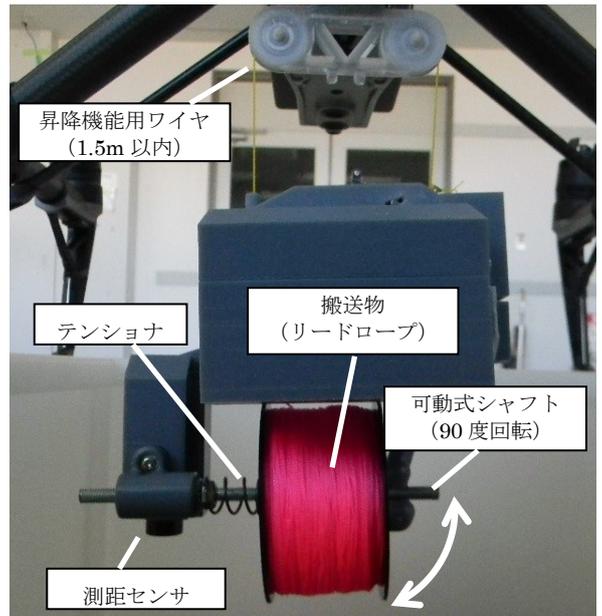


図 4 搬送システムの各機能（正面）

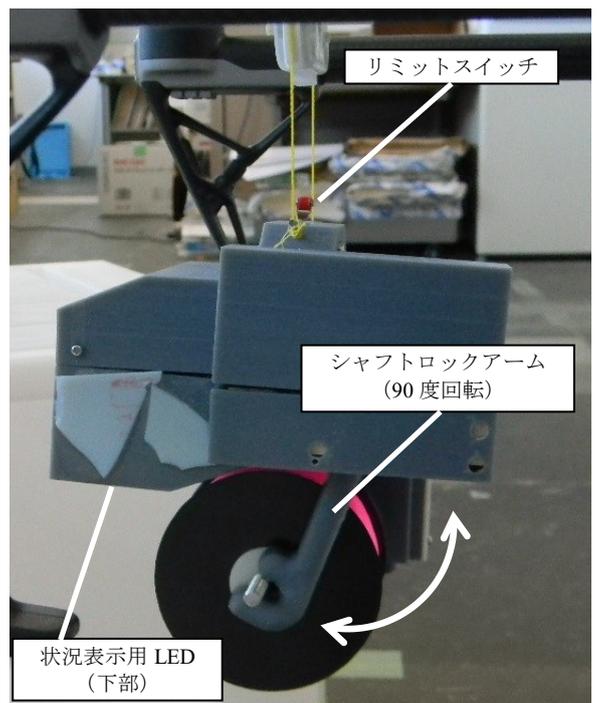


図 5 搬送システムの各機能（右側面）

本システムに搭載されている機能について説明する。なお、本システムは、ドローン操縦用システムとは独立したシステムとなっている。下記の (a) ~ (g) の機能のうち、(a)、(b) 及び (d) については、ドローン操縦用送信機とは異なる模型航空機用送信機（三和電子機器製 VG6000）により制御が可能である。

(a) 可動式シャフト

図 4 の測距センサ上部にサーボモータが組み込まれており、搬送物の保持と落下を制御している。搬送時はシャフトを水平に保ち、搬送物を落下させる場合は 90 度回転させシャフトを落下方向に向ける。搬送物が落下するときシャフトから滑り落ちるようにし、受取者が搬送物の落下方向を予測しやすいようにした。

(b) シャフトロックアーム

搬送物が意図せずシャフトから外れて落下しないようにするため、可動式シャフトを固定及び解除できるアーム（シャフトロックアーム）を設置した。シャフトロックアームはサーボモータによる制御により搬送物の保持、解除を行う。

(c) テンショナ

シャフト回転軸付近にはテンショナ（バネ）が装着されている。本研究では、搬送物としてリードロープのリールを想定している。リードロープを展張しながら飛行するとき、リールの不要な回転により、リードロープが意図せず送り出される恐れがある。そこで、テンショナをシャフト回転軸付近とリールの間に設置することで、リールの軸周辺部に適度な摩擦を発生させ、回転を抑制している。

(d) 昇降機構

内部に昇降機能用ワイヤを巻き取るモータが内蔵されており、ドローンに脱着可能なブーリと連動し、本システムを昇降できる。この機構により、本システムをドローン真下に設置した状態から最大 1.5 m 下方まで伸ばした状態で移動できる。受取者上空にドローンが到達して搬送物を落下させる際、ドローンと受取者を離すことができ、受取者の安全を確保している。

(e) リミットスイッチ

図 5 の本システム上部から伸びている昇降機能用ワイヤの根元付近に、リミットスイッチを配置した。このリミットスイッチの検知により、本システムがドローン本体と離れているか否か判断できる。

(f) 測距センサ

本システム左下に超音波による測距センサを搭載しており、搬送システム下方向にある物体の距離を測定している。このセンサにより本システム下方向にある物体との距離を検知できる。このセンサは、5000 mm までの

距離を取得できる。本研究では、受取者が本システム下部に手をかざしたときに搬送物を落下させる目的での使用を想定しており、本システム下方向 300 mm 以内の距離での物体の存在を検知できるように設定した。本システムを降下させるのと同時に距離測定を開始する。受取者が手をかざすことで、センサが検知し、その後、自動的にシャフトロックアーム及び可動式シャフトを動作させ、搬送物を落下させるよう、システム内部のマイクロコンピュータで制御を行っている。内部プログラムを変更することで、様々な用途に活用できるように対応している。

(g) 状況表示用高輝度 3 原色 LED

受取者は本システムの状況を視覚的に判断する必要がある。そこで、高輝度 3 原色 LED を本システム下部に搭載し、LED の発光・点滅パターンで本システムの状態がわかるようにした。LED の発光パターンは表 1 の通りである。

表 1 状況表示用 LED 発光パターン

搬送状況	LED 発光パターン (繰り返し動作)
搬送物有り 搬送システムが最上部にある	黄 1 秒 - 消灯 1 秒
搬送物有り 搬送システムが最上部にない	赤 1 秒 - 消灯 1 秒
搬送物引き渡し作業時	赤 0.2 秒 - 黄 0.2 秒
空荷 搬送システムが最上部にない	緑 1 秒 - 消灯 1 秒
空荷 搬送システムが最上部にある	青 1 秒 - 消灯 1 秒

4. 実証実験

本システムが有効に機能することを確認するため、屋内での実証実験を行った。

4-1 実験概要

実験場所は産業技術センター甲府技術支援センター実験棟の通路とした（図 6）。高所作業を想定し、実験棟西端に設置した脚立上に搬送物受取者を配置した。また、実験棟東端にドローン操縦者を配置した。東端からドローンを離陸させ、受取者がいる西端まで飛行させ、搬送物の受け渡しを行う。その後、東端まで飛行させ着陸させる。なお、実験を行うにあたり、通路の通行を規制する、作業に関わる者はヘルメット着用するなど、安全面に十分注意を払った。

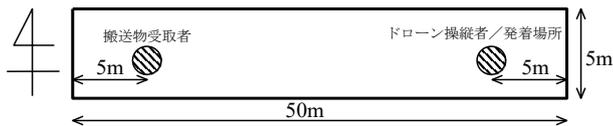


図6 実験棟通路内における配置図

4-2 実験手順

実験の手順を以下に示す。なお、ドローン及び本システムについては、操縦者の視点での手順である。

- ① 送物受取者、ドローン操縦者、現場監督者が各配置場所にいることをそれぞれが持つ無線機で連絡する。
- ② 監督者の指示で専用台からドローンを離陸させる。
- ③ ドローンの高度を4mで維持し、受取者上空まで水平移動する。
- ④ 受取者の無線指示による誘導で、ドローンを受取者の上空付近で静止させる。
- ⑤ 受取者頭上1.5m付近までドローンを降下させる。受取者の指示で降下を停止する。
- ⑥ ドローンのランディングギアを下げた後に、昇降機構により本システムを降下させる。
- ⑦ 本システムが搬送物を確保できる位置・高さになったとき、受取者は本システムの下に手をかざし、落下してきた搬送物を受け取る。その後、受取者は受け取った旨を無線機で他者に連絡する。
- ⑧ 昇降機構により本システムを上昇させた後に、ドローンのランディングギアを上げる。また、ドローンの高度を4mまで上げて水平移動で離着陸ポイントまで戻る。
- ⑨ 離着陸ポイントに到達したとき、ドローンのランディングギアを下げる。その後、本システムの昇降機構により本システムを降下させる。同時にドローンの高度も下げる。
- ⑩ 本システムをマット上に着地させた後、ドローンをヘリポートへ着陸させる。

4-3 実証実験

前述した手法により本システムの実証実験を行った。実験の様子を図7に示す。実験は5回行い、全ての実験において、リードロープを展張しながら搬送物であるリードロープのリールを受取者へ受け渡すことができた。

5. 考察

5-1 受け渡し作業について

搬送物の受け渡し時において、本システムの昇降機能は、ドローンと受取者との距離を一定に保つことにより、ドローンに対する恐怖感を和らげ、安全な搬送が可能で

あることを実証した。さらに、可動式シャフトにより搬送物を滑り落とす機構は、受取者にとって搬送物の落下方向が予測しやすく、期待通りの効果を発揮できた。その上、状況表示用LED機能により、受取者は操縦者に的確な指示を出すことが可能になった。

5-2 搬送システムのボディについて

本システムのボディは3次元CADの自由度の高い設計能力を生かし、理想的な形状を実現することができた。また3Dプリンタによる樹脂成形によって空中の搬送システムとして十分に軽量の機体ができたと検証できた。今後は樹脂の素材をポリカーボネート等変更し、更なる強度としなやかさを両立したボディ構造へ発展した性能向上が考えられる。

6. 結言

本研究では、電話回線の架線業務におけるリードロープ搬送作業を事例とし、市販されているドローン下部に脱着可能であり、リードロープのリールを搬送、受取者の操作で搬送物であるリールが落下できるシステムを試作開発した。また、実証実験を通じて受取者へ搬送物を受け渡すことが可能であることを確認した。また、開発等をとおして、ドローンを利活用する上で必要となる様々な技術的蓄積を得ることができた。

今後の展開として、本システムを含めた無人航空機について、航空局へ物件投下として承認申請を行い、更なる実用性を確かめるべく屋外での実証実験を重ねるとともに、架線業務以外の用途にも利用可能な空中搬送システムとして、活用方法を検討していく。

参考文献

- 1) NTT 東日本：NTT 技術ジャーナル。
<http://www.ntt.co.jp/journal/1612/files/jn20161246.pdf> ,
(2019-3-22 閲覧)
- 2) サイトテック株式会社：KATANA 改良モデル。
<http://www.saitotec.com/newdrone/katana/>, (2019-4-2 閲覧)
- 3) 武本純平, 於保健一, 三浦一樹, 小林竜一, 大田和健：マルチコプタを活用した架空配電線工事におけるロープ延線作業, 日本ロボット学会誌, Vol.36, No. 8, pp. 525-536 (2018)
- 4) 山梨県森林総合研究所：「UAV (ドローン) を用いた林業用架線リードロープ設置研修」を開催しました。
<https://www.pref.yamanashi.jp/shinsouken/jouhou/h30/jouhou190130dron.html>, (2019-4-2 閲覧)

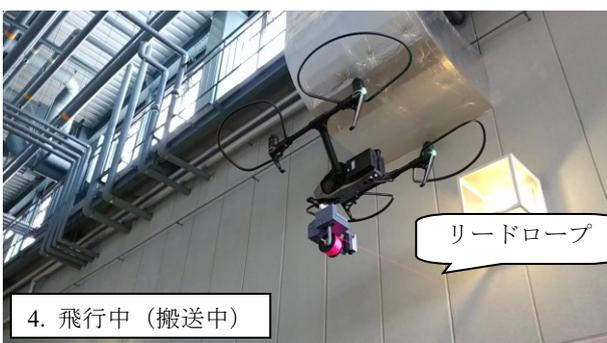
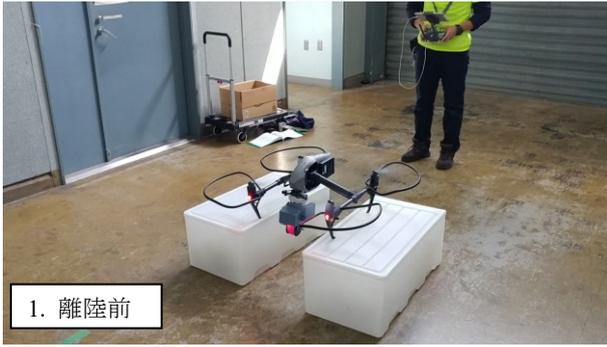


図7 屋内での実証実験