

# 災害の初動対応を目指した 有線給電ドローンによる 無人建設機械の第三者視点の実現

東北大学 未来科学技術共同センター 准教授 ながたに けいじ 永谷 圭司

## 1. はじめに

土石流などの自然災害の初動対応では、操作者の安全を確保しつつ作業を行うことが可能な、遠隔操作型の無人建設機械が有用です。操作者と無人建設機械の距離が大きい場合、操作者が作業環境の情報を取得するため、一般には、無人建設機械に搭載したカメラに加え、地上固定型パナチルトカメラや移動カメラ車を利用して、第三者視点を提供します。しかし、例えば発災から1週間以内の初動対応において、このような第三者視点を提供するカメラを災害現場に準備することは困難です。

そのため、操作者は、建設機械に搭載したカメラ情報のみに頼り作業を行うことを強いられますが、建設機械搭載カメラだけでは、作業を行うための環境情報を取得することは不十分です。

このような状況を克服するため、本研究では、無人建設機械上に電力供給を兼ねたケーブルでつながれたマルチロータ無人航空機（以下、「有線給電 MUAV」という）を搭載し、これに搭載したカメラを用いて、操作者に第三者視点を提供する手法を提案することとしました<sup>1)</sup>。

## 2. 無人建設機械用有線給電 MUAV の提案と特徴

本研究で開発を進めている、無人建設機械に第三者視点を提供する有線給電 MUAV を写真-1 に示します。ここでは、有線給電 MUAV により建設機械の側面から撮影した画像を操作者に提供することで、建設機械に搭載するカメラでは認識困難なバケットの奥行き位置情報を確認できることが見て取れます。この有線給電 MUAV には、以下の特徴があります。

- ① ケーブル長の範囲内であれば、有線給電 MUAV は任意の位置にホバリングし、第三者視点を提供することが可能です。



写真-1 無人建設機械に搭載した有線給電 MUAV の試験の様子

左上の上空でホバリングしているのが有線給電 MUAV であり、右上がそのドローンから得た映像です。操作者は、この第三者視点の映像を見ながら操縦します。

- ② 有線給電 MUAV は、ケーブルを通じて給電を行うため、通常の MUAV と比較し、長時間飛行することが可能となります。
- ③ 有線給電 MUAV は、ケーブル長の範囲内でしか飛行できないために、MUAV が制御不能になったとしても、そのケーブル長の範囲外に影響を与えることはありません。
- ④ 着陸時、ケーブルを強制的に巻き取ることで、有線給電 MUAV は、無人建設機械上に搭載したヘリパッドに、ピンポイントで着陸を行うことが可能です。

有線給電 MUAV に関する研究開発は、その多くが定点観測を目的としたものであり<sup>2)</sup>、商品化されているものもあります。これらと比較し、本研究で提案する有線給電 MUAV は、無人建設機械に搭載することを目的としているため、以下に示す三つの特徴があります。

まず一つ目の特徴が、水平飛行の必要性です。一般的な有線給電 MUAV は、主に定点観測を目的とするため、垂直に上昇した後、ほぼ動かなくなることが多くあります。一方、無人建設機械の操縦に必要な第三者視点は、作業に応じて観測すべき位置が異なるため、場合によって、低い高度で水平方向に移動を求められることがあります。この場合、給電ケーブルが垂れ下がってしまうと、環境中の障害物と接触して抜けられなくなる恐れがあります。

このような問題を回避するためには、常に適度な張力で有線給電ケーブルを引っ張る必要があります。ただし、強く引きすぎると、有線給電 MUAV の飛行に悪影響を与えます。そこで本研究では、給電ケーブルの高精度な張力制御機能を搭載することとしました。

二つ目の特徴が、振動や傾斜に対する頑強性です。多くの建設機械は、エンジンで動作するため、建設機械本体には、常に振動が発生しています。さらに、対象とする環境は不整地であり、建設機械自体が傾斜する可能性があります。このため、バネと可動プーリーを利用する一般的な張力調整機構では、この振動や傾斜が可動プーリーに

影響するため、張力推定に誤差が生じ、高精度な張力制御が困難となります。

そこで、本研究では、パウダクラッチを利用した、振動や傾斜に頑強なケーブル張力調整機構を開発しました（写真-2）。

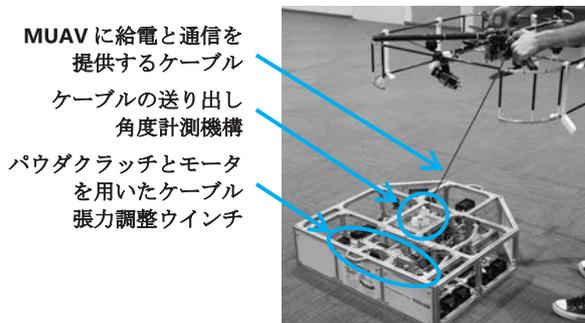


写真-2 開発したヘリパッドと各種機能の説明

三つ目の特徴が、有線給電 MUAV の位置推定です。自然災害の際、有線給電 MUAV を、災害環境の近くから目視で飛行させることができるとは限りません。そこで、有線給電 MUAV の離着陸を含めた自動飛行機能が必要となります。

MUAV の位置推定には、一般には、GNSS (global navigation satellite system) を利用することが多いのですが、対象となる災害環境には崖や樹木、大きな橋などが存在する可能性があるため、GNSS が利用できない場合も考えられます。そこで本研究では、ケーブル形状を測定して MUAV の位置を求めるという、新たな位置推定手法の開発を進めています。この手法の詳細については、参考文献 3) をご覧下さい。

### 3. 操作試験

開発したシステムの有用性を検証するため、本研究では、2016 年よりこれまで、フィールド試験を複数回実施してきました。ここでは、2017 年 12 月に国立研究開発法人土木研究所（以下、「土研」という）で実施した、上空から有線給電 MUAV で得た画像情報を用いた油圧ショベルの遠隔操作試験について紹介します（写真-3）<sup>4)</sup>。

この試験の対象は、通常、油圧ショベルに搭乗し作業を行う 10 名の操作者でした。

本実験における操作者の作業は、「モデルタスク」という土研で定義されたタスク<sup>5)</sup>です。これは、遠隔操縦により、油圧ショベルをターゲット付近まで移動させ、バケットの先で対象となるターゲットを引っかけた後、所定の位置まで移動させ、さらにターゲットを元の位置に移動させた後、油圧ショベルを元の場所に移動させるものです。

10 人の操作者が試行した結果、すべての操作者は有線給電 MUAV からの画像の使用によるタスクの実現に成功しました。また、多くの操作者は、油圧ショベルの走行には、有線給電 MUAV で得た空中画像を主に使用し、ターゲットの移動タスクを実施している際には、建機に搭載した前方カメラの画像を主に使用することが分かりました。

さらに、操作者に対する試験後のインタビューでは、「空中画像は、油圧ショベルの周囲の環境状況を把握することができるため、走行において安心感があります」という意見がありました。一方、本システムは、有線給電 MUAV の移動に伴って視点が大きく移動してしまうため、操作に悪影響を及ぼすことを危惧していました。これに対し、「視点移動はあまり気にならない」という操



写真-3 土研での試験の様子

左上が建機に搭載した前方カメラからの映像、右上が有線給電 MUAV から得た空中からの第三者視点画像、下が地上に固定されたカメラからの画像。

作者からの意見が多数を占めました。一方で、操作者の中には、有線給電 MUAV で得た空中画像を一切見ないで作業を行う方もいました。

## 4. まとめ

本稿では、無人建設機械用 有線給電 MUAV の提案と特徴について紹介し、さらに、これを用いた試験について紹介しました。現在、ケーブル形状を測定して MUAV の位置を推定する手法について研究開発を進めているため、近い将来、これを用いた自動飛行が実現することが期待されます。また、現在使用されている MUAV は、ケーブル接続を想定したものではありません。MUAV を安定して飛行させるため、予め、ケーブルで引かれることを考慮した MUAV 自体の筐体開発も、重要な今後の課題です。

### 【参考文献】

- 1) Kiribayashi Seiga, Yakushigawa Kaede, Nagatani Keiji. "Design and Development of Tether-Powered Multirotor Micro Unmanned Aerial Vehicle System for Remote-Controlled Construction Machine". In : *Field and Service Robotics*. Springer, Cham, 2018. pp. 637-648.
- 2) CyPhy. The Future of High-Powered Commercial Drones. <https://www.cyphyworks.com/products/parc/>. Cited 8 Aug 2018.
- 3) Kiribayashi Seiga, Nagatani Keiji, Yakushigawa Kaede. "Position Estimation of Tethered Micro Unmanned Aerial Vehicle by Observing the Slack Tether", 2017 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics, Fr12T1, 2017.
- 4) 桐林星河, 薬師川楓, 五十嵐傑, 永谷圭司, 橋本毅, 山内元貴, 藤野健一. "無人化施工機械の遠隔操縦支援を目的とした空撮映像の評価", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 ROBOTICS2018, 2A1-K01 (1-4), 2018.
- 5) Moteki, M., Akihiko, N., Yuta, S., Ando, H., Ito, S., Fujino, K. "Work efficiency evaluation on the various remote control of the unmanned construction". In *The 15th Symposium on Construction Robotics in Japan O-21*, 2015.