

長時間飛行可能な有線給電ドローンを開発 無人化施工現場で建設機械との連携を実証

千葉拓史

近年、全国各地で異常災害による大型災害が多発している。災害復旧工事では、遠隔操縦方式の建設機械や遠隔操縦ロボットを搭載した建設機械で施工を行っており、通常はカメラ台車からの映像や、建設機械コックピットに搭載した搭載カメラの映像を元に建設機械の遠隔操縦を行っている。本研究では有線給電によって長時間飛行可能、かつ、建設機械と連携して自動で追従飛行可能で、建設機械上に設置したヘリパッドに自動離着陸する機能を有するドローンを開発した。本稿ではフィールド試験においてドローンからの提示映像を遠隔操縦の建設機械オペレータへ提示することで建設機械の遠隔操縦に対し有用なことを確認したので報告する。

キーワード：災害復旧，無人化施工，遠隔操作，無人航空機，UAV

1. はじめに

近年、異常気象による豪雨が日常的に発生し、土砂崩落等の大型災害が全国に多発している。土砂崩落等の災害復旧は、遠隔操縦方式の建設機械や遠隔操縦ロボットを搭載した建設機械で行っている¹⁾。遠隔操作の建設機械を用いて災害復旧工事を行う場合、あらかじめ現場周囲を撮影可能なカメラ台車を現場に配置し、配置したカメラ台車からの映像や建設機械のコックピットへ搭載したカメラ(以降、搭載カメラ)からの映像をもとに建設機械オペレータが作業を行っている。

しかし、カメラ台車の映像は建設機械の移動や作業に伴いカメラ台車の移動やカメラ視点の調整を行うカメラオペレータが必要になり、カメラ台車のカメラ操作には習熟や、建設機械オペレータとの意思疎通が必要になる。また、災害現場にカメラ台車を配置するにあたり、土砂や地形条件等による場所的な制限が発生する為、効率良く災害復旧工事を行うにはカメラ台車の配置は大きな制約となる。

一方、搭載カメラからの映像は単一視点からの映像で上下左右の角度操作やズーム等は可能であるが、提示視野は限定的で建設機械周囲の状況を俯瞰的に見ることができないなどの課題も挙げられる。そのため先行研究として俯瞰映像の提示等による遠隔操作の研究開発が行われている²⁾。

本研究では、上記の問題を解決する為近年急速に普及している無人航空機(ドローン)を活用し、ドロー

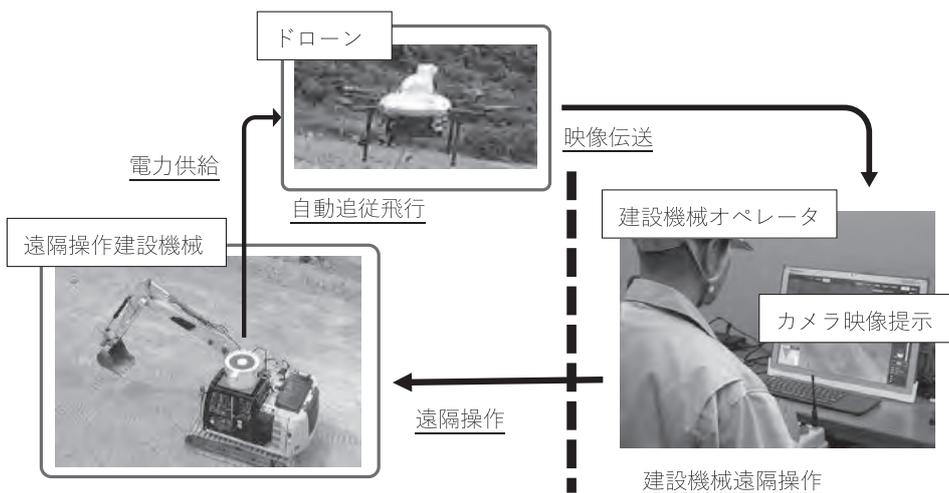
ンに搭載したカメラからの映像を遠隔操作の建設機械オペレータへ提示するとともに、ドローンの操作を不要とする為に建設機械と連携して自動追従飛行する機能を具備したドローンを開発した。フィールド試験において遠隔操作の建設機械オペレータがドローンから提示される映像を用い操縦を行い、操作性とシステムの有用性を確認した。また、従来のカメラ台車のカメラオペレータが不要となり省人化も実現化したので本稿ではその概要を報告する。

2. 開発仕様

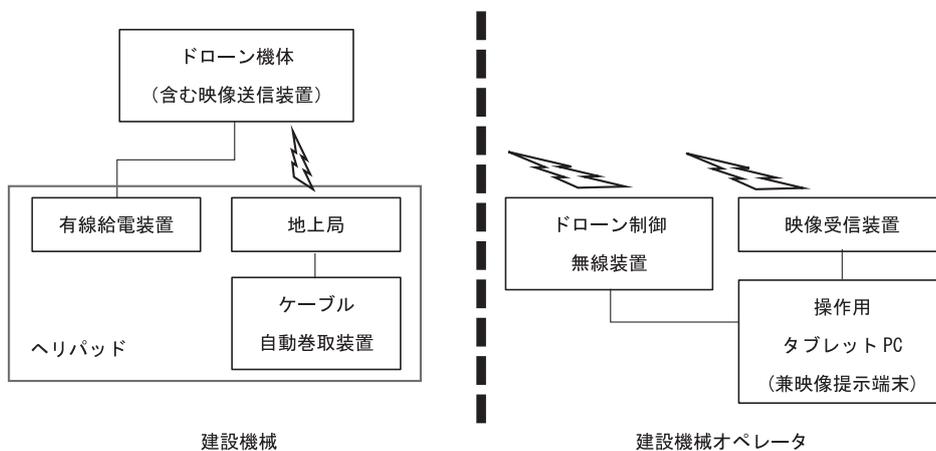
図-1に本システムのコンセプトを示す。ドローンは遠隔操作の建設機械と連携し自動追従飛行する。ドローンに搭載したカメラの映像は離れた場所にいる建設機械オペレータへ提示される。建設機械オペレータはドローンの映像を用い建設機械の操縦を行う。ドローン機体の飛行制御は自動で行われ、建設機械オペレータは建設機械の操縦に注力することをコンセプトにした。

(1) システム構成

本システム構成を図-2、諸元を表-1に示す。システムはドローン機体、建設機械に設置したヘリパッド内には有線給電装置、ケーブル自動巻き取り装置、地上局が内蔵されている。建設機械オペレータサイドにはシステムの操作に用いるタブレットPC端末を用



図一1 コンセプト図



図一2 システム構成図

表一1 諸元表

項目	説明
機体モーター軸間距離	1145 mm
プロペラ	17 inches × 4 枚
機体重量	6.8 kg
有線給電ケーブル長	20 m
機体予備バッテリー	有 (バッテリー管理機能有)
搭載カメラ	光学防振機構搭載, 光学 10 倍ズーム 1920 × 1080 Full HD
映像伝送装置	周波数 5.7 GHz 帯, 伝送距離 1 km, 遅延 1 msec 未満
制御無線	LoRa 方式
ヘリパッドサイズ	1 m × 1 m (離着陸部 直径 1 m 円形)



写真一1 システム外観

意した。写真一1にシステム外観を示す。

(a) ヘリパッド

開発当初ヘリパッドの離着陸部の面積をドローンの着陸時の安全性と着陸位置精度を考慮し、2 m × 2 m で設計開発した。2 m × 2 m のヘリパッドを建設機械

に設置し飛行試験を行った結果、ドローンに搭載したカメラ映像内でヘリパッドにより履帯が隠蔽され、道路上の障害物との離隔が認識されないという課題がでた。方策として、ヘリパッドの小型化の為、ドローン自動着陸制御にGPSによる位置推定と画像処理によ

るヘリパッド位置認識を併用する事で着陸位置精度を向上させ、1m×1mのヘリパッドへの着陸を実現した。ヘリパッドを小型化することでカメラ映像中の死角をなくし、走行時の安全性を確保した。

(b) 有線給電

一般的なドローンは機体にバッテリーを搭載し、そのバッテリーの電力を動力源にする方式が一般的である。機体に搭載するバッテリーを動力源にした方式の場合、飛行可能時間が数十分程度である。長時間作業を行うには一度ドローンを着陸させバッテリー交換を行う必要がある。そこで本システムではヘリパッド内に有線給電装置を備え、有線給電装置から給電ケーブルを通してドローン機体へ電力を給電する有線給電方式を採用する。有線給電により長時間の飛行が可能となり、バッテリー交換も不要となる。有線給電の給電ケーブル断線や、給電装置の故障等の不具合に対しては、ドローン機体に予備バッテリーを搭載し、不具合発生時は自動で予備バッテリーに切り替わり、自動で着陸する。予備バッテリーは飛行中も充電管理され、システム運用時における予備バッテリーの管理も簡便に行うことが可能である。連続飛行時間については長時間飛行試験において連続4時間の飛行が可能なる事を確認した。

(c) ケーブル自動巻き取り装置

給電ケーブルはヘリパッド内のケーブル自動巻き取り装置により巻き取りを行う。ドローン飛行中はドローン機体に巻き取りテンションの負荷をかけることなくヘリパッドとドローン機体間のケーブル長を自動で調整を行うことが可能である。ドローンがヘリパッドより離れる際は自動でケーブルが繰り出され、ヘリパッドへ近づく際も自動でケーブルを巻き取る制御を行う。ケーブル巻き取りドラム部にブレーキを搭載しており、非常時のドローン本体の逸走防止機能も備えてある。ケーブル巻き取り装置は外部通信により、装置状態のモニタリングや動作モードの変更も可能で地上局からの通信で制御される。

(d) 地上局

地上局はヘリパッド内に内蔵されており、コンピュータ、GPS、高度計、通信機で構成されている。GPSと高度計の情報はドローン機体の追従飛行制御と、操作用タブレットPC端末上に表示される建設機械の位置情報表示に使用される。

(e) 操作用タブレットPC端末

建設機械オペレータの操作するタブレットPC端末とドローン機体、地上局との各種の制御信号の送受信を行う通信装置、ドローンからの映像を受信する映像

受信装置から構成される。

(2) 自動離着陸・自動追従飛行

ドローンの制御技術は近年急速に発達しているが、特に離着陸時に風等の影響で機体制御が不安定になり、一般的なプロポ等の操縦装置による手動操縦では墜落等の事故が起こるといった事例も多い。そこで本システムでは手動操作不要の自動離着陸の機能を具備した。

ヘリパッドから離陸したドローンは建設機械のオペレータが指示した飛行高度と建設機械との相対位置を保ちホバリング飛行を行う。建設機械が走行する際は、ドローンはヘリパッド内の地上局のGPS・高度計による位置高度情報を用い、建設機械との距離を保ち自動で追従飛行を行う。自動追従飛行はバックホウ等の旋回動作でも追従可能で、建設機械のオペレータは建設機械の操作に注力することができる。自動離発着・自動追従飛行により、ドローン操縦者が不要となる。また、システムの利用者はドローンの手動操縦に習熟せずとも本システムを運用することが可能である。

(3) 操作インターフェース

本システムの操作はタブレットPC端末上のユーザーインターフェース(以降UI)で行う。UIはドローンの操作部とシステムの状態表示部、提示映像視点位置指定・提示映像示部で構成されており。提示映像視点位置指定・映像提示部は切り替え式となっている。建設機械オペレータはUI上の離陸・着陸ボタンを操作することでドローンを自動で離着陸することが可能である。また、本システムの稼働情報はUI上に表示され、また、システムはエラー発生時にはオペレータの操作なく自動で着陸する事故回避動作を行う。建設機械オペレータは作業に応じて、オペレータの望む視点の映像を直感的に指示することが可能である。視点指示は作業箇所をビジュアル的に指定可能である。航空写真・グラフィカル地図上のGIS地図上での指示を図-3に示す。ドローンからの提示映像に対する直感的な操作を提供する(図-4)。また、ドローンと連携する建設機械がバックホウ等の旋回機構を有する建設機械に対応する為、飛行禁止エリアとして旋回動作やブームアーム等作業機部の可動範囲を事前に教示することによる追突防止機能も具備してある。

(4) カメラ、映像伝送

ドローンに搭載しているカメラは光学防振機構と光学ズームを搭載したものを採用した。カメラの映像は5.7GHz帯の無線伝送で映像受信装置へ伝送され、UI



図一三 GIS 地図表示



図一四 映像提示

上もしくは映像用モニタに表示される。映像伝送装置は伝送距離 1 km、伝送遅延 1 msec の伝送装置を採用した。遠隔操作の建設機械で行う作業において、遠隔操作映像の通信遅延が作業効率に影響し、心理的負担が上昇するという報告もある³⁾、伝送遅延を少なくすることで作業性への影響を考慮した。

3. フィールド試験

本システムの飛行性能とシステムの有効性を確認する為長崎県島原市でフィールド試験を行った。フィールド試験において、建設機械上空をドローンが自動追従飛行している様子を写真一2に示す。ドローンから伝送された提示映像の画像を図一5に示す。フィールド試験によって、タブレット PC 端末上の



写真一2 飛行風景

UI 操作による自動離着陸が可能である事、建設機械とドローンの相対位置を維持した状態での追従飛行が可能であることを確認した。また、事前に設定したカラーコーンで作成した走路コースをドローンから提示され



図一5 ドローンからの提示映像

る映像をもとに走行操作を行い、カラーコーンを障害物と認識し走行が可能である事を確認した。遠隔操作の建設機械が走行する場合、ドローンは建設機械の後方上空より建設機械の進行方向前方を見下ろす鳥瞰視点の提示映像が有効であるとの建設機械オペレータからの意見を得た。一方、操作機による操作については操作機部側面からの提示映像が作業対象個所と作業機との距離を認識しやすさの面で有効との意見も出た。操作機部側面からの提示映像は搭載カメラの映像と比較して鉛直方向（高さ方向）の距離認識について有効であるとの知見も得た。

4. おわりに

本研究では、遠隔操作の建設機械に装着したヘリパッド内の給電装置からの有線給電による長時間飛行と建設機械と連携する自動追従飛行、建設機械に設置した小型のヘリパッドへの自動離着陸が可能なドローンのシステムを開発した。フィールド試験において建設機械オペレータへのヒアリング等を通じて建設機械の操作については提示映像の情報について有効である

ことを確認した。建設機械に自動で追従飛行し、映像提示する本システムにより、従来必要としたカメラ台車のカメラを操作するオペレータも不要とし、省力化を実現した。今後、多くのフィールド試験を重ね、バックホウ以外の建設機械での実証試験の実施、実用化に向けた信頼性検証を行う。

JCMA

《参考文献》

- 1) 藤本昭, 松岡雅博, 茶山和博, 藤岡晃: 遠隔操縦ロボット (ロボQ) の開発, 土木学会第58回年次学術講演会, 2003
- 2) 佐藤貴亮, 藤井浩光, Alessandro Moro, 杉本和也, 野末晃, 三村洋一, 小幡克実, 山下淳, 浅間一: 無人化施工用俯瞰映像提示システムの開発, 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 823, 2015
- 3) 伊藤慎宜, 藤野健一, 安藤広志: 映像通信遅延が建機の遠隔操作性に与える影響のモデルタスクによる評価, 第16回建設ロボットシンポジウム論文集, 2016

【筆者紹介】

千葉 拓史 (ちば たくみ)

(株)フジタ

技術センター

生産改革研究部 先端システムグループ

主任研究員

