

遠隔臨場ドローンシステムによる 遠隔臨場の高度化

株式会社フジタ 土木本部 土木エンジニアリングセンター

まつおか ゆうじ
松岡 祐仁

株式会社センシンロボティクス 執行役員 エバンジェリスト
CS&マーケティング部 部長

よしい たろう
吉井 太郎

1. はじめに

近年、建設デジタル・トランスフォーメーション（DX）によるデータやデジタル技術を活用した建設現場変革の推進に加え、新型コロナウイルス感染症対策を背景に、生産性や安全性向上、及び非接触・リモート型業務への転換を図るための技術の確立が求められている。

国土交通省では、2020年度より遠隔臨場の試行を開始した。従来は発注者が現場に出向いて臨場のもと行われていた段階検査、立会、及び材料確認を、現地に出向かず、Webコミュニケーション技術により遠隔地から臨場を行うものである。遠隔臨場では、インターネット回線を通じて映像や音声、データ等を用いたコミュニケーションにより、発注者の監督業務がリモート化されることによる現場への移動時間や立会に伴う受注者の待ち時間削減等の効果が期待できる。

現在の遠隔臨場では、受注者の職員が装着したインターネットに接続できるカメラを使用して映像や音声を配信するスタイルが主流となっている。一方、遠隔臨場の内容によっては、カメラの台数や撮影者数が多く必要になり、対象の切り替えによる段取り替えの発生、移動に伴う通信環境の変化による通信中断といった課題も多く抱えて

おり、解決できる技術、システムの開発が望まれている。

このような状況を踏まえ、地上レベルの映像を補完する技術として、近年、急速に高機能化が進むドローンを用いた技術開発に取り掛かった。本稿では、国土交通省の直轄土木工事において2022年度より本実施に移行される遠隔臨場の更なる効率化と高度化を目指した「遠隔臨場ドローンシステム」開発の取り組みについて報告する。

2. 遠隔臨場ドローンシステム

遠隔臨場ドローンシステムは、株式会社フジタと株式会社センシンロボティクスで同時期に共同開発した「全自動ドローンシステム」の機能のうち、遠隔臨場向けに機能抽出、最適化を図ったシステムである。

(1) 全自動ドローンシステム

本システムは、センシンロボティクス開発の自動離発着、自動充電、開閉式ハッチを備えたドローン基地「SENSYN Drone Hub」と、フジタの安全巡視ノウハウや保有技術である簡易ドローン写真測量が可能な「デイリードローン」、鉛直計測精度を高め、標定点なし、もしくは極少数の標定点での出来形計測が可能な「斜め往復撮影ドロ

ーン」といった技術から構成されている。これにより、指定時刻に基地からドローンが自動で離陸し、事前に指定したルートに沿って、安全巡視、空中写真測量撮影を実施後、自動で着陸し、充電を実行するという一連の作業の省人化、生産性向上を図り、建設現場での実用レベルを達成したシステムとなっている。

安全巡視では、1日2回、リアルタイムで自動飛行時のドローンのカメラ映像を事務所等の拠点に配信するとともにクラウドサーバー上に記録する。撮影後の画像・映像確認時は、AI処理による対象物の自動抽出を行い、現場の状況変化を把握しやすくする変状比較機能を実装した。測量は1日1回行い、従来は必要であった現場のドローンの操作者、補助者2名が不要となり、省人化にも貢献することが確認できた。遠隔臨場ドローンシステムと同時期に現場での検証実験を行い、建設現場での目視外補助者なし飛行「レベル3」での1カ月間の連続試験運用も併せて達成している。

(2) システム構成

遠隔臨場ドローンシステムの試験運用では、ドローンに全自動ドローンシステムで使用される「SENSYN Mark-2」（以下、「Mark-2」という）を用いた（図－1、表－1）。本機は、1回の充電で25分連続飛行が可能で、用途に応じたカメラ



図－1 SENSYN Mark-2

表－1 SENSYN Mark-2仕様

サイズ	対角 0.888 m
重量	7.5 kg
飛行時間	25 分
動作保証温度	－ 10℃～ 40℃
防水・防塵性能	IP54 相当
耐風性能	10.0 m/s
充電時間	空の状態から約 1 時間で満充電

を取り付けできる。Mark-2には、LTE 対応の USB ドングルが接続可能であり、SIM を挿入することでドローン単体での携帯電話網を介したデータ通信が可能となる。試験運用時は、実用化試験局制度を利用してドローンからのデータ通信を行ったが、現在では、一定の技術的条件を満たせば、手続きが簡素化されるため、上空でのデータ通信利用のハードルは下がっている。

Mark-2 は、遠隔監視システムである「SENSYN CORE Monitor」（以下、「SC モニター」という）に接続することでドローンによる遠隔臨場が可能となる。遠隔臨場ドローンシステムは、SC モニターを遠隔臨場向けに改良したものである。撮影したデータや飛行時の機体情報を示すテレメトリ情報は、データ通信網（4G LTE 回線）を通して、クラウドサーバーにアップロード、蓄積され、各種データが一括管理される。

これらのクラウド上の情報には、Web ブラウザを介してアクセスできるため、インターネットに接続できる環境があれば、発注者の監督業務拠点や現場事務所、母店などの様々な拠点からシステムに接続してドローンが撮影した映像や画像の確認が可能となる。ドローンの飛行時にアクセスすれば、飛行中のカメラが捉えている映像をリアルタイムで確認でき、遠隔臨場が可能となる（図－2）。

Mark-2 は、通常のフライトコントローラー（送信機）による操縦のほか、目視外補助者なし飛行の許可を受けていれば、SC モニターを通じた遠隔での操縦も可能である。

音声通信は、遠隔臨場で用いられる Web 会議システム（Microsoft Teams, Zoom 等）を併用する。映像は Web ブラウザで直接 SC モニターにアクセスするか、Web 会議システムの画面共有機能を使用して SC モニターを表示する。これにより、従来の地上レベルのカメラ映像にドローンの空撮映像を加えた遠隔臨場を運用することが可能となる。

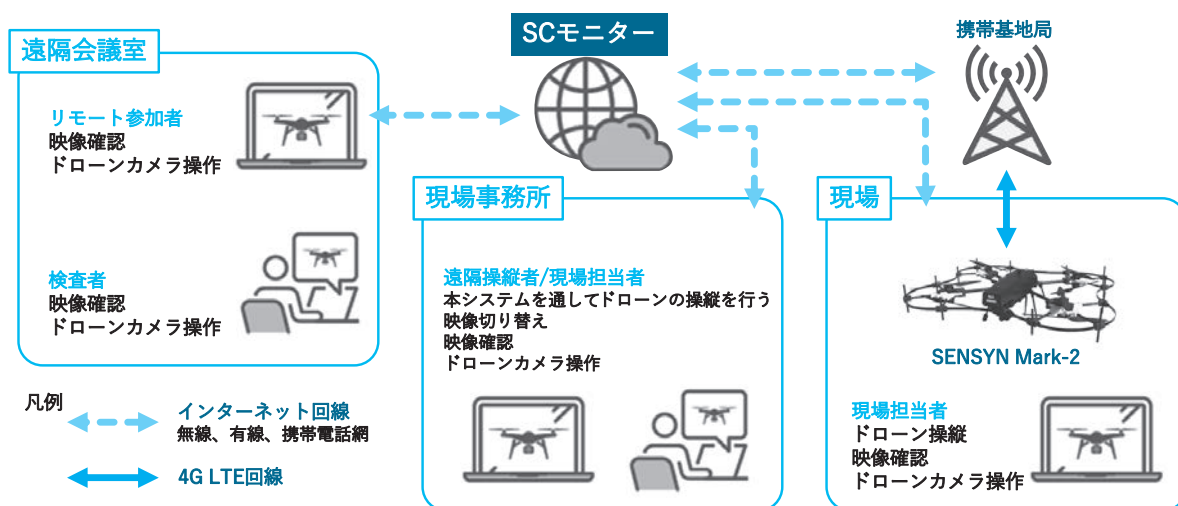


図-2 遠隔臨場ドローンシステム（SC モニター）システム構成

3. ドローンによる遠隔臨場

遠隔臨場ドローンシステムは、現在施工中の令和元-4年度横断道羽ノ浦トンネル工事（発注者：国土交通省四国地方整備局）の盛土区間において、2021年3月～4月の約1カ月の期間で検証、開発を実施した。現在主流である現場職員の持つカメラ映像による遠隔臨場を補完して円滑な進行・運用をするため、ドローンの活用シーンと期待される機能を洗い出し、遠隔臨場に耐えうる形とすることを主眼に開発、試験運用を行った。

(1) ドローンの機動性を活かした全体概要の把握

現在の遠隔臨場では、立会場所や検査内容をもとに、撮影者の人数、カメラ台数・配置が計画された上での運用が一般的である。遠隔臨場の対象範囲が限られている場合は問題ないが、広範囲の対象や場所の移動が伴う場合、その都度、段取り替えや撮影準備、通信環境の確認が必要となる。また、撮影者数やカメラ台数により、撮影範囲が制限されるため、カメラ配置の工夫や増設等の対応が必要となり、円滑な遠隔臨場進行の隘路となっていた。

現行の地上レベルのみの遠隔臨場に本システム

を追加することで、ドローンの機動性を活かしたカメラワークが使用でき、現場全体概要の説明や段取り替えにより移動する地上のカメラを先回りした映像を提供できるため、シームレスに現場映像を配信することが可能となる（図-3）。構築物の影や地形の起伏により通信状況が不安定になりやすい地上レベルでの通信と比べると、携帯電話のデータ通信網が整備されているエリアという条件が付くが、上空は通信環境が比較的安定しており、映像の途絶が起きにくく途絶時の復旧も早いというメリットもある。

ただし、エリア内の携帯電話のデータ通信利用者が多い時間帯などに通信帯域の不足が発生し、通信環境品質が低下する場合があることも遠隔臨場時には留意しておく必要がある。周辺の通信環境にもよるが、直接インターネット網に接続するMark-2を用いた場合の映像遅延は1秒程度で遠



図-3 UAVを用いた遠隔臨場画面

隔臨場の運用上はほぼ気にならないレベルを確保している。

また、試験運用初期には、ドローンの大きな移動＝映像の変化が大きい場面で、ノイズや映像の途絶が発生する場面が多発したが、映像の圧縮設定を調整して負荷を低減することで、現在は遠隔臨場における映像配信の安定性が確保されたシステムとなっている。

(2) 広範囲の映像提供とピンポイントな詳細確認の両立

ドローンによる遠隔臨場のメリットは、機動性を活かしたカメラワークだけではなく、状況に応じてカメラを交換できる点にもある。高所を飛行するドローンにズームカメラを搭載することで、遠方から近方までシームレスに確認でき、現場状況を俯瞰的かつより詳細に把握することができると考え、Mark-2には14倍の高倍率ズームカメラを搭載して、検証を行うこととした(表-2)。

表-2 14倍ズームカメラ仕様

センサー	CMOS 1/2.3 型 (1,200 万画素)
画像サイズ	4,000 × 3,000 pixel
レンズ	HFOV= 92 or 50 EFL : 2.3 mm

通常、遠隔臨場における検尺は、カメラ撮影者がリボンロッド等に近寄り、モニター越しの検査者に目盛りの写った映像を提示する。しかし、この方法では、別箇所が目盛りや全体を再び確認する際、カメラの画角の関係から移動やカメラの切り替えが必要になり、全体から細部の確認が断続的になってしまう場合がある。

このような場面では、ドローン搭載のズームカメラを併用することで、検査者に全体から細部までを一連の映像として提供でき、検査箇所の状況を俯瞰から詳細まで一体的に理解しやすくなる。

そこで、盛土箇所にリボンロッドを配置し、リボンロッドの1cm間隔の目盛りを、遠隔のPCモニター越しで視認できるかの検証を行った。飛行高度20mでカメラのズームが等倍では、リボ

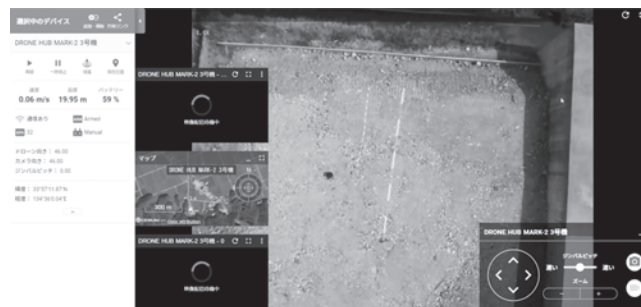


図-4 高度20mからの検尺(ズーム:等倍)

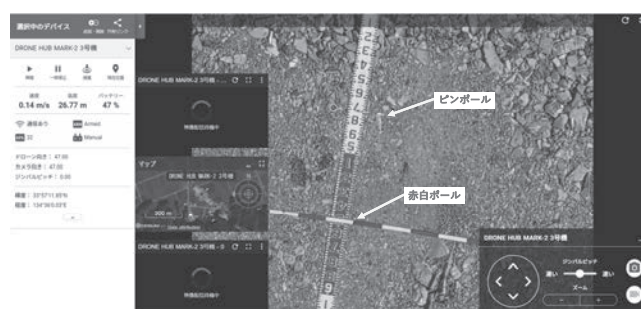


図-5 高度27mからの検尺(ズーム14倍)

ンロッドが配置された検査対象全体を俯瞰することができ、飛行高度27mの14倍ズームでは赤白ボール、ピンボールの指す1cm目盛りの値を確認できた。飛行高度35m程度までならジンバル制御によるブレのない画像で詳細を確認できる結果となった(図-4, 5)。

飛行高度やズーム倍率は、任意に変更することができ、検査対象に応じて調整することで様々な場面に対応可能である。地上でのカメラ映像の配信は必須であるが、遠隔地の検査者が、現場状況を広範囲から詳細部まで連続的に把握するために有用なツールであることが確認できた。

また、本システムでは、現在の映像だけでなく、過去の臨場において記録した画像・映像を日時、場所、タグでデータベースから検索、抽出できる機能を実装しており、現在と過去の臨場記録データを時間横断的に提示することで遠隔臨場の運用がより円滑になると考える。

(3) カメラ操作の双方向性

遠隔臨場では、検査者の指示により現場職員がカメラを移動させて指定対象の映像を配信する。

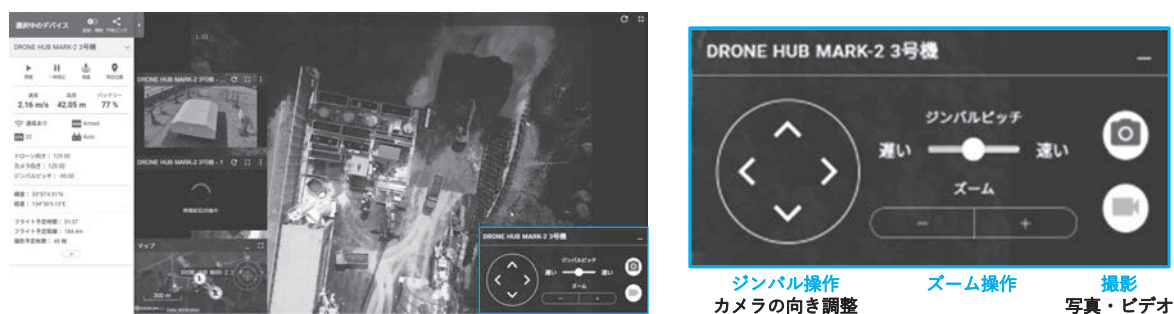


図-6 SC モニター（遠隔監視システム）上でのカメラ操作 UI

ドローンによる遠隔臨場でも同様であるが、SC モニターには、ドローン操縦者以外がカメラの向きやズーム倍率をリモート操作できるインターフェイスを備えている。Web ブラウザで SC モニターにアクセスすると画面右隅にコントローラーが表示され、ドローンの旋回やカメラ角度、ジンバルピッチ、ズームの調整が可能である。

また、写真やビデオも任意のタイミングで撮影でき、臨場記録データとしての保存も可能である。遠隔臨場において、従来は、検査者の指示によりカメラの移動が行われていたが、このように検査者にも能動的なカメラ操作ができることで、よりきめ細やかな臨場業務が可能になると考える（図-6）。

(4) 普及機への対応

これまで、Mark-2 と 14 倍ズームカメラを用いた場合の検証結果、運用シーンを挙げてきた。これに加え、遠隔臨場ドローンシステムには、市場で一般的に入手可能な普及／産業用ドローンの接続も可能である。その場合、SC モニター上のリモートカメラ操作機能が、機体に装着されているカメラの実装された機能（ズームの有無等）により制限を受けるが、それ以外の機能は問題なく利用できる。また、データ通信は、送信機として利用するタブレットの通信機能を利用するため、携帯電話の上空利用のような制限を受けない。

以上のように、Mark-2 で得られたノウハウを手元にある普及機、産業機で活用することができ、ドローンを利用した遠隔臨場以外にも様々な場面での活用が見込まれる。

4. おわりに

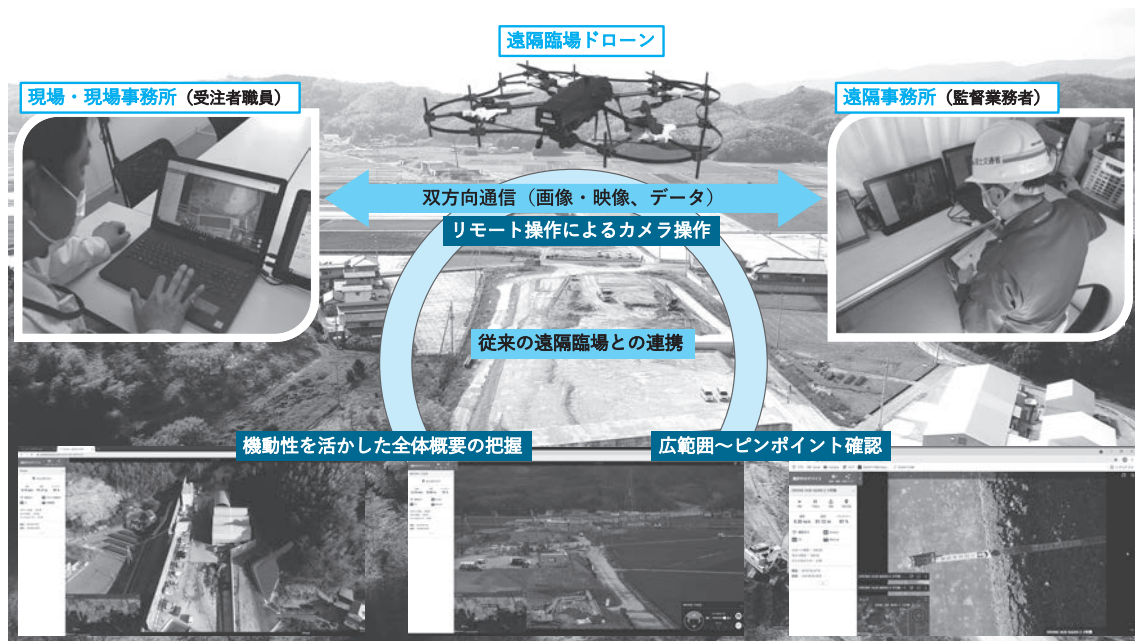
遠隔臨場ドローンシステムは、現在行われている地上レベルのカメラ映像に併せて、ドローンの機動性、カメラのズーム、操作の双方向性を持たせた映像を提供することで、遠隔臨場の更なる効率化と高度化を目指し開発した技術である（図-7）。

ドローンによるカメラ映像の特性に加え、本システムの特徴を以下に示す。

- ・ドローンによるリアルタイム空撮映像の表示と過去の臨場記録の閲覧が同一システム内で可能
- ・特別なアプリケーションをインストールする必要がなく、Web ブラウザでのアクセスのみでの映像確認が可能
- ・複数拠点からのアクセス、閲覧が可能

屋内や航空法の規制により導入のハードルが高い現場もあるが、特に上空の開けている面的な開発・造成、広大な土工事現場において、従来の遠隔臨場を補完し、更なる効率化、高度化が可能なシステムとして、導入に大きなメリットがあると考ええる。

現在、フジタでは、普及機クラスのドローンを接続した遠隔臨場ドローンシステムの現場展開を開始しており、国土交通省の推進する遠隔臨場においては、検査等で活用事例がある。遠隔臨場以外では、見学会ツールとしての展開も行われている。限られた見学時間内で、ドローンによる映像から現場全体の概要をリアルタイムで見学するた



図ー7 遠隔臨場ドローンシステム活用イメージ

め、Web 見学会では遠隔地の見学者に現場を俯瞰的に案内・紹介するためにも使用され、ドローンによる映像を使った概況把握のわかりやすさに対して好評を得ている。また、母店（遠隔拠点）からの経験豊かな担当者による現場の遠隔監視、安全パトロール、研修等への展開といったコロナ禍における有効なツールとしての活用も検討を進めているところである。

また、本システムのリアルタイム映像配信とその映像を遠隔で操作できる特徴を活かし、近年頻発する災害対策への応用も検討中である。夜間発災時を想定した赤外線撮影やカメラと高輝度ライトを併用した夜間飛行については検証済みであり、発災後の立ち入りが困難な被災地の情報を昼夜問わず対策拠点にリアルタイムで伝達することで、早期に被災状況を把握し、早期復旧の足掛かりとなるツールとしての展開も期待できる（図ー8）。



図ー8 発災時を想定した夜間飛行検証

今後は、遠隔臨場ドローンシステムの運用、普及を進めるとともに、映像伝送の最適化や高速通信対応による映像の高品質化、機能や使い勝手のブラッシュアップを進め、遠隔臨場を含む様々なシーンにおいて優位性のある情報を伝達する映像コミュニケーション技術として開発を継続する所存である。