

無人航空機による消火活動支援の期待と課題

東京大学未来ビジョン研究センター 特任准教授 佐々木 一
東京大学未来ビジョン研究センター 特任教授 鈴木 真 二

消火活動におけるドローンへの期待

無人航空機（以下、ドローン）は、近年のロボティクス、センシング、XR、ネットワークとAIなどの要素技術の統合によって人間能力の飛躍的拡張を支える技術群のひとつとしてより広い目的を達成させることに寄与している^[1]。防災を含む保全活動においてドローンを用いることの意義は世界中で広く認識されており、特に消防活動においては市民による高い社会的需要が確認できる。北米市民を対象とした調査によれば、ドローンの保全利用のなかでも消防及び救助活動のために用いる用途は最も高い支持を得ているとしている^[2]。最近の連邦山火事管理技術法（The Federal Wildfire Management Technology Act）の改正も背景にしつつ、特にオレゴン州、カリフォルニア州、コロラド州での消防活動におけるドローンの使用が進んでいる^[3]。中には、自動的に火災現場に急行し初期対応を支援するシステムが実用化されている^[4]。

我が国においてもすでに消防職員の98%がドローンの初期火災対応の有効性を認めた報告があり、ドローンに対する高い期待が寄せられている^[5]。ここ数年の例では、2020年に静岡県焼津市で初めてのドローン部隊が設立された^[6]。また、2023年1月には山口県岩国市で、山火事の状態を把握するために赤外線カメラとスピーカーを装備したドローンが展開された。2021年の静岡県熱海

市での土砂災害では、ドローンが有効に利用された確認例もある^[7]。現在、全国の消防署の59.4%（429署）がドローンを導入している^[8]。これらの例は、災害が増加する背景において、災害時のドローン対応に対する期待が高まっていることを示している。さらに、国土交通省は、大規模自然災害の初期対応において、無人航空機による現場の可視化とリアルタイム情報伝送の必要性を指摘している^[9]。2022年以降、日本では有人地帯での目視外飛行（BVLOS, Level 4）が可能となったことから、災害時のドローン利用がさらに広がることが期待されている。

ユーザヒアリングを通じた期待と課題の抽出

ドローン技術が提供するこのような消火活動に対して、より具体的な期待と課題を抽出するべく消防関係者に対してヒアリングを行った。専門家ヒアリング対象者は表1に示すとおりビル火災の専門家ならびに災害の専門家を選定した。ヒアリングのテーマとしてドローンリモートの活用におけるニーズ/課題、必要要件に関するものについてヒアリングを行った。前者のニーズ/課題に関するヒアリングの結果について～の結果について表2に示す。

表2より、ドローンに対する期待として、隊員より素早く現地に到着し情報収集ができること、

表1 専門家ヒアリング概要

ヒアリング対象	消防庁広域応援室	消防庁消防研究センター
ヒアリング日時	2022年8月5日	2022年7月15日
ドローンリモート技術の活用におけるニーズと課題に関するヒアリング質問項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ 隊員の出動前にドローンで先行把握できると有効な情報 ・ 火災現場および経路でのドローン飛行において考慮すべき環境条件 ・ 火災現場特有の環境(煙、熱等)において有用なセンシング技術 ・ 火災現場におけるドローンを用いた活用に対する現場の意識 ・ ドローン活用の課題 ・ 音についての弊害 ・ 消防以外の他組織との連携について 	
ドローンリモート技術の活用における要求についてのヒアリング質問項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ 要求される飛行時間 ・ ドローンで分かるとよい情報。 ・ デジタルツイン上であらゆる観点から見ること。 ・ 現場での指揮系統の中での本技術の有効性。 ・ 消防拠点からの距離。 ・ 消防トレーニングでのドローンリモート技術の活用。 ・ デジタルツインによって得られる有用な情報。 ・ 他のシステム (SIP4D：基盤的防災情報流通ネットワーク) などとの連携 	

表2 ヒアリング結果（ドローン技術の活用におけるニーズ / 課題について）

隊員の出動前に、ドローンでどのような情報が先行把握できると有用か。	ドローンで得られると考えられる情報としては、火災の場所（何階建て建物の何階で延焼中）、火災の有無、煙の状況、色、周辺建物との距離、周辺住民等の避難状況、周辺の道路状況。 消防車より先に到着して情報把握できると良い。（要救助者など）。その際の問題は、部隊にその情報をどう伝えるかだが、現場にデジタル端末を持たせるのは難しい。手軽、書き込めるなどの理由から現場は紙が良いという実情もある。
火災現場及びその経路でのドローン飛行において考慮すべき環境条件や想定課題。	環境条件は、火災による輻射熱。風速、風向。気象状況（降雨）等。課題としては、ドローンを飛行させる位置が上空の場合、それらの情報を得ることが難しいこと。 ビル群で/人がいる中、安全を担保できるのかが課題。消防が事故を起こすことはNG。 最近ドローンが複数台飛ぶことが多い（報道、学会、個人等）ことに加えて有人機も飛ぶ。それらとの衝突のリスクあり。航空管制必要。また、どこが音頭とするのかも課題。 大規模火災では、どこから煙が来ているか、水をどこから入れるか、要救助者がいるかどうかなどが把握できると良い。 現状は映像、画像での目視確認。山岳救助時に遭難者を探すためサーマル使っている様子だが、サーマルでのセンシングは火災現場では難しい。周囲の延焼をサーマルで探すことをしたいという相談があったことはある。
火災現場特有の環境（煙、熱等）において有用なセンシング技術にはどのようなものがあるか。	遠赤外線カメラによる熱画像。危険物火災現場における、有毒ガスの発生状況。 土砂災害では映像、画像を元に、災害前後の地図作成をやっている。地震計を活用している例は見たことある。
火災現場におけるドローンを用いた活用に関してどのように受け止められているか。	過去におこなった消防大学の訓練生（隊長クラス）を主に対象とした調査では、火災現場におけるドローンの活用は好意的な結果が得られている ^[5] 。大規模なら理解が得られやすいが、1軒の火災においては「まずは消火を優先すべき」と市民から見られることもある。
ドローン活用の課題はどのような点があるか。	現場ではドローン飛ばすための人が足りない（2～3人）というのが一番の課題。規模が大きい消防本部だとドローン部隊もちらほら現れてきているが、小さいところだとまだまだ少ない。大規模災害の際には、消防庁がドローン活用をしようとしており、政令指定都市であればドローン活用が始まりだしている。また、予算の9割は人件費と設備の維持費でありドローン運用の予算は課題。
音についての弊害はあるか。	小型ドローンで問題になったことはない。要救助者探索時におけるサイレントタイムを避ければ大丈夫だと思う。
消防以外の他組織（警察、自衛隊等）との連携は。	土砂災害の際は、1日1回意識合わせの会議をしていたが、地域に詳しい地元消防が音頭取ることが多い。その際、紙の地図を囲んで協議をする。デジタルも使えるが最終的には紙にした。 また、「現場に解釈させるな」とよく講演では言っている。現場ではどう解釈すべき情報なのかを明確にした情報でないと受け入れにくいかもしれない。 一方で、粗い状態でも有用なデジタル情報はある。熱海の土砂災害だと、家がどこまで流れたか、そこに人がいる可能性あるか（安全確認できているか）、それを踏まえどこをどのくらい掘るべきか、の判断が必要だった。

地上からでは把握できない情報を取得することができることに高い期待が寄せられていることがわかる。一方で、天候などの環境条件では安定した飛行が困難であることが挙げられており、機体としてこの課題がクリアできたとしても、操縦者のスキルを向上させるための教育システムが整っていないといった制度上の課題が挙げられる。また、現場においてはデジタルデータの活用について制度的にも技術的にも過渡期にあるがゆえ、現場としては期待あるものの、実際に運用に至るには乗り越えるべき課題が少なくない。

ユーザヒアリングを通じた要件の抽出

我々¹はNEDOの委託事業により、具体的なドローンシステムの社会実装に向けた研究開発「AI・XR活用による空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発」を行っている。図1に概念図を示す。具体的には、360度カメラおよびLiDAR（レーザーによる画像検出・測距：Light Detection And Ranging）を搭載し

た3機のマルチローター型ドローンを用い、高層ビルにおける火災状況をニアリアルタイムに3次元モデルとして構築するものである。フォーメーションフライトによる運用を想定しており、自律分散制御によるスケーラブルなシステムを構築している。このようなシステムが実用化することで、消防はもとより警備や点検といった広い用途においてドローンを通じたデジタルトランスフォーメーションが実現できる^[10]。

革新的ドローンリモート技術のシステムの実運用に際してどのような要件が必要となるかを検討するため、同様に表1に示す対象者に、ヒアリングを行った。その結果を表3に示す。

表3によって、革新的ドローンリモートシステムの運用には、適切な飛行時間と広範な情報収集能力、そしてデジタルツインを通じた情報共有と解釈の能力について必要な要件を明らかにした。

令和3年度において、消防・救急の現場到着所要時間は全国平均で約9.4分とされている^[11]。実際に7分以内に現場に到着し、情報を収集するドローンシステムの実現が可能となれば、より多く

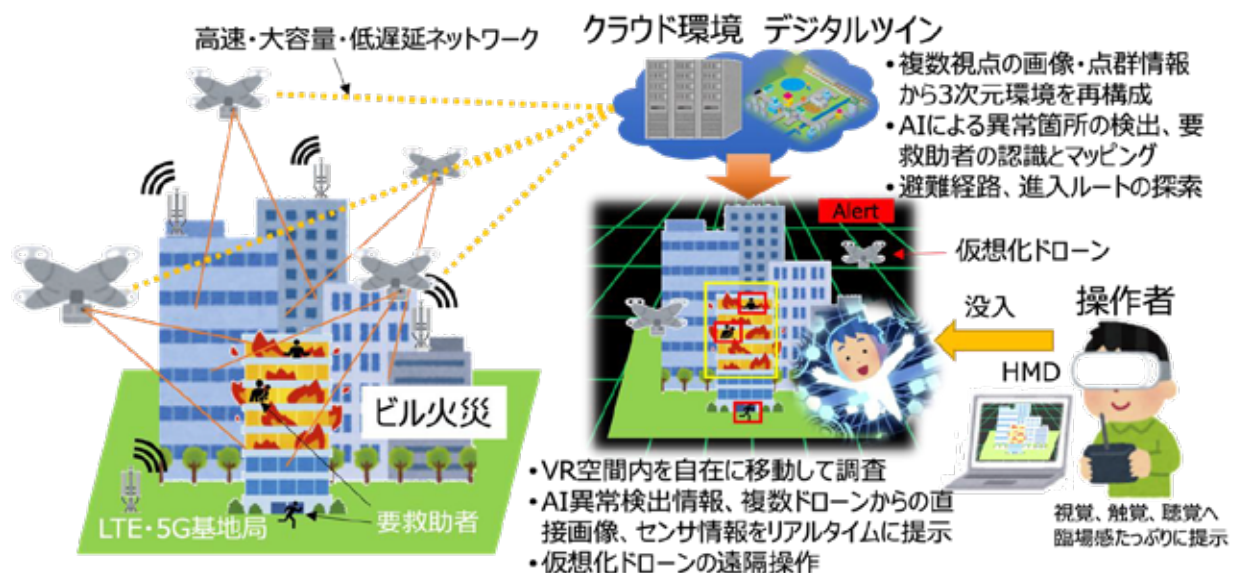


図1 革新的ドローンリモート技術の概念図

¹ 東京大学、産業技術総合研究所、EAMS ロボティクス、NTT ドコモ

表3 ドローン技術の活用における要求について

<p>固定翼飛行の想定時間、マルチコプターの飛行時間はどの程度のものが必要か。</p>	<p>消防署から火災現場までの距離に依存するが一般的には7分程度。現場到着から消火活動の流れが区切れるわけではなく、通報があった時点から作戦を考え始める。したがって消防車両の中ですべての火災現場情報を把握しておく必要がある（火災、煙、要救助者の有無など）。同時に車両内で酸素マスクなど装備の準備、情報収集、作戦検討を行う。7分後に情報が整った、では遅い。7分後までに消火活動の準備を整えすぐに開始できる必要がある。</p>
<p>どういう情報がドローンで分かるとよいか。上空からの画像情報など。</p>	<p>火災現場によるが土砂災害だと上空からの情報は有効。大規模火災の場合に欲しいのは建物の中の情報。煙が出ている場所がわかれば火災の位置は分かる。ビル火災だと建物内の情報が必要。タブレットやHMDなどで映像や画像は有効とは思いますが、実現可能性と再現時間がポイント。3D再現はほぼリアルタイム可能。7分後の到着時点で確認は可能な見込み。建物内の情報把握は消防でもこれまでいろいろ検討されてきているが難しいというのが現時点の結論。</p>
<p>現場指揮官が見える場所は限られるため、デジタルツイン上であらゆる観点から見ることは有効と考えるか。</p>	<p>有効と考えられる。</p>
<p>現場での指揮系統の中での本技術の有効性は、刻一刻と変化する状況を、デジタルツイン上で指揮官が把握して、隊員に伝えることは有効か。</p>	<p>有効だろう。現場最先着がやるべきは3大危険情報の把握。人命危険（要救助者有無、要救助者に関する情報（人数、特徴、状況））、延焼危険（火炎噴出状況、隣接建物との距離、風向/風速（ex 糸魚川火災））、活動危険（隊員に危害が及ぼしうる可燃性液体（タンク）、LPGボンベ、獐猛な犬等）を把握すること。そのために現場一巡する。一巡できない環境の場合ドローンが有効。ビル火災の場合、手振り要求がある場合、部隊配置の検討が必要。ハシゴ車をどこに置くか等。要救助者がどこにいるのかわかると有効。</p>
<p>消防拠点からの距離は4～5km くらいの想定で大丈夫か。</p>	<p>5分以内であればOK。固定翼機だと厳しいが、マルチコプターの離着陸も想定すると5分なので、成立する。</p>
<p>消防トレーニングでのドローンリモート技術の活用はできないか？（デジタル空間上で現場再現して訓練に活用）</p>	<p>大変有効。現場速報の訓練など（google マップ上の黒煙情報を見せて建物面積、延焼危険を推測する訓練等）。HMD等でバーチャル上で再現し、判断・伝達を行う有効なトレーニングが期待できる。</p>
<p>ドローン+デジタルツインによって災害現場のどのような情報が把握できると有用か。災害現場や作戦会議の場でどのような活用の仕方が考えられるか。想定される課題。</p>	<p>被害状況の全容、建物の平面図や、立面図が考えられる。土砂災害、浸水災害の場合は地図画像などが挙げられる。</p>
<p>SIP4D（基盤的防災情報流通ネットワーク）との連携の可能性はありえるか。</p>	<p>大規模火災では、消火、救助は消防機関のみで対応することが通常であるため、考えにくいのではないかと。</p>

の人命救助に資することが想定される。一方で、連続航続距離においては技術的な課題もある。現在我が国で流通している市販のドローンでは30分や40分などの飛行時間が可能となるが、パイロットや厳しい耐環境水準が求められる火災現場での

ドローンにおいては、最適な機体システムを構成する必要がある。革新的ドローンリモート技術では、LiDARカメラや360°カメラだけでなく環境センサーの搭載を想定しており、その要件を満たすことは更なる技術開発が求められる。

また、人命危険、延焼危険、活動危険の3大危険のうち、特に革新的ドローンリモート技術では前者2つの早期発見にその強みを発揮する。現場到着直後の火点一巡はもとより、特に高層ビルの上層階での火災は上空からの要救助者発見に大きな期待が寄せられている。

また、こういったシステムの用途のなかで特に多くの期待が寄せられているのがトレーニング目的の活用である。ドローンの操縦スキルの向上はもちろんのこと、今回のドローンリモートシステムは現場の3次元データを収集しデジタルツインを構築する。活動時以外でも、実際のデータを使うことであたかも現場にいるようなシミュレーションを行うことができるという点は大いに期待されていることがわかる。

最後に

ドローンの活用や社会実装を行うにあたっては、我が国では依然として制度的な課題が少なくなく、安全や騒音、プライバシー侵害などの社会受容性の課題も残る。防災・消火活動においても新しい技術を導入することには二次災害を避けるために慎重であるべきである。しかしながら本質的なその背景は、生じる社会的リスクや技術的リスクの双方を評価 (assessment) する整備がまだまだ不十分であることにある。欧州では、EASA (欧州航空安全機関) がSORA (Specific Operation Risk Assessment)^[12] とよばれるリスクアセスメント手法を採用しているが、これは Specific カテゴリとよばれる特定飛行を前提とした際の運用時に想定される、システム全体のリスクを定性定量的に評価しようという試みである。防災領域においても、制度面における国際的なハーモナイゼーションが期待される。

- [1] NEDO 人工知能活用による革新的リモート技術開発, https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100194.html (accessed on 12 July 2023)
- [2] Markowitz, E. M., Nisbet, M. C., Danylchuk, A. J., & Engelbourg, S. I. . (2017). What's that buzzing noise? Public opinion on the use of drones for conservation science. *BioScience*, 67(4), 382-385.
- [3] Hevarg. D (2020) Fireball-dropping drones and the new technology helping fight fires. *National Geographic* 19 OCT 2020
- [4] Reagan, P.B.J. Fotokite Launches Tethered Drone System for Firefighters. 2019. Available online: <https://dronelife.com/2019/04/17/fotokite-launches-tethered-drone-system-for-firefighters/> (accessed on 20 January 2023)
- [5] 清水幸平, 新井場公德, 土志田正二, 藤井皓介. (2020). 火災現場における無人航空機を用いた情報収集方策に関する調査. 消防研究所報告 = Report of National Research Institute of Fire and Disaster, (128), 図巻頭-1p.
- [6] 経済産業省 (2022). 自治体のドローン・自動配送ロボット等の利活用促進に向けた調査報告ドローンモデル自治体 https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/pdf/drone_report2.pdf (accessed on 20 January 2023)
- [7] 土志田正二, & 清水幸平. (2020). 土砂災害時の消防救助活動におけるドローンの活用とニーズ. 計測と制御, 59(7), 465-470.
- [8] 消防庁 (2022). 消防防災分野におけるドローン活用の手引き https://www.fdma.go.jp/laws/tutatsu/items/040331_drone.pdf (accessed on 20 January 2023)
- [9] 国土交通省 (2009). 大規模自然災害時の初動対応における装備・システムのあり方 (提言).
- [10] 佐々木一, 榎野尊, 寺村良寛, 鈴木真二 (2023). 消防におけるドローンリモート技術の概念構想 (ConOps) の構築と社会実装課題の抽出. 次世代移動体技術誌, 4(4), 20-38.
- [11] 消防庁 (2022) 報道資料「令和3年版 救急・救助の現況」の公表, https://www.fdma.go.jp/pressrelease/houdou/items/211224_kyuuki_1.pdf (accessed on 12 July 2023)
- [12] JURAS, JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA), Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned Systems, JAR-DEL-WG6-D.04, JURAS, 2019, URL: http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar_doc_06_jarus_sora_v2.0.pdf (accessed on 21 July 2023)

謝辞

この成果は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP21004）の結果得られたものである。ConOpsの検討は株式会社アイティアイディ（ITID）、株式会社電通国際情報サービス（ISID）、イームズロボティクス株式会社、株式会社NTTドコモ、産業技術総合研究所とともに行われた議論に基づくものである。またヒアリングに応じていただいた、消防庁消防研究センター技術研究部地震等災害研究室の土志田正二様、消防庁国民保

護・防災部防災課広域応援室の成田正樹様、山本勝巳様、他皆様への感謝の意を表す。

注) 本稿の一部は下記原著論文を再編したものである。より詳細の情報は原著を確認いただきたい。佐々木一，榎野尊，寺村良寛，秋本修，鈴木真二 (2023). 消防におけるドローンリモート技術の概念構想（ConOps）の構築と社会実装課題の抽出．次世代移動体技術誌，4(4)，20-38.