

2-3 携帯電話圏外の見通し外環境でもドローンを制御できる自営網通信技術

2-3 *Wireless Communication Technology for Drone Control in Non-line-of-sight Environment beyond Cellular Coverage*

松田 隆志 三浦 龍 越川 三保 丸山 正晃 松村 武

MATSUDA Takashi, MIURA Ryu, KOSHIKAWA Miho, MARUYAMA Masaaki, and MATSUMURA Takeshi

携帯電話が利用できないエリアが多い災害現場や山奥、海上等で活躍するドローンなどの空モビリティを安全・安心に運用できる無線通信技術として、見通し外で通信可能な自営網通信技術の研究開発を行っている。本技術では、周囲が見通せる位置に電波を中継する装置を搭載したドローンを飛行させたり、山や建造物の上に中継装置を設置したりすることで、山の反対側など見通し外に飛行するドローンと通信ができるようになる。本技術により、災害時や人の立ち入りが困難な地域へのドローンでの物資輸送・測量・点検等ができるようになる。これまで、多くの国内企業や大学等と協力し、山岳地域や海上においてドローンを使った実証実験を行ってきた。実際の環境において無線通信の課題を確認し、課題解決のための研究開発を進め、より安定したドローンとの無線通信ができるよう取り組んでいる。

We are researching and developing private network communication technology that enables communication beyond line of sight, serving as a wireless communication technology for the safe and secure operation of aerial mobility such as drones in disaster sites, remote mountainous areas, at sea, and other locations where mobile phones are often unavailable. By flying a drone equipped with a radio wave relay device in a position where it can see its surroundings, or by installing a relay device on top of a mountain or structure, it can communicate with a drone flying in non-line of sight conditions. This technology will make it possible to use drones to transport supplies, conduct surveys, and inspections in times of disaster or in areas that are difficult for people to access. We have identified wireless communication issues in actual environments and are working on research and development to solve these issues.

1 まえがき

近年、ロボットや無人航空機（ドローン）等の無人移動体が、人に代わり、立ち入りが困難な場所で低コストで活躍することができるようになってきた。特に、ドローンは災害時に道路が使用できない場合に、いち早く災害の状況を空から撮影したり、物資を輸送したりと様々な活用されるケースが想定されている。こうした空の産業革命の実現に向けて、国の政策として小型無人機の利活用の促進や安全な飛行の確保等のための施策を進めるため、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会を開催しており、その中で「空の産業革命に向けたロードマップ 2024」を決定している [1]。

これまで利用されているドローンは操縦者がプロポと呼ばれる操縦機を操作してプロポとドローン間で直

接電波が届く範囲で通信を行うか、LTE 等の地上通信インフラを介してドローンと通信することが多い。しかしながら、ドローンの利用が想定される山中等の障害物が多い場所では見通し外となる状況が多く、また LTE 等の地上通信インフラが利用できない場合も想定される。衛星通信を利用することも考えられるが、アンテナや通信装置が大きいため、ドローンへの搭載の負荷が大きい問題がある。

そこで、我々は見通し外でもドローンの活用を可能にするため、自営系の無線による長距離通信技術の研究開発を行っている。見通し外・長距離通信技術は、ドローン等に電波を中継する無線機を搭載することで、直接電波が届かない場所でもドローンとの通信が可能になる。これにより、LTE 等の地上通信インフラが利用できないような山中や海上でも見通し外・長距離で

ドローンを利用することができる。本稿では、NICT で開発した見通し外・長距離通信技術について解説し、これらの実証試験例を紹介する。

2 ドローンとの見通し外・長距離通信技術

2.1 ドローンにおける無線通信の課題

ドローンは空撮・災害調査・測量・点検・物流など幅広い分野での活躍が期待されており、これまでも商用での実用や実用に向けた実証試験が進んでいる。国としても空の産業革命として、ドローンの1から4の飛行レベルを定義している。レベル1は目視内での操縦飛行、レベル2は目視内での自律飛行、レベル3は無人地帯での目視外飛行(補助者や看板の設置などが必要)、レベル4では有人地帯での目視外飛行となっている。2022年12月にレベル4まで制度化[2]され、2023年12月にレベル3.5が導入[3]され、レベル3.5では、機体カメラで人がいないことを確認することで、立入管理措置を一部緩和することができるようになっている。

ドローンは安全のため常に操縦者が制御できることが求められており、目視外に飛行させる場合は無線による通信手段が必要となる。しかしながら、ドローンの活用が求められている人の立ち入りが困難な山中や海上では、LTEのような地上の通信インフラが利用できないことが多く、電波が直接届く範囲での飛行に限られている。

2.2 見通し外・長距離通信システムの開発

上記の課題を解決するため、NICTではドローンの制御信号を別の中継ドローンを介して通信させることで、見通し外・長距離での通信を可能とするシステム(コマンドホッパー)を開発してきた。コマンドホッ

パーでは169 MHzと920 MHzの周波数を使用することができる。169 MHzはロボットやドローン用に割り当てられた無人移動体画像伝送システム用の周波数で、無線局免許や第三級陸上特殊無線技士の資格が必要となる。169 MHzは地上では最大1 W、空中では最大10 mWの送信出力が可能となっており、最長で10 km以上の距離での通信が可能となっている。ただし、使用できる帯域幅が小さいため、通信速度は4～10 kbps程度である。そのためドローンの制御信号は送ることはできるが、画像のような大きなデータを送信することは難しい。また、アンテナが大きいといった課題もある。一方で、920 MHzはテレコントロール用特定小電力無線局の周波数で、無線局免許や無線従事者の資格が不要である。920 MHzの送信出力は最大20 mWで、169 MHzよりは速い通信(約30 kbps)が可能であるものの、通信距離が1～2 km程度と短くなっているため、長距離通信には不向きである。このようにそれぞれの特徴のある周波数を、利用シーンに合わせて使い分けることが可能である。また、中継局は2台まで使用可能で、最大3ホップまでのマルチホップ通信をすることができる。それぞれの上り下りの通信は決められたタイムスロット内で行い、一定時間での遅延(最大約400 ms)が保証されるようになっている。図1にドローンマッパーによる救援物資配送ミッションの一例を示す。山の反対側まで救援物資をドローンで輸送したい場合に、操縦者から見て山の影にドローンが入ると電波が届かなくなり、制御ができなくなる。そこで、ドローンマッパーを搭載した制御中継ドローンを山の上に飛行させることで、山の反対側まで通信エリアを広げることができる。

図2にコマンドホッパー及びドローンの接続系やインターフェースを示す。ここでは中継局を1台使用した例となっている。地上局では通信を制御するためのPC

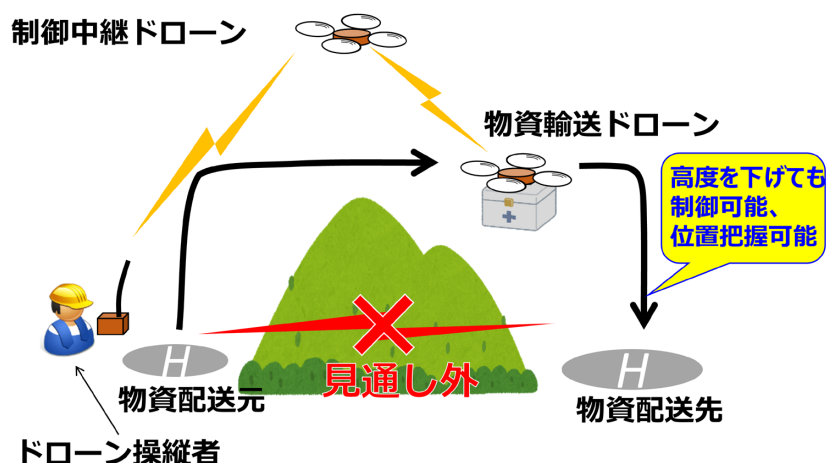


図1 コマンドホッパーによる配送ミッションの一例

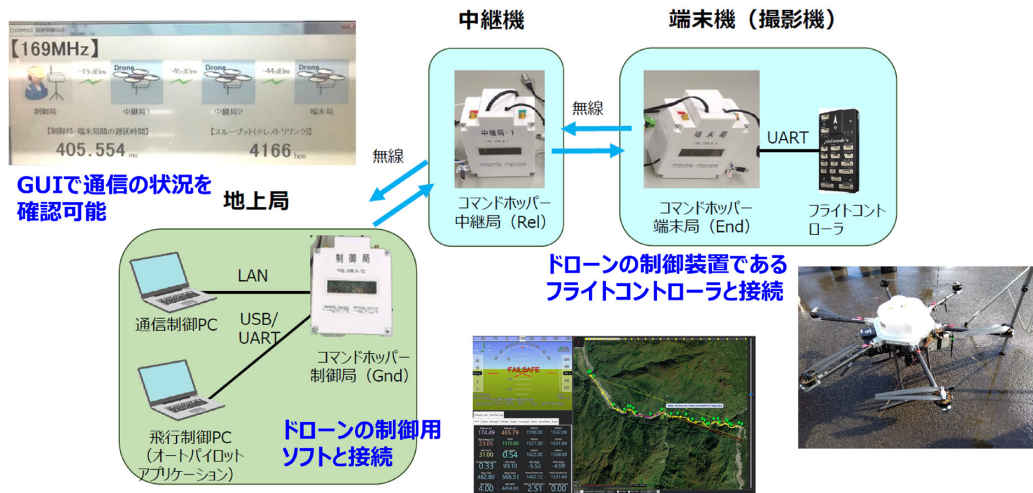


図2 コマンドホッパーとドローンとの接続及びインターフェース



図3 試験場所におけるドローンの飛行軌跡及び電波の受信強度

とLANで接続することにより、リンクの接続状況、地上から制御するドローンまでの遅延時間及び通信スループットを確認することができる。また、USB/UARTをPCとドローンに搭載されているフライトコントローラに接続することで、ドローンを制御するソフトとフライトコントローラ間で通信することができる。

3 コマンドホッパーを用いた実証試験

コマンドホッパーを利用した実証試験の例を紹介する。本実証実験は、山形県の月山山麓の立谷沢川沿いにて行った。図3に試験場所の地図とドローンの飛行軌跡及び電波の受信強度を示す。本試験では、途中3か所の砂防堰堤と1か所のダム施設の映像を撮影しながら、対地高度約100 mを維持して上流に向かって点検用のドローンを飛行させ、全ての撮影対象を通過後、離陸地点から約3.9 km飛行した地点で安全に着陸した。この経路では、中間点付近から先は、沢の屈曲により、ドローンを離陸させた場所にある地上局からの見通しは効かなくなり、直接通信では途切れる状況

であった。このため、飛行経路の途中、地上局から約1.8 km上流の河床からの高度約120 mの地点に、中継用ドローンをホバリングさせ通信を中継させることで、地上局から点検用ドローンへの制御信号の送信と、その逆方向の位置情報の受信の双方向通信を維持した。このように、コマンドホッパーによって、災害時等に道路が寸断され地上の通信インフラが利用できなくなった場合においても、ドローンでの見通し外・長距離の輸送や被害状況の調査が可能となることが実証された。

この実証試験のほかにも、山頂の鉄塔に中継局を設置した環境での実証、固定翼型やエンジン発電タイプでのドローンでの実証、1,000 m以上の高低差があるような環境など様々な環境での試験を行っている。また長距離での通信試験として、169 MHz帯では1ホップあたり最大約18 km離れた環境での通信できることを確認している。ただし、ドローンからのノイズや周囲からの無線電波の干渉などにより、常に最大距離通信できるわけではないので、こういったノイズや干渉対策も重要である。

4 まとめ

ドローンとの見通し外・長距離通信技術は、ドローンの活躍するエリアや用途を拡大することが期待される。さらに、高高度無人機(HAPS: High Altitude Platform Station)や空飛ぶクルマを含めた次世代空モビリティの活用も期待されており、こういった次世代空モビリティをつなぐ非地上系ネットワークがより重要となってくる。空の産業革命に向け、更なる無線通信技術の開発を続けていく。

【参考文献】

- 1 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会、“空の産業革命に向けたロードマップ 2024,”
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/roadmap2024.pdf>
- 2 国土交通省ホームページ、“無人航空機レベル 4 飛行ポータルサイト,”
<https://www.mlit.go.jp/koku/level4/>
- 3 国土交通省、“ドローンのレベル 3.5 飛行制度の新設について,”
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001716111.pdf>



松村 武 (まつむら たけし)

ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
ワイヤレスシステム研究室
室長
博士(工学)
無線通信、ネットワーク、高周波回路、MEMS
【受賞歴】
2022 年 電波功績賞、総務大臣表彰



松田 隆志 (まつだ たかし)

ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
ワイヤレスシステム研究室
研究マネージャー
博士(工学)
無線通信、モビリティ通信、センサネットワーク
【受賞歴】
2021 年 電子情報通信学会論文賞



三浦 龍 (みうら りゅう)

ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
ワイヤレスシステム研究室
主任研究員
博士(工学)
無線通信、モビリティ通信



越川 三保 (こしかわ みほ)

ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
ワイヤレスシステム研究室
研究技術員
無線通信、サイバネティック・アバター、
モビリティ通信



丸山 正晃 (まるやま まさあき)

ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
ワイヤレスシステム研究室
主任研究技術員
無線通信、モビリティ通信