

無人機(ドローン)に関わる電波利用技術の動向と取組み



国立研究開発法人情報通信研究機構
ワイヤレスネットワーク総合センター
上席研究員

みうら りゅう
三浦 龍



国立研究開発法人情報通信研究機構
ワイヤレスネットワーク総合センター
主任研究員

おの ふみえ
小野 文枝

1. はじめに

無人航空機(以下、無人機)はドローンやUAVとも呼ばれ、ホビー用、業務用の両面においてここ数年で急速に普及しつつある。現在はまだほとんどが空撮・測量用であるが、今後は特に物流やインフラ管理、災害対策等の分野での活用の拡大が期待されている。政府は2015年1月に「ロボット新戦略」を発表し、また同年12月には無人機に関する条文が盛り込まれた改正航空法が施行され、「空の産業革命」の実現に向けて、2020年以降の有人地帯上空での安全な目視外飛行の実現を目指した技術開発と環境整備に関するロードマップを策定している。一方、3次元空間を自由に飛び回る特性を持つ無人機は、有線接続で飛行させる場合を除き、その制御や状態把握には無線が不可欠であり、これをいかに高信頼化し使いやすくしていくかが「空の産業革命」を現実のものとするための安全性向上と普及にとって重要な課題である。

2. 無人機における無線通信の現状

無人機にとって、無線通信は極めて重要な役割を担っている。現在、国内の小型の無人機のほとんどは、ホビー用・業務用ともに、その操縦端末に2.4GHz帯(いわゆるISM帯)コントロール端末(プロポと呼ばれる)を使用している。言うまでもなくこのバンドは無線LAN(Wi-Fi)が多く使っており、それゆえにデバイスは安価で免許も不要であり、作る方も使う方にも大変便利なバンドである。干渉に強い方式により、周辺にWi-Fi機器があっても運用可能であるが、そもそもISM帯では、免許が不要である代わりに他から干渉を受けたとしてもその責任は問うことはできず、無人機の飛行中に干渉によって不具合が起きたとしても違法性は問えない。実際、このバンドは無人機の中だけでも制御のみにとどまらず、画像伝送などにも混在して使われ、1つの無人機内や複数の無人機間で干渉を起こす事例も多くある。さらに、送信出力も低く抑えられているとともに距離減衰や遮蔽物の影響も大きいいため、操縦者のすぐ目の前で直接目視の元で運用する

場合はともかくとして、遠方でしかも目視外で運用する無人機には適していないと考えられる。

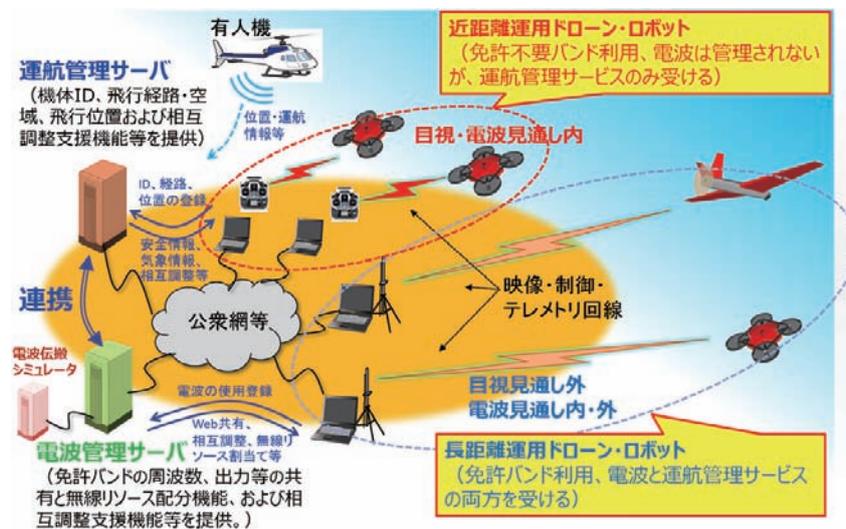
3. 新たなロボット用電波とその運用

総務省は、情報通信審議会答申に基づき、2016年9月より2.4GHz帯の一部、5.7GHz帯、及び169MHz帯、の各バンドの合計130MHz余りをロボットや無人機を含む無人移動体画像伝送システムとして開放した^[1]。これらのバンドはいずれも業務用かつ無線局免許が必要で、その運用には無線従事者免許が必要となるが、空中線電力はそれぞれのバンドで1W(169MHz帯の上空のみ原則10mW)が可能となるため、5km以上の通信距離が必要というニーズに応えるものとなっている。ただし、これらのバンドはいずれも他の無線業務との共用が前提となっている。

これらのバンドは主に画像伝送用ということになっているが、ロボットの制御・状態監視(コマンド・テレメトリ)用にも使用することは可能であり、免許人の中で相互に運用調整を行いながら使用することで混信からの保護を担保することが前提となっている。

なお、主に無人機を含むロボットの安全な運行管理システムの実現とそれによる国際競争力の強化への貢献を目指し、2016年7月11日、利用事業者、通信事業者、大学、国研、メーカー等で構成される「日本無人機運行管理コンソーシアム(JUTM)」(会長:鈴木真二東大教授)が設立された^[2]。その中で上記の3つの免許バンドの運用調整サービスも実施されている。

運行管理システムは、当初は共通プラットフォーム上での無人機飛行前でのスケジュール機能の提供にとどまるが、将来はこれに地図・地形・構造物のデータや周辺無人機・有人機のリアルタイム飛行位置、気象情報、並びに3次元電波伝搬シミュレーションによる電波干渉評価なども行えるよう電波管理とも統合されたシステムの実現が期待されている(図1)。また、限られた周波数資源をできるだけ多くの無人機利用者の中で混信なく使えるようにするためのリソース配



■ 図1. 運航管理・電波管理システムイメージ

分技術についての総務省の研究開発もスタートしている。

4. 電波が直接届かない見通し外での無人機の制御と状態監視

小型の無人機を物流に応用しようという試みが各地で行われている。交通の不便な山間部や離島などで小口の荷物であれば無人機で配送することにより、人件費の削減効果とともに消費者の利便性に大いに資するものと大きな期待が寄せられている。しかし、操縦者と無人機間の通信は、無人機が操縦者の近くにいる間や上空にいる間は問題なくつながっていたとしても、配送先で着陸しようと高度を下げた途端、通信の電波はかなりの確率で切れるものと思っよい。地上の建物や樹木、地形等による遮蔽・減衰を受けるからで、これでは物流への応用はできない。もちろん、前章で紹介したより出力の大きい新しい電波の規格を用いればそれでもつながる確率は増すが、障害物に完全に遮蔽されれば、やはりほぼ確実に切れる。

目視外飛行や電波見通し外飛行は、法制面においてはまだ強い規制がされている飛行方法であるが、これを安全に実現するための通信技術としては大きく分けて3通りある。(1) 地上のインフラ経由 (例えば携帯電話ネットワーク)、(2) 他の無人機やロボットなどの中継局経由、(3) 衛星経由、である。(1) については、これまで上空での携帯電話の電波発信は法律で禁止されていたが、昨年より携帯電話事業会社に限り実用化試験局免許が交付できるようになり、各事業会社が携帯電話ネットワーク経由の無人機制御の実験を始めている。この方法が実現すれば、携帯電話サービス圏内であれば、どんなに距離が離れていても、地球の裏側であったとしても、

無人機の制御と状態監視が可能となるものとして期待されている。現在、地上の携帯電話ネットワークへの影響や上空でのサービスエリアの調査などが行われている。(3) については、すでに一部商品化されている事例もあるが、搭載機器がどうしても大きく重くなるということと、回線速度が大きく取れないため通信データ量や更新頻度にまだ課題がある。これらの技術はいずれも、今後の発展が大いに見込まれており、特に(1) についてはアジア各国や欧米でも盛んに研究開発されている。

これらに対し、情報通信研究機構 (NICT) では、産業技術総合研究所と共同で上記 (2) に対応した遅延時間保証型マルチホップ中継制御通信方式の技術開発に取り組んでいる。これまで、中継によるロボット制御の技術はあったが、インターネット用として設計された無線LANの技術をベースにしているため、ロボット制御に必ずしも適しておらず、中継経路が切り替わるたびに通信が数100ミリ秒～1秒以上切断され、制御コマンドを発してからそれをロボット側が受信するまでの応答遅延時間 (レイテンシ) が保証されないという問題があった。本方式では、中継局を経由した場合でもレイテンシを一定値以内に保つ時分割多元接続 (TDMA) に基づいた新たな中継経路冗長型のアクセス制御プロトコルを設計・開発した。この方式では無人機の移動によって中継経路が変更された場合でも、通信の切断時間は約60ミリ秒以内で済み、ほぼ無瞬断でコマンドとテレメトリの通信が継続できる。開発した無線装置は、免許が不要でコストも低い920MHz帯 (特定小電力無線局) を使用しており、これを用いて実施した屋外におけるフィールド実証実験 (2016年11月) では、地上に設置した2つの中継局を経由した3ホップの通信回線によ



■図2. 見通し外中継制御のフィールド実証実験
(2016年11月@東北大学青葉山キャンパス)

り、操縦者から見て目視外かつ電波見通し外にあるマルチロータ機の安定かつ連続したコマンド制御及びテレメトリ受信を行うことに初めて成功した(図2)。なお、別の機会に行った測定で、1ホップ当りの最長電波到達距離は見通しで少なくとも2km以上であること確認している。実験では中継局は地上に設置したが、これを別の無人機に載せて上空にホバリングさせておくことも可能で、携帯電話ネットワークのサービス圏外であったり、災害時に通信インフラが使用不能であっても電波見通し外での低コストな飛行運用が可能となる。

その他、異なる事業者が運用する無人機間、あるいは有人ヘリと無人機との間の衝突を防止するための相互の位置情報共有ネットワーク「ドローンマッパー」についても920MHz帯を用いて試作・実証を行っている。開発したモジュールを搭載した無人機及び有人ヘリは、無人機の操縦者及びヘリのコックピットにおいて、相互の位置情報がタブレット端末画面に1秒間に2～4回の更新頻度で自身の位置を中心にした地図上にレーダーチャートのように表示される。こちらは前述のタフ・ワイヤレスよりも帯域が狭く、また同報型プロトコルであることもあり、最長電波到達距離は見通しで少なくとも9km以上であることを確認している。

なお、上記2つの研究開発は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議が主導する革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) タフ・ロボティクス・チャレンジ (プログラムマネージャ: 田所諭東北大学教授)^[3]の一環として実施されたものである。

5. 周波数に関する国際標準化の動向と電波伝搬特性

現在、開発や制度化について活発に議論されている無人機の周波数については、既存業務と同様に世界無線通信会議 (World Radiocommunication Conference: WRC) にて議論されている。2012年の世界無線通信会議 (WRC-12) では、無人機の制御や状態のモニタのための通信 (非ペイロード用通信) のために、5GHz帯*の新規割当が決議採択された。この結果を受け、現在は、国際民間航空機関 (International Civil Aviation Organization: ICAO) の周波数スペクトラム管理パネル (Frequency Spectrum Management Panel: FSMP) の下に位置する周波数ワーキンググループ (Working Group of Frequency: WG-F) 内において、5GHz帯の使用区分がまさに議論されている^[4]。また、航空技術諮問機関 (RTCA) では、960MHz帯 (960MHz-1164MHz) 及び5GHz帯の非ペイロード通信に関する最小要求事項、技術要件等が議論されている^[5]。さらに、2015年のWRC-15においては、衛星経由の無人機の非ペイロード用通信の周波数として、固定衛星業務 (FSS) に分配されている周波数帯 (Ku帯、14/10/11/12GHz、Ka帯、30/20GHz) の利用が決議採択された^[6]。ただし、利用にあたっては、既存業務への干渉回避が必要等の条件があり、現在は、ICAOと連携しながら議論が進められている。

アジアにおける制度化状況については、アジア・太平洋電気通信共同体無線グループ (Asia-Pacific Telecommunity Wireless Group: APT AWG) の航空及び船舶タスクグループ (Task Group Aeronautical and Maritime: TG-A&M) において、アジア太平洋地域における小型や中型の無人機の周波数の利用状況、規制状況に関する調査が現在実施されている状況である^[7]。

このように、無人機の周波数に関する国際標準化は、地上と直接通信する無人機や衛星を介する無人機の非ペイロード用通信周波数に関して進められている。新規に追加割当された周波数には、当然ながら既存業務が存在するため、無人機の安全運用に必要な周波数共用技術の確立が今後さらに進むものと考えられる。

NICTでは、2012年のWRC-12の結果を受けて、2013年度から2015年度に電波資源拡大のための研究開発課題「無人航空機を活用した無線中継システムと地上ネットワークの連携及び共用技術の研究開発」を電子航法研究所、KDDI研究所、東北大学、日本電気株式会社の5機関とともに受託し、5GHz

*5GHz帯: 本稿では5030-5091MHzを指す。



帯の研究開発を実施した。5GHz帯は、現在、無線アクセスシステムが利用しており、隣接周波数帯の5000-5030MHz帯には衛星通信システム、5091MHzから5150MHzまでは、空港周辺の高速通信に対応した空港面航空移動通信システム(AeroMACS)が存在している。したがって、この研究開発では、既存システムとの共用条件を明らかにするため、5GHz帯の電波伝搬特性測定用無線機を開発し、測定実験を実施した。測定用無線機は、距離10kmまでの範囲を測定対象として、出力1W、帯域幅は7MHzとした。測定実験では、国内の農村、丘陵、海上等のいくつかの環境において、上空の無人機と地上局間、上空の2機の無人機間の電波伝搬を測定し、距離減衰特性の解析や地上や周辺環境からの反射波成分の観測を実施した(図3)。これらの結果は、国内の委員会及びICAO FSMP-WG-Fに提供し、国際標準化に貢献している^[8,9]。

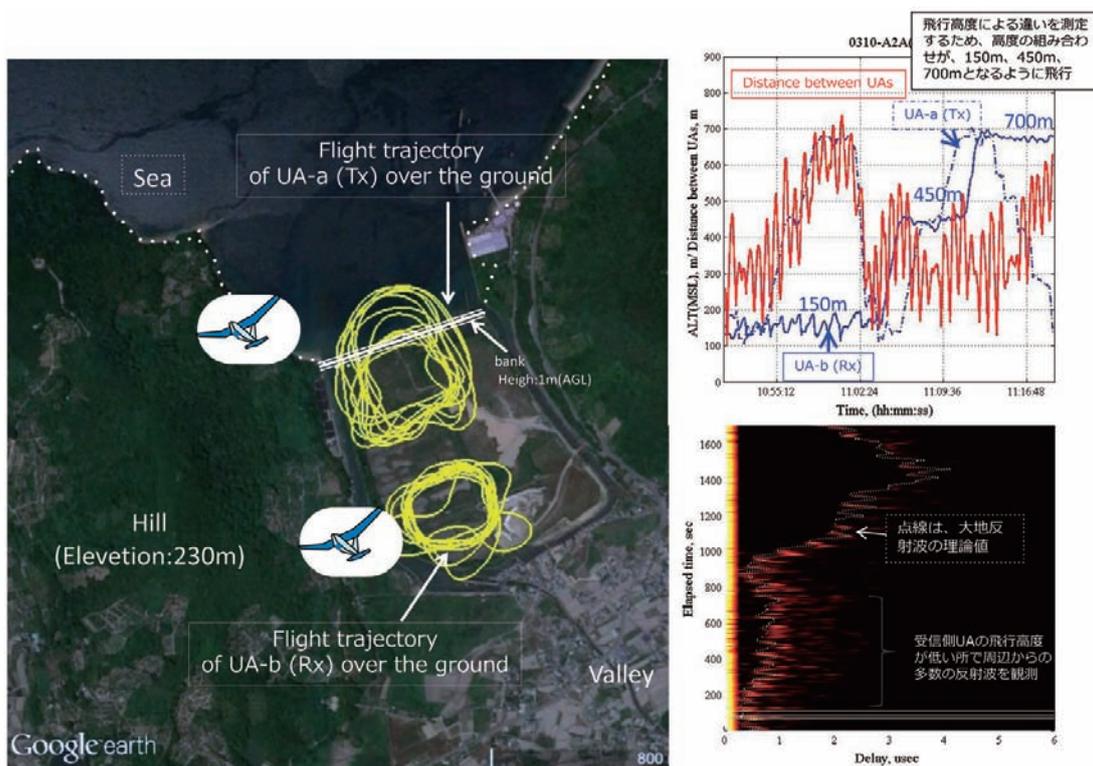
6. おわりに

小型無人機の運航に不可欠な電波利用技術をめぐる動向と取組みの一部についてその概要を紹介した。NICTでは、引き続き、無人機の安全運用にとって要となる電波の観点からの安全な目視外飛行の実現と無人機産業の発展、並びに国際競争力の確保への貢献を目指していきたいと考えている。

(2017年2月28日 ITU-R研究会より)

文献

- [1] 総務省電波利用HP, <http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/index.htm>
- [2] 日本無人機運行管理コンソーシアムHP, <http://www.jutm.org/>
- [3] タフ・ロボティクス・チャレンジHP, <http://www.jst.go.jp/impact/program/07.html>
- [4] ICAO HP, <https://www.icao.int/Pages/default.aspx>
- [5] RTCA Special Committee 228 (SC-228), Minimum Operational Performance Standards for Unmanned Aircraft Systems, 16 June 2016
- [6] ITU-R, Provisional Final Acts, World Radiocommunication Conference (WRC-15), November 2015
- [7] APT AWG HP, <http://www.aptsec.org/APTAWG>
- [8] NICT, “C-band Channel Measurement Campaign using Small Unmanned Aircraft-Experimental measurement of air-to-air channel radio propagation-”, ICAO FSMP WG-F/03 IP/03, Montreal, Canada, 6-14 Sep. 2016
- [9] 情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告資料、平成28年2月



■ 図3. 小型の固定翼無人機を用いた5GHz帯上空-上空間電波伝搬測定実験結果の例 (香川県坂出市)