

6. 小型無人航空機の現状と監視通信における今後の展望

監視通信領域 ※河村 暁子, ニッ森 俊一, 森岡 和行, 米本 成人

1 はじめに

近年、無人航空機を民生利用する動きが活発になっている。そのなかでも特に小型無人航空機を、空撮、測量、物流、農薬散布などの目的で用いる試みが急速に進んでいる[1]。そもそも、日本では30年以上前から農薬散布用無人ヘリコプタが広く利用されてきた[2]。ただし、これは主に水田の上空数メートルを飛行させる、低高度かつ無人地帯に限定された運用として完結していた。一方、昨今の小型無人航空機ブームの中心にあるマルチコプタ機（通称ドローン）は、機体の姿勢を安定させる小型ジャイロセンサの高性能化、リチウムポリマバッテリーの進化・低コスト化などを背景に、従来よりも構造や扱いが簡単な新しい形の機体として誕生し、空撮、測量など農薬散布機より広い範囲を飛行する用途が期待されている[1]。このような流れを受け、2015年末に航空法の改正[3]が行われ、人口密集地帯や空港周辺での飛行の禁止、目視内での操縦、高度150メートル以下の飛行などがルール化された。

小型無人航空機の利用が加速する一方で、とくに低高度を飛行し場外離着陸場への降下を行うヘリコプタを中心とした有人航空機と無人航空機のニアミス事案が発生している。国内では2016年度末までに5件発生[4]、米国では航空



図1. 小型無人航空機の外観
(弊所所有実験用マルチコプタ)

機パイロットから飛行中に小型無人航空機を視認したとの報告が毎月150件以上FAA（米国連邦航空局）へ寄せられている[5]。

本稿では、小型無人航空機の監視に関する現状と、小型無人航空機 - 有人航空機間の衝突を回避する手段として開発されている小型無人機向けトランスポンダを紹介し、その課題や今後の展望について述べる。

2 小型無人航空機の監視の現状

小型無人航空機は、オペレータがプロポを手に持ち目視できる範囲で機体を飛行させるのが、前述の改正航空法における基本的な飛行形態である。機体の操縦は、無線通信を用いた遠隔操作によって行うが、機体の姿勢のほかにも高度や位置も機上のセンサを利用して自動的に制御することができる。一般的に、飛行している機体の位置や姿勢、バッテリー残量等の情報は機体とオペレータ間の通信を介してオペレータに届く。

現時点において小型無人航空機は、機体とオペレータの組み合わせごとに独立しており、それぞれオペレータが自機を独自に監視している。よって、有人航空の管制システムに相当するような、近い空域を飛行する複数の機体の運航（運行）を一元的に管理するシステムは存在していない。さらに、無人航空機のオペレータ自身にとっても、周囲の無人航空機や有人航空機の飛行状況を知る手段は目視以外ほぼない。

将来に向け、小型無人航空機の運行システムとして、米国NASAでUTM (Unmanned aircraft systems Traffic Management) の研究が始まっている。ここでは、管制官に相当する人間に代わってコンピュータが自動的に小型無人航空機の運行を管理しクラウド上に情報を集約することを提案している[6]。そのイメージを図2に示す。国内でも、昨年8月にJUTM (一般財団法人 日本無人機運行管理コンソーシアム) が発足し、小型無人航空機の飛行を制御通信に用いる周波数の利用調整と併せて管理するシステ

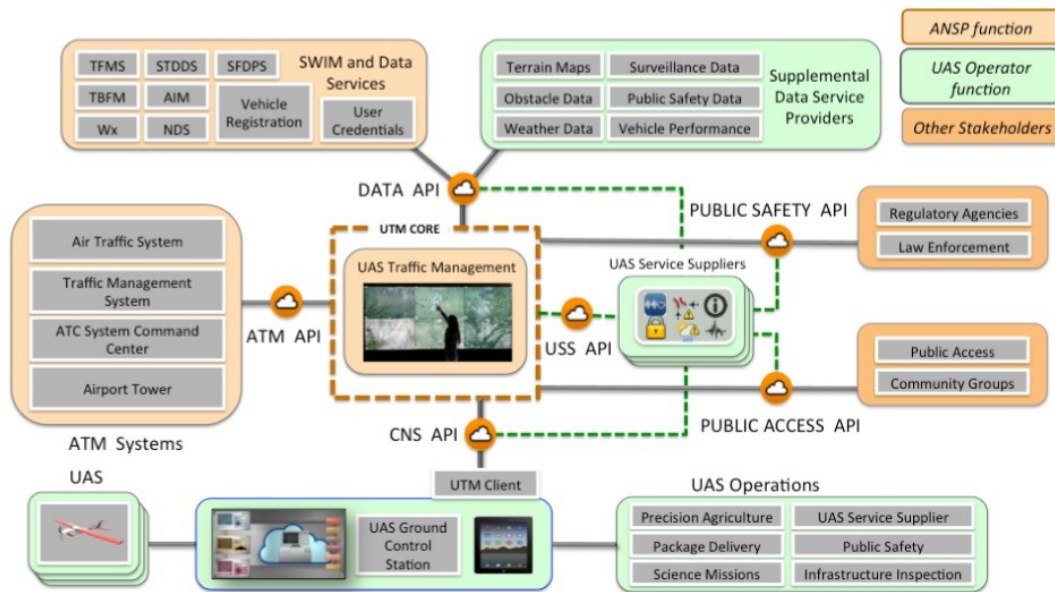


図 2. Kopadekar らによる UTM 構想 ([6]より)

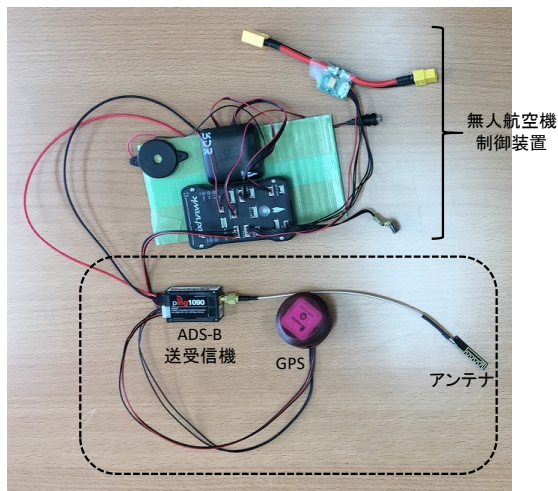
ムの検討が開始された[7][8]。また、世界各国で提案される新たな小型無人航空機向け運行管理システム同士を接続することを目的に GUTM(Global UTM)と呼ばれる団体も昨年設立された。

前述の無人機運行システムは、衝突につながるコンフリクトの発生率を下げることはできるが、数十秒後に迫る衝突危機を最終段階で回避する目的には適さない。有人航空における TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System : 空中衝突防止装置, ACAS ともいう) に相当するような、衝突危機にある 2 機が互いに通信を行い相手機の位置を推定し、さらにそれぞれの回避方向を自動で判断する、小型無人航空機向け衝突回避システムは様々な研究開発が行われている[9-11]。しかし、信頼性が確認され実用化された製品はまだない。そもそも、小型無人航空機は固定翼型、回転翼型 (ヘリ型, マルチコプタ型) と種類が多岐にわたり、機体の動態性能もそれぞれ異なる。そのため、例えば対向する 2 機が回避方向を自動で判断するような装置の開発は原理的に非常に難しいといえる。

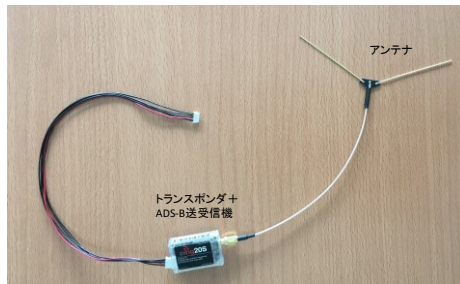
3 小型無人航空機向けトランスポンダ

小型無人航空機の業界においても、冒頭に述べた有人航空機とのニアミス事案は重要な課題として受け止められている[12]。その解決策のひとつとして、小型無人航空機に ATC トランスポンダや ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast : 放送型自動従属監視) を搭載することが提案されている。また、世界最大のマルチコプタの販売シェアを誇る DJI 社は、自社の新型産業用ドローン MATRICE 200 に ADS-B 受信機 (IN) を標準搭載することを発表している[13][14]。

有人航空機に通常使用される、ATC トランスポンダと ADS-B[15]はいずれも 1090 MHz のパルス位置変調波によって航空機から自機の識別符号等を発する。(ADS-B は 1090 MHz 拡張スキッタ以外に VDL モード 4 など他の周波数媒体でも実現されている) しかし ATC トランスポンダは、地上の SSR (Secondary Surveillance Radar : 二次監視レーダ) の質問信号に対する応答信号を主とし、その方位と遅延を用いて地上側から機体の位置を推定するのに対して、ADS-B は GPS (GNSS) による自機位置 (緯度経度など) を自ら放送する。ADS-B



(a) ADS-B In & Out (送受信機)



(b) ModeS トランスポンダ・ADS-B 複合機

図 3. 小型無人航空機用トランスポンダ

は ATC トランスポンダの付加機能の一つに位置付けられている。これらの装置の基本機能は管制官が参考とするレーダ画面を描くための情報を地上へ送信し、二次元的に或る空域に存在する航空機をすべて把握できるようにすることである。さらに、ATC トランスポンダを衝突防止装置へ拡張した機上装置が TCAS, ADS-B を同様に拡張したものは ACAS-X (無人航空機用は ACAS-Xu: ただし対象は大型無人航空機) と呼ばれ、現在実証段階にある[16-18]。

有人航空で最も一般的な ADS-B は送信機のみをもつ ADS-B OUT であり、機上で他機の ADS-B 信号を受信できる受信機 (IN) も持つ機体は比較的少なく、日本国内ではほぼ使われていないのが現状である。

表 1. 小型無人航空機用 ADS-B 送信機の仕様

製品 (メーカー)	Ping1090 (uAvionix)	Ping20s (uAvionix)	MXS (Sagetech)
Transponder	なし	あり Mode S	あり Mode S
ADS-B	送信	送信	送受信
寸法	25x39x12 mm ³	25x40x13 mm ³	84x64x16 mm ³
重量	20 g	15 g	150 g
受信	1090/978 MHz	1030MHz	1030MHz
送信	1090MHz	1090MHz	1090 MHz
出力	20 W	20 W	250 W

図 3 は、現在入手できる無人航空機向けの 1090MHz Mode S トランスポンダおよび ADS-B 送受信機 (IN & OUT) である。アンテナ, バッテリ, コネクタを除く本体のサイズはマッチ箱より一回り小さく (25 mm x 39 mm x 12 mm), 重量は 20 g である。表 1 に近年発売された, 無人航空機向け ADS-B 送信機を含む代表的な装置の仕様を転載する[19][20]。

また、ここで示した装置以外にも、主にグライダーやマイクロプレーン向けに開発された低出力トランスポンダとして米国では TABS (Traffic Awareness Beacon System) [21], 欧州では FLARM [22]などがある。また、国内では GPS で取得した自機位置を衛星電話回線経由で運航者へ伝える、小型航空機運航者向け動態監視装置 FOSTER-copilot [23]などがあり、これらを小型無人航空機へ応用する案も出されている。いずれの装置も、小型、バッテリー駆動が可能で、コックピットや地上にて周囲の機体の位置や自機からみた方位等が把握できる。

4 課題

前章にて、小型無人機業界が有人機とのニアミス対策、またさらに無人航空機同士の衝突を回避するねらいで ATC トランスポンダの搭載に注目していることを述べた。しかしながら、いずれの装置も送信機を含む場合には電波を發

する機器であることから、装置には電波法における無線局免許、運用者には無線従事者免許が必要となる。特に、海外で普及している FLARM, TABS 等は、信号周波数がそれぞれ 868 MHz, 1090/978 MHz と日本では既に他用途で使用されている帯域のため利用できる可能性が低い。

また、小型無人航空機コミュニティにおいては ADS-B の搭載によるニアミス問題解決への期待が非常に大きい。一方で、位置など無人機用の ADS-B 装置が放送する情報の信頼性、相手となる有人航空機（特に低高度を飛行する VFR 機：有視界飛行機）における ADS-B 搭載率の問題、電磁干渉問題、電波法における問題、識別符号の割当て方に関する問題、など超えるべき課題がいまだ多く存在する。小型無人航空機が ADS-B 受信機を搭載し周囲を飛行する航空機の情報を得るためには、周囲の航空機が ADS-B 送信機を搭載していることが前提になる。しかし、小型無人航空機と交錯する可能性のある有視界飛行を主とする小型航空機、とくにヘリコプタの ADS-B 送信機搭載率は極めて低い。既に 2020 年に ADS-B 送信機の搭載義務化を決定している米国でも、ヘリコプタの ADS-B 送信機と受信機の搭載率はそれぞれ 5%、2% である[24]。よって、小型無人航空機に ADS-B を搭載しても、現状ではセパレーション設定やコンフリクト回避、衝突回避の助けにならない。ADS-B はなりすましや受信データの信頼性の問題があり、それ単独で地上から航空機の位置を把握するシステムとしては成り立たない。また、特に機体の価格規模が小さいヘリコプタをはじめとする小型航空機オーナーにとっては ADS-B 搭載にかかる改修費の負担が大きく普及が進まない現状がある。さらに、表 1 に示した通り、従来の ATC トランスポンダ・ADS-B に比べ小電力とはいえ 20 W の出力がある装置を搭載した小型無人航空機が複数機、近接して飛行する環境において、信号伝搬環境の確認や、従来の有人航空が使用するシステムへの干渉の有無を確認する必要がある。

航空機同士の衝突を回避する監視装置は、有人機における ATM トランスポンダの搭載が義

務化されているように、同じ空域を飛行するすべての機体が同一の目的の装置を搭載しなければ効果がない。たとえば、レーダに映る機体（搭載機）と映らない機体（非搭載機）が同じ空域を飛行するならば、資金を投資し自機に装置を搭載しても安全が確保されないことになり、搭載への動機づけが起こらない。

5 おわりに

小型無人航空機とヘリコプタを中心とした有人航空機とのニアミス事案が発生していることに対して、本報告では、無人機側に ADS-B を搭載することへの期待が高まっていることを紹介し、それに対する課題を述べた。

ADS-B は、自発的に自機位置を放送し続けること、他の航空情報や気象情報を幅広く受け取れることなど、利点が多くある。よって、先進技術に敏感な小型無人航空機コミュニティがこれに注目したのは自然な流れといえる。しかしながら、現状では、小型無人航空機と飛行空域が近い小型有人航空機は、対応できる機器の搭載が進んでいないために、衝突回避・コンフリクト回避の効果はほとんど得られない。今後、機上の人の有無に関係なく、近い空域を飛行する航空機同士が同じ視点で監視機器の搭載について議論し、また共通の仕様を定めていくことが重要である。

謝辞

航空機の監視システムについて日ごろから議論の相手となって下さる同僚各位に感謝します。

参考文献

- [1] 熊田, “空の産業革命: 無人航空機(ドローン)時代の幕開け”, Petrotech: 石油学会情報誌, 石油学会, pp. 817-824, 2016.
- [2] 関口, “農業における無人ヘリコプター利用の状況”, vol. 66, no. 2, pp. 4-7, 農業機械学会誌, 2004.

- [3] 国土交通省, “無人航空機に係る改正航空法等の概要”,
<http://www.mlit.go.jp/common/001109793.pdf>
- [4] 国土交通省, “平成 28 年度 無人航空機に係る事故等の一覧”,
<http://www.mlit.go.jp/common/001180665.pdf>
- [5] FAA, UAS Sightings Report,
https://www.faa.gov/uas/resources/uas_sightings_report/
- [6] Parimal Kopardekar, et al., “Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) Concept of Operations”, 16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, 2016.
- [7] 総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 (第 28 回), “「ロボットにおける電波利用の高度化に関する技術的条件」について”,
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/idou/02kiban09_03000316.html
- [8] 国土交通省 航空機, 無人航空機相互間の完全確保と調和に向けた検討会 (第 3 回) 資料 1
<http://www.mlit.go.jp/common/001180830.pdf>
- [9] S. Ramasamy, et al., “A unified approach to separation assurance and collision avoidance for flight management systems”, 2016 IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference, Page. 1-8, 2016.
- [10] D. R. Maroney, et al., “Evaluating sensor technology for UAS collision avoidance”, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol. 24, Issue 4, pp. 36-43, 2009.
- [11] 国土交通省 航空機, 無人航空機相互間の完全確保と調和に向けた検討会 (第 3 回) フジ・インバック発表資料
<http://www.mlit.go.jp/common/001180830.pdf>
- [12] 国土交通省 航空機, 無人航空機相互間の完全確保と調和に向けた検討会 (第 1 回)
http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk01_000002.html
- [13] 国土交通省 航空機, 無人航空機相互間の完全確保と調和に向けた検討会 (第 2 回) 資料 1
http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk1_000051.html
- [14] DJI 社によるプレスリリース
<http://www.dji.com/newsroom/news/dji-introduces-m200-series-drones-built-for-enterprise-solutions>
- [15] 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 航空無線通信委員会 航空監視システム作業班 (第 2 回会合), 資料 10-S 作 2-5, “SSR モード S による ADS-B の技術概要”, 2007.
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/koukuu_musen/070614_1.html
- [16] G. Manfredi, et al., “An introduction to ACAS Xu and the challenges ahead”, 2016 IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference, Page. 1-9, 2016.
- [17] M. Kastelein, “Preliminary analysis of ADS-B performance for use in ACAS systems”, 2014 IEEE/AIAA 33rd Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2014.
- [18] T. L. Kilbourne, “ACAS-X safety analysis in the current RTCA environment”, 2015 Integrated Communication, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2015.
- [19] uAvionix 社 Website, “ping series”,
<http://www.uavionix.com/uas/>
- [20] Sagetech 社 Website, <https://sagetech.com/>
- [21] FAA, TSO-C199, 2014.
[http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rGTSO.nsf/0/1600df588a6f53ae86257d710070d105/\\$FILE/TSO-C199.pdf](http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rGTSO.nsf/0/1600df588a6f53ae86257d710070d105/$FILE/TSO-C199.pdf)
- [22] <https://flarm.com/technology/>
- [23] 内藤, “ドクターヘリの運航監視～GPS と衛星電話を利用した動態管理システム～”, 川田技報, vol. 35, 2016.
- [24] FAA, “Next GEN Equipage Levels”,
<https://www.faa.gov/nextgen/delivering/iaa/investments/levels/>