

2023年2月18日

ドローン技術の最新事情と 災害対策への活用

澤田雅之技術士事務所(電気電子部門)所長
元警察大学校警察情報通信研究センター所長

澤田 雅之

【 目 次 】

- I 災害対策における最先端の活用事例
- II 消防本部の災害対応ドローン
- III ドローンの仕組みと飛行させる方法
- IV 世界市場を席卷した中国DJI社のドローン～その優れた機能と性能
- V ドローンの飛行を規制する航空法
- VI “空の産業革命”のレベル3～無人地帯で補助者なしの目視外飛行
- VII “空の産業革命”のレベル4～第三者上空で補助者なしの目視外飛行
- VIII 「AIの目」で障害物を回避して飛行できるドローン

I

災害対策における最先端の活用事例 仙台市の津波避難広報ドローン

仙台市の津波避難広報ドローン

*** 2022年10月17日から本格運用開始 ***

【世界初となる2つの特徴】

- Jアラート(全国瞬時警報システム)による津波警報等を受けて、ドローン格納庫から2機のドローン(スピーカとカメラを搭載)が自動的に発進 → 予め設定された経路に沿って自律飛行しつつ、スピーカで避難広報を実施するとともに、カメラで撮影した現場映像を災害対策本部にリアルタイムに伝送 → ドローン格納庫に帰還して、自動的に着陸(その後、自動的に給電)
- 最大4km遠方まで飛行するドローンとの無線通信(ドローンの操縦、テレメトリ伝送、映像伝送)を確保するため、プライベートLTE基地局を設置してLTE専用通信網を構築



(出典は仙台市のHP)

ドローンの安全対策

- 気象状況に応じて自律的に飛行可否の判断を行う。
- 飛行中に異常が認められた場合には、自動でドローン格納庫への帰投や不時着等を行う。
- 着陸の際、規定以上の風速を観測した場合には、安全のためドローン格納庫周辺に緊急着陸する。

飛行ルート



(仙台市撮影航空写真より)

(出典は仙台市のHP)

仙台市の本格運用開始までの長い道程

- 2016年11月 第1回実証実験(避難広報用に高性能スピーカーを搭載した初めての飛行)
- 2018年 3月 第2回実証実験(Jアラートを契機とした自動発進、目視外による飛行)
- 2018年 8月 内閣府「未来技術社会実装事業」に採択
- 2019年 3月 第3回実証実験(複数機体による同時飛行)
- 2019年 8月 地方創生推進交付金対象事業に認定
- 2019年11月 第4回実証実験(機体の制御等に専用のLTE通信網を使用)
- 2020年 3月 「仙台市津波避難広報ドローン基本計画」の策定
- 2021年 3月 整備に係る業務委託契約を締結
 - 2021年 9月 専用のLTE通信網に係る基地局等の設置完了
 - 2021年10月 専用のLTE通信網構築に係る無線局免許を取得
 - 2021年11月 専用のLTE通信の電波発射開始
 - 2022年 9月 ドローン本体や格納基地局等を含めた、全ての機器等の設置完了
- 2022年10月 整備完了・本格運用開始

【参考】

ドローン高精細映像のローカル5G伝送による 災害初動対応の迅速化を目指す実証事業

総務省の「令和4年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」に、2022年12月に採択された事業 → 愛媛県と7社によるコンソーシアムが、2023年1月から3月まで、愛媛県大洲市の河川敷(2018年7月の豪雨災害現場)で実証事業を実施

具体的には、

災害発生を仮定して、災害現場最寄りの愛媛県分庁舎にローカル5G臨時基地局を設置し、災害現場一帯をローカル5Gのサービスエリアとする。 → ドローンで撮影した災害現場映像をローカル5Gで災害対策本部までリアルタイム伝送して、災害対策本部で3Dモデル解析を行うなど、災害対策初動判断材料に活用することにより初動対応の迅速化を図る。

これまでの問題点が解決

これまでのキャリア4G・LTEによる災害現場映像伝送では、山間部等の被災地がサービスエリア外となる恐れや、4G・LTEの帯域制限により高精細映像のリアルタイム伝送に支障を来す恐れが払拭できなかった。

Ⅱ

消防本部の災害対応ドローン

Ⅱ章の出典は、令和4年3月31日に総務省消防庁が通知した、「消防本部における災害対応ドローンの更なる活用推進について」

災害対応ドローンの整備目的

**** ドローンの俯瞰的視点で捉えた災害現場映像は非常に有用 ****

災害発生現場における俯瞰的視点からのリアルタイムな映像は、被害状況の把握による効果的な部隊運用につながり、被害の軽減に非常に効果的  これまでは、災害現場のリアルタイムな映像伝送の主役は、ヘリテレを搭載した消防防災ヘリコプター  しかし、消防防災ヘリコプターは、視界が悪い場合には飛行できないなど、常に臨機応変に対応できるものではない。

そこで、

動画撮影機能と防水性能等級3(防雨型)以上を備えた災害対応ドローンを、各消防本部に複数機整備することを目指す。  これまでの消防防災ヘリコプターに加えて、災害現場のリアルタイムな映像伝送により、被災状況の把握等の迅速化や効果的な部隊運用に資することが目的  2021年7月に発生した熱海市土石流災害において、災害対応ドローンの有効性が改めて確認された。

整備と活用の状況 

次のページへ

前のページから

整備と活用の状況



【災害対応ドローンを活用する消防本部数】

災害対応ドローンを活用する消防本部数は年々増加しており、2021年6月1日現在では、724本部中の383本部(全体の52.9%)で活用されている。

【災害対応ドローンを活用した累計件数】

実際の災害現場で災害対応ドローンを活用した実績のある288本部における災害種別ごとの累計活用件数は、2021年6月1日現在では次のとおりである。

○ 火災(建物・山林等)	702件
○ 火災原因調査	1,896件
○ 自然災害(風水害、地震)	200件
○ 救助・捜索(山岳・水難事故)	861件
○ その他	392件
合計	4,051件

災害対応ドローンの機能



次のページへ

前のページから

災害対応ドローンの機能



【災害対応ドローンに必須の機能】

- ドローンの機体及び搭載するカメラは防水性能等級3(防雨型)以上を備えること
- 動画撮影が可能なカメラを搭載し、撮影した動画を現場活動で有効に活用できること

【災害対応ドローンに求められる機能】

- 熱画像撮影機能、暗所撮影機能、高倍率ズーム機能
- ドローンが撮影した画像や映像をリアルタイムに伝送する機能
- プログラムによる自律航行機能
- 物件の搬送、投下機能

飛行の安全確保に必要な機能



【「AIの目」で障害物を回避しつつ飛行できる機能】

災害現場で人体か否かを映像で確認するためには、災害対応ドローンを地上数十m程度まで降下させる必要があるが、**電線、高木、煙突等に接触しないように操縦者が注意しつつ飛行させなければならない。**  このため、Ⅷ章で説明する【「AIの目」で障害物を回避しつつ飛行できる機能】が、災害対応ドローンの飛行の安全確保に必要な機能となる。

Ⅲ

ドローンの仕組みと飛行させる方法

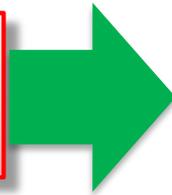
ドローンが飛行する仕組み

* 機体の向き・傾き・動き・周囲監視 *

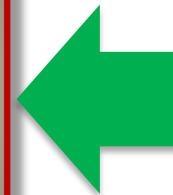
地磁気・ジャイロ・加速度・イメージ等のセンサー



操縦信号



フライト
コントローラ



* 現在位置 *

GPS

* 目的地 *



各ローターの回転数を制御して飛行

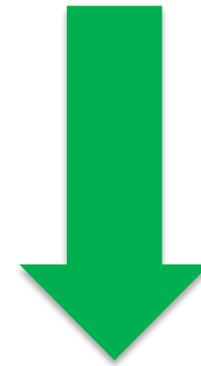
GPS・各種センサーとフライトコントローラが ドローンの高度な飛行性能を実現



従来型の無線操縦へリ
と決定的に異なる点！



Matrice 300 RTK
(出典：中国DJI社のHP)



安定したホバリング

障害物探知回避機能

フェイルセーフ機能

安定したホバリング

【従来型の無線操縦ヘリのホバリング】

空中の一点に留まるには、風に流されないよう、無線操縦用スティックから指を離さず、操縦し続ける必要 → さもなければ確実に墜落

→ **運転支援機能の無い自動車と同じ！**

【ドローンのホバリング】

無線操縦用スティックから指を離れた途端に、フライトコントローラの働きにより、風に流されることなく空中の一点に留まり続ける。 → ドローンのフライトコントローラが自動的に操縦支援

→ **運転支援機能付きの自動車と同じ！**

障害物探知回避機能

各種のセンサー情報をフライトコントローラが一元的に処理して、
高度な障害物探知回避機能を実現



Inspire 2 : 機体重量約3.5kg、最高速度94km/h (出典 : 中国DJI社のHP)

フェイルセーフ機能

飛行の継続に支障を来す不具合（操縦用電波の受信不能やバッテリーの消耗など）が生じた場合には、**フライトコントローラに設定されたフェイルセーフモードを自動的に実行**

障害物探知回避機能を  有するドローンでは、

発進地点に自動的に帰還するモードが一般的

他には、ホバリングして空中の一点に留まるモードや、徐々に下降して着陸するモードなど

ドローンの操縦は難しくない。(1/2)



ソニー Airpeak S1の無線操縦装置
(出典: ソニーのHP)

右スティックを上倒す → 前進

右スティックを下倒す → 後退

右スティックを左倒す → 左に進行

右スティックを右倒す → 右に進行

左スティックを上倒す → 上昇

左スティックを下倒す → 下降

左スティックを左倒す → 左に回転

左スティックを右倒す → 右に回転

ドローンの操縦（前進と後退）

DJI Matrice 200



前進する時は、前方のローターの回転数が減少して、後方のローターの回転数が増加

【前進】

右スティックを上に倒せば、前方のローターの回転数が減少して後方のローターの回転数が増加することにより、ドローンは前のめりになって水平に前進

【後退】

右スティックを下に倒せば、前方のローターの回転数が増加して後方のローターの回転数が減少することにより、ドローンは後部を下げて水平に後退

ドローンの操縦(左右への進行)

DJI Matrice 200



左に進む時は、左側のローターの回転数が減少して、右側のローターの回転数が増加

【左への進行】

右スティックを左に倒せば、左側のローターの回転数が減少して右側のローターの回転数が増加するため、ドローンは右側を上げて左方向に水平に進行

【右への進行】

右スティックを右に倒せば、右側のローターの回転数が減少して左側のローターの回転数が増加するため、ドローンは左側を上げて右方向に水平に進行

ドローンの操縦(上昇と下降)

DJI Matrice 200



上昇する時は、全てのローターの回転数が増加

【上昇】

左スティックを上に倒せば、全てのローターの回転数が増加するため、ドローンは垂直に上昇

【下降】

左スティックを下に倒せば、全てのローターの回転数が減少するため、ドローンは垂直に下降

ドローンの操縦(機首の左右への回転)

DJI Matrice 200



機首を左に回転する時は、左に回転するローターを減速して、右に回転するローターを加速

【左に回転】

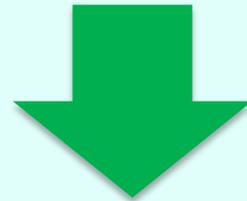
左スティックを左に倒せば、左に回転するローターを減速し、右に回転するローターを加速するので、その反力によりドローンの機首は左に回転

【右に回転】

左スティックを右に倒せば、右に回転するローターを減速し、左に回転するローターを加速するので、その反力によりドローンの機首は右に回転

1 直視による無線操縦

従来型の無線操縦ヘリコプターや無線操縦飛行機と同様に、操縦者がドローンの飛行状況を直視し、無線操縦装置でドローンを遠隔操作して飛行させる方法



直視によりドローンを無線操縦するには、ドローンの機首の向きを操縦者が見分けられる必要

➡ 直視による無線操縦の限界距離は、数百m程度

2 FPVによる無線操縦

ドローンのFPV(First Person View)とは、ドローン搭載のビデオカメラが撮影したライブ映像のこと → FPVによる無線操縦とは、ドローンから無線伝送されるライブ映像を操縦者が見ながら(ドローンに搭乗しているかのようなパイロットの視点で)、無線操縦装置でドローンを遠隔操作して飛行させる方法

これには、

ドローンと操縦者との間に電波を遮る建物等が無い見通し状態であって、ドローンからのライブ映像伝送用電波が操縦者まで届くことと、操縦者からの操縦用電波がドローンまで届くことが必要 → ISMバンド(2.4GHz)を使用した場合には、都心部では見通し状態であっても1kmも届かない。

しかし、
これからは、

5Gをドローンの操縦・テレメトリ伝送・映像伝送に使用すれば、都心部の見通し外であっても、遠隔地からのFPVによる無線操縦が可能となる。

3 GPSによる自律航行

** GPSによるナビゲーション **

ドローンは、GPS衛星から送信される測位信号に基づき、現在の位置(緯度、経度、高度)を瞬時に判別 ➡ ドローンのフライトコントローラが、設定された経路をたどって目的地までドローンを自動的に誘導 ➡ GPSの測位誤差は10m程度。
GLONASS衛星(ロシア)等からの測位信号の併用により、ドローンは測位誤差を1~2m程度に抑制

** “みちびき”が測位誤差を大幅に低減 **



準天頂衛星システム“みちびき”が本格運用開始(2018年11月) ➡ “みちびき”が送信する「cm級測位補強信号」を使用すれば、GPS測位誤差はm単位からcm単位に激減

テレメトリによる飛行状態の把握

テレメトリとは、ドローンの現在位置・飛行方向・飛行速度、バッテリーの残量、操縦用電波・GPS測位信号用電波の受信強度など、

ドローンの飛行状態に関する情報



「FPVによる無線操縦」や「GPSによる自律航行」に基づき、操縦者から直視できない遠方まで飛行できるドローンは、その飛行中、操縦者の無線操縦装置にテレメトリを無線伝送し続ける。

IV

世界市場を席巻した中国DJI社のドローン
その優れた機能と性能

中国DJI社製ドローンの機能と性能

**** DJI社製ドローンが有する
“2つの技術的な優位性” ****



- 1 卓越したドローン無線技術**
- 2 他に類を見ない障害物探知回避機能**



**** 我が国を含め世界の民生用ドローン市場を席卷 ****

1

中国DJI社製ドローンの 卓越したドローン無線技術

ISMバンド(2,400~2,483.5MHz)における無線局免許や無線従事者資格を要しない低出力(10mW/MHz)

(注) ISMバンド(Industrial, Scientific and Medical Band)とは、高周波電磁エネルギーを無線通信以外の産業・科学・医療の目的に使用するために、国際電気通信連合によって決められた周波数帯であり、Wi-FiやBluetooth等にも利用されている。

抜群の性能



操縦・テレメトリ伝送・HDライブ映像伝送のいずれの信号も、干渉が無い見通し状態であれば、120~130msの低遅延で、5~8km程の長距離伝送が可能



都市部ではWi-Fi等と干渉するため、見通し状態であっても届く距離は1kmに満たなくなる。

2

中国DJI社製ドローンの 他に類を見ない障害物探知回避機能

ドローンの前後・左右・上下に、ステレオビデオカメラ・赤外線・超音波等のセンサーを備え、**フライトコントローラで一元的にデータ処理して各ローターの回転数を調整**することにより、障害物探知回避機能を実現

具体的には、



【自動帰還中】

進行方向前方にある高木や建物等の障害物を数十m手前で探知して急停止し、障害物の高さを超えるまで上昇した後に自動帰還を再開する。

【自動着陸時】

着陸しようとする場所が着陸に適するか否かを、フライトコントローラがセンサーデータに基づき判断して、適する場合には自動的に着陸する。



適さない場合にはホバリング状態となり、操縦者の判断を待つ。

V

ドローンの飛行を規制する航空法

法規制の発端は、首相官邸ドローン落下事件

2015年4月9日午前3時半頃、機体を黒塗りした対角径約40cmの小型ドローン(DJI社のPhantom2)が、FPVにより赤坂方面から首相官邸敷地内に飛来して、官邸屋上に落下。

➡ 外周警戒中の警視庁機動隊員は、ドローンの飛来に誰も気付かなかった。

➡ 4月22日の午前10時半頃、官邸職員により発見された。



出典：首相官邸のHP

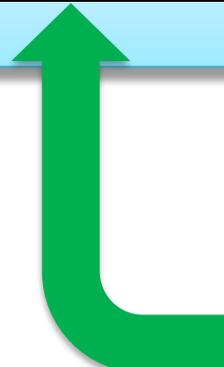


出典：YAHOO! 地図

2015年の航空法の改正



無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行を規制



模型航空機(ドローン・ラジコン機等)は、
規制の対象外

【 模型航空機とは？ 】

取り外し可能なアタッチメントを除き、機体本体とバッテリーを合わせた機体重量が200g未満のドローン等



2022年6月20日から、機体重量が100g未満に規制が強化された。



Mavic Mini(機体重量199g)
(出典：中国DJI社のHP)

2015年の航空法の改正による 無人航空機の飛行に関する規制 (1/3)

***** 飛行の禁止空域 *****

- ・空港の周辺
- ・地上から150m以上の上空
- ・人家の密集地域

飛行禁止空域で飛行させたい場合は、国土交通大臣の許可が必要

【緊急用務空域】

消防、救助、警察業務その他の緊急用務を行うための航空機の飛行の安全を確保する必要があるものとして、国土交通大臣が指定しインターネット等で公示する空域

2021年の航空法施行規則の改正による追加（許可の対象外）

2015年の航空法の改正による 無人航空機の飛行に関する規制 (2/3)

* * * * 飛行の方法 * * * *

- ・日中に飛行させること
- ・目視の範囲内で飛行させること
- ・他の人や物から30m以上離して飛行させること
- ・催し場所では飛行させないこと
- ・危険物を輸送しないこと
- ・物を投下しないこと

これらの方法によらずに飛行させたい場合は、国土交通大臣の承認が必要

FPV等による目視外飛行は、事故・災害への対応を目的とする飛行でなければ承認は得られなかった。

- ・飲酒時の飛行禁止
- ・飛行前確認の実施
- ・他の航空機等との衝突を予防
- ・危険な飛行禁止

2019年の航空法の改正による追加(承認の対象外)

2015年の航空法の改正による 無人航空機の飛行に関する規制 (3/3)

*** 検索・救助のための特例 ***

無人航空機の飛行に関する規制(飛行の禁止空域についての規制と飛行の方法についての規制)は、都道府県警察その他の国土交通省令(航空法施行規則)で定める者(国若しくは地方公共団体又はこれらの者の依頼により検索若しくは救助を行う者)が無人航空機の事故その他の事故に際し検索、救助その他の緊急性があるものとして国土交通省令(航空法施行規則)で定める目的(検索又は救助)のために行う無人航空機の飛行については、適用しない。

つまり、



都道府県警察、国、地方公共団体又はこれらの者の依頼を受けた者が、検索又は救助のために行う無人航空機の飛行については、飛行の禁止空域についての規制と飛行の方法についての規制は適用されない。

空の産業革命のロードマップ

2017年から毎年  作成し公表

* 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会 *

【ドローンの利活用の4段階】

レベル1 : 操縦による目視内飛行

レベル2 : 自動・自律による目視内飛行

レベル3 : 無人地帯(山、海水域、河川、森林等)での補助者なし目視外飛行

【2018年9月～】  離島や山間部への荷物配送等が主目的

レベル4 : 有人地帯(都市等の第三者上空)での補助者なし目視外飛行

【2022年12月～】  都市部の物流、警備等が主目的

『無人航空機の飛行に関する許可・承認の 審査要領』の改正（2018年9月14日）

＊ ＊ 無人地帯での補助者なし目視外飛行の実現 ＊ ＊
～ “空の産業革命” のレベル3 ～

補助者
の役割

- ・ 第三者の立入管理
- ・ 有人機等の監視
- ・ 自機の監視
- ・ 自機周辺の気象状況の監視

補助者を ↓ 代替するには

- ・ ドローンの周辺を監視するカメラ・センサー機能の充実強化
- ・ “みちびき”による高精度衛星測位
- ・ 5Gによる操縦・テレメトリ伝送・ライブ映像伝送

2020年の航空法の改正

* 無人航空機の登録制度の創設 *



【 無人航空機の登録制度とは？ 】

機体重量が100g以上の無人航空機は、国土交通大臣が定める「無人航空機登録原簿」に、機体の種類・製造者・型式等および所有者・使用者の氏名・住所等に関する情報を登録(有効期間は3年、つまり、3年ごとの更新登録が必要)して、通知された「登録記号」を当該機体に表示しなければ飛行させることができなくなった。

➡ 登録せずに飛行させた場合には、1年以下の懲役又は50万円以下の罰金



【 2022年6月20日、無人航空機の登録制度が運用開始 】

2022年6月20日以降に登録する機体には、リモートIDの搭載が義務付けられた。リモートIDとは、【登録原簿に登録した情報】+【GPS測位による位置情報】+【時刻情報】を、WiFiやBluetoothにより、1秒間隔で無線送信し続ける仕組みである。 ➡ 経過措置として、2021年12月20日から2022年6月19日までの、無人航空機の事前登録期間内に登録した機体については、リモートIDの搭載が免除された。 ➡ 今後3年間は、リモートIDの搭載機と未搭載機が混在する。

2021年の航空法の改正（無人航空機関連その1）

＊ ＊ 無人航空機のレベル4実現に向けた制度整備 ＊ ＊

【 無人航空機の機体認証制度の創設 】

- 国土交通大臣は、第一種機体認証と第二種機体認証の区分を設けて、国土交通省の「無人航空機の型式認証等における安全基準及び均一性基準に対する検査要領」に基づき検査し、合格した機体に機体認証を行う。
- 国土交通大臣は、第一種型式認証と第二種型式認証の区分を設けて、国土交通省の「無人航空機の型式認証等における安全基準及び均一性基準に対する検査要領」に基づき検査し、合格した機種に型式認証を行う。

【 無人航空機操縦者技能証明制度の創設 】

国土交通大臣は、一等無人航空機操縦士と二等無人航空機操縦士の資格区分を設けて、試験（身体検査、学科試験、実地試験：16歳未満は受験できない。）の合格者に技能証明を行う。



技能証明の有効期間は3年で、無人航空機更新講習の受講修了により更新できる。



有人地帯での補助者なし目視外飛行（レベル4）は、一等無人航空機操縦士の資格保有者が第一種機体認証（第一種型式認証）を受けた機体を飛行させる場合に、国土交通大臣の許可・承認（運行管理方法の確認等）を受けた上で可能となる。

＊ ＊ ＊ いずれも 2022年12月5日に制度運用開始 ＊ ＊ ＊

2021年の航空法の改正（無人航空機関連その2）

*** 無人航空機の許可・承認の合理化・簡略化 ***



これまで国土交通大臣の許可・承認を必要としていた飛行は、技能証明を有する者が機体認証（型式認証）を受けた機体を飛行させ、飛行経路下の第三者の立入りを管理する措置の実施等の運行ルールに従う場合には、原則として、国土交通大臣の許可・承認は不要とする。

無人航空機を飛行させる者に対し、事故（人の死傷、物件の損壊、航空機との衝突・接触等）発生時の国への報告を義務付ける。  運輸安全委員会が調査対象とする航空機事故に無人航空機に係る事故のうち重大なものを追加（2021年の運輸安全委員会設置法の改正）



*** いずれも 2022年12月5日に制度運用開始 ***

レベル4の実現に向けた制度整備



- 無人航空機の登録制度の創設(2020年改正航空法)
- 無人航空機の機体認証制度の創設(2021年改正航空法)
- 無人航空機操縦者技能証明制度の創設(2021年改正航空法)
- 飛行空域管理などを担う「運行管理システム」の構築

加えて、



有人地帯を目視外飛行するドローンの墜落や衝突などの危険を、「人」が察知して回避することは困難 → 「人」に危害を及ぼさないよう、ドローン側に墜落や衝突などを防止する堅固な安全確保策が必須 → ソフトウェアで自律航行中のドローンが「人」を死傷させた場合、「業務上過失致死傷罪」の責を負うのは、一等無人航空機操縦士？ それとも型式認証を受けた業者？ → 車の「自動運行装置」の保安基準の如くに、“有人地帯をソフトウェアで目視外自律航行するドローン”については保安基準が必要

VI

“空の産業革命”のレベル3

無人地帯で補助者なしの目視外飛行

～ 2018年9月に解禁 ～

“空の産業革命”の レベル3

主目的は、



山、海水域、河川、森林等の無人地帯を、ドローンが補助者なしで飛行して、離島や山間部に荷物配送等を日常的に行うこと

これには、



【“FPVによる無線操縦”による飛行の場合】

ドローンと操縦者との間で、操縦・テレメトリ・ライブ映像の無線伝送機能が常に働いていなければならない。

【“GPSによる自律航行”による飛行の場合】

自律航行中のドローンに不具合が発生した際に、操縦者は操縦介入して、ドローンを安全に着陸させなければならない。これには、自律航行中のドローンと操縦者との間で、操縦とテレメトリの無線伝送機能が常に働いている必要がある。

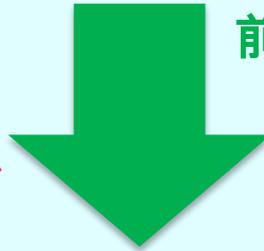
ところが、



次のページへ

前のページから

ところが、



中国DJI社製ドローンの卓越したドローン無線技術でも、5～8kmを超える無線伝送能力は備えておらず、また、山影等でドローンが操縦者から見通せなくなった途端に無線伝送は途絶する。



これでは、レベル3を広く日常的に展開するのは極めて困難！

このため、



5Gを無線通信手段とするドローンが、レベル3を広く日常的に展開する上で必須！

ドローンの無線通信における問題点

*** 我が国で主に利用されるのは、2.4GHz帯のISMバンド ***

2つの大きな問題点

1 見通し外では通信が途絶

見通し外、つまり、ビルや山などに遮蔽されて操縦者からドローンを見通せなくなった途端に、無線操縦装置とドローンとの間の無線通信は途絶する。

➡ 無人移動体画像伝送システム専用バンドを用いてもこの問題は解決されない。

2 見通し内でも長距離の通信が困難

見通し内、つまり、操縦者からドローンを見通せる場合であっても、長距離の通信は困難であり、電氣的な雑音が殆ど無い田園地帯での通信可能距離は数km程度、電氣的な雑音が多い都市部での通信可能距離は1kmに満たない。

➡ 無人移動体画像伝送システム専用バンドを用いれば、都市部での電氣的な雑音の影響を受けなくなるが、それでも通信可能距離は5km程度である。

抜本的な解決策は、

携帯電話を、ドローンの無線通信に利用すること

携帯電話の上空利用の動向

＊ ＊ ドローンでの携帯電話の活用を阻んだ要因 ＊ ＊

1 携帯電話は「陸上移動局」

携帯電話は、無線局としての種別が、「陸上を移動中又はその特定しない地点に停止中運用する無線局」として規定される「陸上移動局」  携帯電話が「陸上移動局」のままでは、ドローンに搭載して上空で利用することは禁じられていた。

2 地上の携帯電話網を妨害する恐れ

携帯電話をドローンで利用した場合には、上空の携帯電話からの電波が広範囲に届く。
 近傍のエリアで運用中の携帯電話網（特に、同じ周波数を繰り返し使用している他の地上基地局）に妨害などの悪影響を及ぼす恐れがあった。

しかし、

これからの“空の産業革命”で長距離物流などを担うドローンは、サービスエリアが広く、高速・大容量のデータ伝送が可能な携帯電話を利用することが欠かせない。

そこで、 次のページへ

前のページから

そこで、



【 2016年7月、携帯電話の上空利用に向けた「実用化試験局制度」が開始 】

他の地上基地局への干渉（妨害などの悪影響）を避けるために、ドローンの飛行エリアや飛行台数などを制限して監理する「試験計画」を作成し、総務省での審査を経た上で、「**実用化試験局**」の免許（有効期間は2年、免許人は携帯電話事業者）を受けた通信モジュールをドローンの無線通信（操縦、テレメトリ伝送、映像伝送）に用いることにより、携帯電話の上空利用に向けた試験的な運用が可能となった。



ドローン搭載用4G通信モジュール
（出典：NTTドコモのHP）

その結果、



「実用化試験局制度」により、離島や山間部などへのドローンによる長距離荷物輸送の試験運用が全国各地で実施されるようになった。

そして、



次のページへ

そして、 前のページから

【 2018年6月、携帯電話の上空利用に向けた「国際的な標準仕様」が策定 】

ドローン搭載の携帯電話からの電波が他の地上基地局へ干渉する問題を解決するため、 3GPP (Third Generation Partnership Project : 携帯電話の国際的な標準仕様を策定するプロジェクト) が、ドローンに搭載した通信モジュールごとに送信電力を抑える仕組みを、標準仕様「3GPP Release 15」において規定

これを受けて、

【 2020年12月、「携帯電話の上空利用を拡大する制度」が整備 】

ドローン搭載の携帯電話からの電波が他の地上基地局等へ干渉しないよう、上空での送信電力制御や、上空で利用する周波数帯の限定などを条件として本制度が整備された。

これを受けて、

【 2021年7月、NTTドコモは、ドローン向け「LTE 上空利用プラン」の提供を開始 】

月額49,800円(税込)で月間データ容量120GBまでのLTE通信を、本プラン対応のSIMカード装着ドローンで利用可能。同一の空域・時間でのLTE上空利用が集中しないよう、本プラン契約者専用の「LTE上空利用予約サイト」で利用日時、高度などを事前予約する。

5Gを無線通信手段とするドローン

*** 5Gをドローンで用いる3つのメリット ***



1

4Gと比べて桁違いとなる高速大容量・低遅延・多接続が期待される5G

➡ ドローンと操縦者との間の操縦・テレメトリ・ライブ映像の無線伝送手段として最適

2

中国DJI社の卓越した「ドローン無線技術」でも克服できない「無線伝送距離が限られる問題」と「山影やビル影で無線伝送が途絶する問題」が、5Gではいずれも解決

3

ドローン・飛行管理センター・操縦者等の間でのリアルタイムな情報共有が5Gでは可能 ➡ “空の産業革命”を支える“コネクテッド・ドローン”が、5Gで実現

VII

“空の産業革命”のレベル4
有人地帯で補助者なしの目視外飛行

～ 2022年12月に解禁 ～

“空の産業革命”の レベル4

主目的は、



有人地帯(つまり、第三者の上空)を、ドローンが補助者なしで飛行して、都市部における物流や警備などを日常的に行うこと

レベル3と 比較すれば、



【レベル3】

無人地帯が前提であるため、ドローンの墜落事故が発生した場合でも、第三者に危害を及ぼす恐れはほとんど無い。

【レベル4】

ドローンの墜落事故は、第三者への危害に直結しかねない。

つまり、



次のページへ

前のページから

つまり、



レベル3とレベル4では、ドローンの飛行の安全性に関して、全くの別次元

- ➡ レベル4では、ドローン自体が周囲のリスク要因(近傍を飛び交って衝突の恐れがある他のドローン等)をリアルタイムに掌握し、危険が迫った場合には自律的に回避するなどの高度な能力が、ドローンには不可欠

レベル4を広く日常的  に展開していくには、

自動運転車と同様に、3次元センサーによる「高度な目」とAIによる「高度な頭脳」を併せ持った“空飛ぶロボット”に、ドローンを進化させていく必要

- ➡ 中国DJI社製ドローンが備える「他に類を見ない障害物探知回避機能」では、全く不十分

“空飛ぶロボット”への進化

“空の産業革命”のレベル4では、都市の物流を担う「空の大動脈」を形成

➡ この場合に、補助者なしの「無線操縦による目視外飛行」では、衝突と墜落の危険を払拭することが困難



出典：Wikipedia「都市的地域」

そこで、 ドローンは、

“無線による操り人形”から
“自律型の空飛ぶロボット”に進化

つまり、

“みちびき”の高精度衛星測位が産み出す仮想的な「空のハイウェイ」上を、「飛行管理センター」から速度等の指示を受けて、「AIの目」で危険を予測・回避しながら、ドローンは自律航行

VIII

「AIの目」で
障害物を回避して飛行できるドローン

「AIの目」で危険を予測・回避できるドローン

有人地帯でのドローンの墜落事故は、重大な人身事故に繋がりがねない。

そこで、



建物や木立、送電線などの静止物体への衝突を自律的に予測・回避する機能に加えて、前方を飛行中の航空機などの移動物体への衝突を自律的に予測・回避する機能が、ドローンに必要となる。

つまり、



【「AIの目」で危険を予測・回避して飛行できるドローンが必要】

このようなドローンは、レベル4の自動運転車と同様に、AI(ディープラーニング)を用いてニューラルネットワークの中に暗示的にアルゴリズムを生成する手法が必要不可欠

- ➡ 米国のSkydio社では、建物や木立、送電線などの静止物体への衝突を自律的に予測・回避して飛行できるドローンを既に実用化
- ➡ 米国のAmazon社では、建物や木立、送電線などの静止物体や、前方を飛行中の航空機などの移動物体への衝突を自律的に予測・回避して飛行できるドローンを既に実用化

「AIの目」で危険を予測・回避できるドローン(米国Skydio社)

**** 静止物に対する画期的な障害物回避飛行が実現 ****



Skydio 2 (出典：米国Skydio社のHP)

【機体重量800g弱の小型ドローン】

機体の上面と下面に3個ずつ計6個搭載したナビゲーション専用4Kカメラに基づくVisual-SLAMにより、機体の360度全方位の三次元空間状況を把握し、障害物を回避する飛行ルートをリアルタイムに算出して、最高速度58km/hで飛行



参考【これまでの障害物探知回避方法】

ドローンの前後・左右・上下に、ステレオビデオカメラ・赤外線・超音波等のセンサーを備え、進行方向前方にある高木や建物等の障害物を数十m手前で探知して急停止し、障害物の高さを超えるまで上昇した後に進行を再開する。

「AIの目」で危険を予測・回避できるドローン(米国Skydio社)

**** 静止物に対する画期的な障害物回避飛行が実現 ****



Skydio 2 (出典：米国Skydio社のHP)

【機体重量800g弱の小型ドローン】

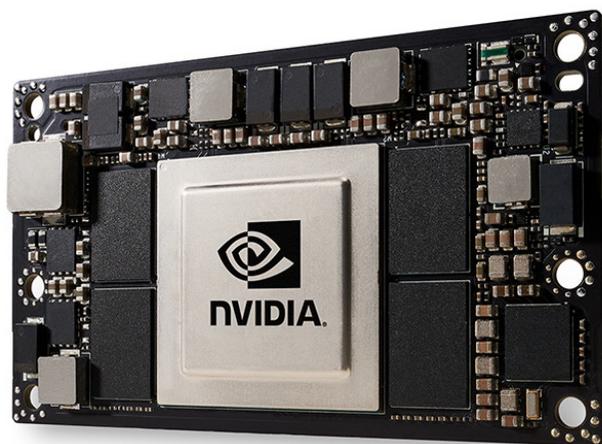
機体の上面と下面に3個ずつ計6個搭載したナビゲーション専用4Kカメラに基づくVisual-SLAMにより、機体の360度全方位の三次元空間状況を把握し、障害物を回避する飛行ルートをリアルタイムに算出して、最高速度58km/hで飛行

【キーテクノロジーはAI(ディープラーニング)】

ドローン前面の撮影用4Kカメラを用いて、その映像の中から追尾対象(人や自動車)を識別して、森の中を疾走する対象であっても、Visual-SLAMにより木立との衝突を避けつつ、対象を見失わないように追尾撮影できる。 ← **全て、ディープラーニングの手法で実現している。具体的には、ドローンに搭載した組み込みAIコンピュータ上で、9つのディープニューラルネットワークを同時に稼働させている。**

Skydio社のドローンに搭載された組み込みAIコンピュータ

*** GPUで複数のディープニューラルネットワークを高速処理 ***



NVIDIA Jetson TX2 (出典：米国NVIDIA社のHP)

【Skydio 2に搭載された組み込みAIコンピュータ】

- ・ AIプラットフォームとして必要なGPU、CPU、メモリ、入出力インターフェースなどで構成
- ・ 256個の演算器(コア)を持つGPUを搭載
 - ※ GPUとはGraphics Processing Unitの略称
- ・ サイズは50mm × 87mm(クレジットカード大)
- ・ 消費電力は7.5W

ディープニューラルネットワーク(DNN)とは、人の頭脳での神経回路網の仕組みと働きを、コンピュータ上で数学的に模したものであり、人のニューロン(神経細胞)に相当する多数のノードが、人のシナプス(神経細胞間を結ぶ接合部)に相当する信号回路でネットワーク化されている。このため、コンピュータ上でDNNを働かせるには、**多数のノードの各々における信号の入出力について、大規模な行列の積和演算を行う必要がある**。このような演算では、多くの演算器(コア)を用いて一斉に並列処理した方が効率的であり高速化できるため、演算器(コア)が多くても数個のCPU(Central Processing Unit)よりも、**演算器(コア)が数百個から数千個に及ぶGPUの方が断然に適している**。

【参考】

Skydio社のドローンを専用ドローンポート(Skydio Dock)と組み合わせて完全遠隔運用



Skydio X2とSkydio Dock
(出典：米国Skydio社のHP)

「AIの目」で障害物回避飛行ができるSkydio社のドローンは、リモートオペレーションソフトウェアを搭載したドローンポート(Skydio Dock)と組み合わせることにより、遠隔にいる1人のオペレータによる運行、もしくは、**予め計画された自律飛行による完全自動運行**が可能

その効果は、



工事現場での進捗状況の把握、倉庫内の巡回点検、セキュリティ境界の監視、**自然災害発生後のインフラ点検**などで、ドローンの運行負担を大幅に**減少**できる。

「AIの目」で危険を予測・回避できるドローン(米国Amazon社)

** Sense and Avoid Systemを搭載した完全自律型ドローン **



Mk27-2 (出典：米国Amazon社のブログ)

【機体重量36kgの大型ドローン】

カメラ映像に基づくSense and Avoid Systemを搭載して、静止物体や移動物体を判別して自動的に回避することができる。

Amazon Prime Airで利用

【 Amazon Prime Air 】

目視による監視者を必要としない完全自律型ドローンによる商品配送サービス

商品配送方法は、

次のページへ

前のページから

商品配送方法は、



【 Sense and Avoid Systemを搭載した完全自律型ドローンによる商品配送方法 】

- 1 「グラウンドステーション」が飛行経路と配送先の地点を指定
- 2 配送先までの自律航行中は、Sense and Avoid Systemを用いて、煙突などの静止物体や航空機などの移動物体を検知して、衝突しないように飛行経路を自律的に変更する。
- 3 配送先の「裏庭」に到着した後は、Sense and Avoid Systemを用いて、電線、人、ペット、その他の障害物を避けるように降下して安全な高さでホバリングし、商品を自動的に投下する。その後、高度を上げて帰投する。

2022年サービス開始までの経緯



次のページへ

前のページから

2022年サービス開始までの経緯



【 Amazon Prime Airのサービス開始までの経緯 】

2013年、Amazon Prime Airを提唱

2016年、英国で実証実験

2020年、航空輸送事業者認証をFAA(米連邦航空局)から取得
Sense and Avoid Systemがこの認証取得に大きく寄与
た。 → 複数の機体を目視外で自律飛行可能となった。

2022年、米国カリフォルニア州ロックフォードとテキサス州カレッジステーションでサービス開始
→ 両地域にあるAmazon社の配送拠点から半径3マイル(約4.8km)のエリアにおいて、Amazon社のサブスクリプションサービス「Amazon Prime」の会員であれば、重さ5ポンド(約2.2kg)以内の商品が注文から1時間以内にドローンで届けられる。

2024年、次世代機MK30(現行機MK27-2と比べて、低騒音で小雨でも飛行でき、安全性を高めて狭い裏庭にも配送可能となる予定)により、大都市にもサービスを拡充

2023年2月18日

終

ドローン技術の最新事情と
災害対策への活用

澤田雅之技術士事務所(電気電子部門)所長
元警察大学校警察情報通信研究センター所長

澤田 雅之