

## 安全・安心シリーズ

## 飛行ロボットとの共存時代における安全安心の確保

Ensuring Safety and Security in the Era of Coexistence with Flying Robots

澤田 雅之  
SAWADA Masayuki

2022年にも、ドローンの有人地帯における補助者なしの目視外飛行が解禁される見込みである。いわば、ソフトウェアで自律飛行するロボットが、生身の人間と近接して共存する時代の到来である。飛行ロボットの墜落や衝突の危険を人間が察知して回避することは難しいので、人間に危害を及ぼさないよう、飛行ロボット側に墜落や衝突などを防止する堅固な安全確保策を講じなければならない。これには、ソフトウェアで自動運転する車と同様に、飛行ロボットとの安全安心な共存に向けた制度整備と安全対策技術の確立に取り組んでいく必要がある。

In 2022, drones are expected to fly unaided and unsupervised in manned zones. In other words, this is the arrival of an era in which robots flying autonomously by software will coexist in close proximity with humans. Since it is difficult for humans to detect and avoid dangers such as crashes and collisions of flying robots, it is necessary to take solid safety measures to prevent crashes and collisions on the side of flying robots to prevent them from harming humans. In order to achieve this, it is necessary to establish systems and safety technologies for safe and secure coexistence with flying robots as well as cars that are automatically driven by software.

キーワード：ドローン、空の産業革命、AI、SLAM、ディープラーニング

## 1 はじめに

利便性の高いドローンによる“空の産業革命”を進展させるため、2022年中にも、“空の産業革命のレベル4”が解禁される見込みである。ここで、レベル4とは、ドローンが有人地帯上空（第三者の頭上）を、補助者なしで目視外飛行することを意味する。

ちなみに、目視外飛行とは、ドローンの挙動が操縦者から目視確認できない状態での飛行のことであり、GPS（衛星測位システム）のナビゲーションに基づきソフトウェアで自律航行する飛行方法が主となる。

また、補助者とは、操縦者から目視確認できない遠方にドローンを飛行させる場合に、操縦者に代わってドローンの挙動を目視確認するために、飛行ルートに沿って配置することを義務付けられた者を指す。このような補助者配置の義務付けは、ドローンの長距離飛行における利便性を損ねるため、“空の産業革命”に向けた大きな支障となっていたところである。

## 2 レベル4に向けた最大の課題は飛行の安全性の確保

“空の産業革命”の最初のステップは、2018年9月に、“空の産業革命のレベル3”が解禁されたことである。ここで、レベル3とは、ドローンが無人地帯（山、海水域、河川、森林等）の上空を、補助者なしで目視外飛行することを意味する。このレベル3の解禁を受けて、離島や山間部へのドローンによる荷物配送を目的としたプロジェクトが全国各地で実施されてきた。

それゆえ、レベル3については、これまでに相当な実績が積み上げられている。しかし、これらの実績をもって、ドローンが有人地帯上空を補助者なしで目視外飛行するレベル4を解禁するとすれば、安全性の確保の観点から大いに危惧を感じるところである。

レベル3の無人地帯であれば、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ないため、ドローンの利便性の向上を専ら追求していればよいともいえる。ところが、レベル4の有人地帯では、写真1に例示する



写真1 Matrice 300 RTK (出典は中国DJI社のHP)

業務用ドローン（中国DJI社のMatrice 300 RTK：機体重量6.3 kg，ペイロード最大2.7 kg，最高速度83 km/h）などの墜落事故は，第三者への危害に直結しかねない。つまり，レベル3とレベル4とでは，ドローンの飛行の安全性に関して，全く別次元の話なのである。

このため，レベル4を解禁していく上で，トレードオフの関係にある利便性と安全性についての全体最適化が絶対に欠かせない。しかし，ここで問題となるのは，これまで実績を積み上げてきたレベル3では，専ら利便性についての部分最適化で十分であったため，レベル4に向けた利便性と安全性についての全体最適化の知見があまり得られていないことである。

ドローンの利便性については，レベル3でもレベル4でも，目的さえ明確にすれば最適化しやすいといえる。しかし，レベル4における安全性については，リスク分析を徹底したつもりでも「想定外」を払拭しきれないほどに最適化が難しい問題である。ドローンのサイバーセキュリティの徹底により，乗っ取りやマルウェアによるソフトウェアの誤作動を防止すれば万事解決するといった単純な問題ではない。

それゆえ，ソフトウェア（AIが中核を成す自動運行装置）による車の自動運転に向けた制度整備と安全対策技術を先行事例として，トレードオフの関係にある利便性と安全性についての全体最適化を図るため，レベル4に向けた制度整備と安全対策技術の確立に取り組んでいかなければならないのである。

## 3 レベル4に向けた制度整備

### 3.1 無人航空機の登録制度の創設

無人航空機の登録制度は，2020年の航空法の改正により創設された。実際の制度運用開始は

2022年頃の予定である。本制度により，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」に機体や所有者に関する情報を登録して，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る。

ここで，取り外し可能なアタッチメントを除いた機体本体とバッテリーとを合わせた機体重量が200 g未満のドローンは，これまでは航空法による規制の対象外（本登録制度の対象外）である。しかし，本制度の運用開始に合わせて，前記定義の機体重量は100 g未満に引き下げられる予定である。その目的は，写真2に示す中国DJI社のMavic Mini（機体重量は199 g）に代表される，FPV（First Person View：ドローン搭載のビデオカメラが撮影して操縦者に無線伝送されるライブ映像）による無線操縦やGPSによる自律航行が可能な，つまり，屋外を目視外飛行可能な軽量ドローンが，近年，出現したことに伴う規制の強化である。



写真2 Mavic Mini (出典は中国DJI社のHP)

### 3.2 無人航空機の機体認証制度の創設

無人航空機の機体認証制度は，2021年の航空法の改正により創設された。実際の制度運用開始は2022年頃の予定である。本制度により，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，国土交通省令で定める安全基準に照らして検査し，合格した機体に機体認証を行うこととなる。また，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，国土交通省令で定める安全基準及び均一性基準に照らして検査し，合格した機種に型式認証を行うこととなる。

### 3.3 無人航空機操縦者技能証明制度の創設

無人航空機操縦者技能証明制度は，2021年の航空法の改正により創設された。実際の制度運

用開始は2022年頃の予定である。本制度により、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（16歳未満は受験できない：身体検査，学科試験，実地試験）の合格者に技能証明を行うこととなる。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。

ここで，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予定である。

また，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・承認は不要となる予定である。これに伴い，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が義務付けられ，無人航空機の重大事故は有人航空機の事故と同様に，運輸安全委員会の調査対象となる予定である。

## 4 レベル4に必要な安全対策技術

### 4.1 これまでの障害物探知回避機能

今日では，中国DJI社製ドローンが，我が国を含めた世界市場シェアの約7割を占めるに至っている。その原動力となったのは，DJI社製ドローンが2つの技術的な優位性，つまり，卓越したドローン無線技術と他に類を見ない障害物探知回避機能を備えていたことである。後者については，機体の前後や上下に，画像や赤外線等のセンサーを備え，ドローンに搭載したフライトコントローラでセンサーデータを一元的に処理してローターの回転数を調整することにより，障害物の探知回避機能を実現している。この機能を用いて，例えば自律航行による発進地点への自動帰還中，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，障害物の高さを越える

までに上昇した後に自動帰還を再開することができる。つまり，DJI社製ドローンは，目的地までの最短コースを，途中で衝突事故を起こすことなく自律航行できるのである。しかし，他社のドローンでは，このような障害物探知回避機能を殆ど備えていない。

ところが，この程度の機能では，レベル4として都市部等の上空をドローンが自律航行するには非常に心もとない。なぜならば，ドローン自体は，「ヘリコプターの操縦士の目」のように周囲の状況を把握できていないからである。それゆえ，都市部等の上空をドローンが自律航行するには，自動運転車と同様に，センサーで周囲の状況をリアルタイムに把握して危険を予測・回避できる「AIの目」が，ドローンにも必要になると考えられる。

### 4.2 「AIの目」で危険を予測・回避

レベル4では，ゆくゆくは都市の物流を担う「空の大動脈」を形成することとなる。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は困難である。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」に進化していく必要がある。

イメージとしては，準天頂衛星システム“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」からの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するのである。

写真3は，「AIの目」を備えて画期的な障害物回避飛行を実現したドローン（Skydio 2）である。Google社からスピンアウトした米国のSkydio社が開発した小型ドローン（機体重量800g弱）であり，我が国でも既に市販されている。



写真3 Skydio 2（出典は米国Skydio社のHP）

Skydio 2は，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

＜ Visual-SLAM（Simultaneous Localization And Mapping：3次元地図作成と自己位置推定を同時に行う技術）により、機体の360度全方位の3次元空間状況をリアルタイムに把握し、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58 km/hで飛行することができる。つまり、「AIの目」を備えたSkydio 2は、森林の木立の間や密集した人家の間などを縫うようにして、低空を高速飛行できるのである。

#### 4.3 「AIの目」はディープラーニングで実現

Skydio 2は、機体前面の撮影用4Kカメラを用いて追尾対象（人や自動車など）を識別して、その対象が森の中を走り回る場合でも、前記の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。これは全て、ディープラーニングの手法で実現している。具体的には、写真4に示す組み込みAIコンピュータ（NVIDIA社のJetson TX2）をSkydio 2のフライトコントローラとして搭載して、この上で9つのニューラルネットワークを同時に稼働させている。

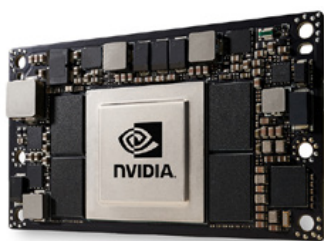


写真4 Skydio 2に搭載された組み込みAIコンピュータ NVIDIA Jetson TX2（出典は米国NVIDIA社のHP）

このJetson TX2は、組み込みAIコンピュータとして必要なGPU（Graphics Processing Unit：多数の演算器を備えて膨大な数量の演算を並列に高速処理可能）、CPU、メモリ、入出力インターフェースなどで構成され、サイズは50 mm×87 mm（クレジットカード大）、消費電力は7.5 Wである。

## 5 おわりに

レベル4として有人地帯上空を補助者なしで目視外飛行する場合に、FPVに基づく無線操縦は、衝突・墜落の回避には適するとは思えない。なぜな

らば、操縦者は、ドローンの飛行方向前方のみを注視した操縦に専念しなければならないからである。

それゆえ、レベル4では、GPSに基づく自律航行が最適の飛行方法と考えられる。仮想的な「空のハイウェイ」上を飛行する場合にはなおさらである。このような自律航行では、「目に見えないソフトウェア」がドローンの飛行の全てを司るのであり、「目に見えないソフトウェア」の不具合や誤作動に起因するトラブルの発生に際し、操縦者による咄嗟のリカバリは望むべくもない。

そこで問題となるのは、ソフトウェアで自律航行中のドローンが衝突・墜落により重大事故を起こした場合の「責任の所在」である。例えば、ドローンの衝突・墜落が人身事故に繋がった場合、「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であるのか、それとも第一種型式認証を受けた業者であるのか、まだ明確ではない。このため、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”についても、「責任の所在」を明確にする「保安基準」が必要といえる。

#### ＜参考文献＞

- 1) 澤田雅之：空の脅威に備えるカウンタードローン対策, 月刊『BAN』2021年7月号, pp.21-28
- 2) 澤田雅之：ドローンが担う“空の産業革命”～空飛ぶロボットへの進化とセキュリティなドローン社会の実現, 月刊『技術士』2020年1月号, pp.22-25
- 3) 澤田雅之：ドローンテロ対策の最前線～大規模警備の視点から, 月刊『電気評論』2019年9月号, pp.31-36
- 4) 澤田雅之：ドローンでわかる電気自動車・自動運転車・空飛ぶ車, 月刊『技術士』2018年6月号, pp.12-15
- 5) 澤田雅之：テロ取行手段としてのドローンの脅威と対処方策, 警察政策第20巻(2018), pp.211-238

澤田 雅之（さわだ まさゆき）  
技術士（電気電子部門）

澤田雅之技術士事務所 所長  
e-mail : sawada-eng@amail.plala.or.jp

