

2020年12月16日

# カウンタードロンの 技術・運用の現状と将来展望

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

I

ドロローンとは？

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



従来型のラジコンヘリと  
決定的に異なる点！



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



Matrice 300 RTK  
(出典：中国DJI社のHP)

# 安定したホバリング

## 【従来型のラジコンヘリのホバリング】

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



## 【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ーの働きにより、風に流されることなく空中の一点に留まり続ける。

➡ 運転支援機能付きのEVと同様に、ドローンの操縦は難しい。

➡ ドローンによる攻撃は難しい。

# 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ー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（ジャミングによる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ー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  いずれもGPSが不可欠

  
\*\*\* ジャミング(電波妨害)では墜落しない \*\*\*

# テレメトリ情報の伝送

テレメトリ情報とは、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



GPSによる自律航行中のドローンを含めて、ドローンは飛行中にテレメトリ情報を操縦者に無線伝送し続けるのが一般的

➡ テレメトリを受信・解析すれば、ドローンの機種・現在位置・飛行方向などが判明



**\*\*\* ドローンの飛来探知に有用 \*\*\***

# Ⅱ

## ドローンの脅威と その攻撃方法



# ドローンの脅威

重要警戒エリアの遥か彼方から夜間に飛来した大型のドローンが、精密に誘導されて高速で要所・要人目掛けて突入してきたならば、

正に警備実施上の悪夢

しかし、



近年の無線技術の進歩発展が、

ドローンの脅威を著しく増大

- \* 無人移動体画像伝送システム専用周波数の割当(2016年8月)
- \* 準天頂衛星システム「みちびき」が本格運用開始(2018年11月)
- \* 5Gによる操縦・テレメトリ伝送・映像伝送(2020年～)

# 最先端のドローンの機能と性能

**\*\* 中国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巻 \*\***

# 1

## 中国製ドローンの 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取り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・HDライブ映像のいずれの信号電波も、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ー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、障害物の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ー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。

# 1 直視による無線操縦による攻撃

攻撃者がドローンの飛行状況を直視し、無線操縦装置を用いてドローンを操縦することにより、ターゲットを攻撃



ドローンの飛行状況を攻撃者の目で確認できる限界距離は、数百m程度

➡ ターゲットまで数百mの範囲内にあつてターゲットまで見通せる建物(屋上とは限らず窓越しもあり得る。)等が、この攻撃の拠点となるおそれ。ドローンの発進は、攻撃者から見通せる場所であれば、別の建物の屋上等からでも可能



＊ ＊ ターゲットまで数百m以内の近距離攻撃 ＊ ＊

## 2 FPVによる無線操縦による攻撃

ドローンから無線伝送されるライブ映像(FPV : First Person View)を見ながらのパイロット感覚で、攻撃者は、ドローンを操縦してターゲットを攻撃

➡ 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、都市部の見通し外であっても、遥か彼方の遠隔地からの攻撃が可能



移動するターゲットもFPVで追跡して攻撃可能

➡ 屋外での要人警護では注意が必要！



攻撃用ドローンを、ターゲットまで直接見通せない場所からも発進可能 ➡  
例えば、ターゲットまでの飛行コースの途中にある高層ビルの窓越しに、ドローンの発進地点とターゲットの双方を見通せれば、攻撃者は、その窓越しに、ドローンをFPVにより無線操縦して発進させ、ターゲットまで誘導することが可能 ➡ 攻撃者の発見は非常に困難！

### 3 GPSによる自律航行による攻撃

ターゲットや通過点の位置情報(緯度・経度・高度)をドローンにセットして発進

➡ GPS衛星から受信する測位信号に基づき、通過点を經由してターゲットまで自動的に飛行・到達させて攻撃



攻撃者は、ドローンを無線操縦する必要が無い。 ➡ ドローンと攻撃者との間に電波を遮る建物等があっても、攻撃に支障は無い。 ➡ 攻撃の進行状況は、ドローンが送信するライブ映像伝送用電波やテレメトリ伝送用電波を、ドローンが見通せる場所で受信すれば把握可能



航続距離の長いドローンでは数十km遠方からの攻撃が可能。移動するターゲットには不適。準天頂衛星システム「みちびき」が送信する「cm級測位補強信号」を使用すれば、施設等の特定のピンポイントを狙った精密な攻撃が可能となる。

# Ⅲ

ドローンによる攻撃に  
対処するには



# ジャミングガンの2例



出典：  
DRONESHIELD社(オーストラリア)のHP

# ジャミング(電波妨害)を受けたドローンの挙動

**\*\* ドローンはジャミングで墜落しない! \*\***

ドローンは、ジャミングを受けて操縦用電波が受信不能となった途端に急停止

**➡** 風に流されることなく空中の一点に留まるホバリング状態となる。

**受信不能が一定時間(3秒程度)続けば、**

ドローンのフライトコントローラーに予め設定されたフェイルセーフモードが自動的に起動する。 **➡** フェイルセーフモードが「発進地点に自動的に帰還」であれば、ドローンは発進地点に向けて飛び去る。

**➡** テロリストの捕り逃がしも同然であり、再来のおそれを払拭できない!

**発進地点に帰還させないためには、**

## 前ページから

発進地点に帰還  させないためには、

GPS衛星から送信される測位信号用電波を、ジャミングにより受信不能とする。

- ➡ ドローンは現在位置が不明となり、発進地点に帰還できなくなる。
- ➡ 立ち往生して気圧センサーで高度を保ったまま空中を漂流、あるいは、バッテリーのフェイルセーフモードが起動して降下を開始

測位信号用電波の  ジャミングを停止すれば、

ドローンは現在位置を把握して発進地点に向けて飛び去ってしまいかねない。

**\*\*\* 飛来したドローンのリスクを完全に除去  
するには、ドローンのネット捕獲等が必要 \*\*\***

# ドローンによる長距離攻撃の事前抑止は困難

**\*\* 飛来したドローンの探知・確認・阻止を秒単位で実施 \*\***

警戒エリア外からのドローンによる長距離攻撃は、FPVやGPSを用いれば容易に実現できるが、事前の攻撃抑止は極めて困難

**➡ 飛来したドローンを現場で阻止する他には、攻撃を防ぐ手立てが無い。**

さらに、

レッドゾーン(小型無人機等飛行禁止法での防護対象施設の敷地境界線内)に向かってくるドローンを、イエローゾーン(レッドゾーンを取り巻く幅約300mの飛行禁止区域)への侵入時点で発見しても、**時速約100kmの高速ドローンであれば、発見後10秒前後でレッドゾーンに到達!**

**防護対象施設** ↓ **を守るには、**

前ページから



防護対象施設 **↓** を守るには、

極めて短時間(10秒前後)内に、ドローンの飛来を探知して、ドローンであることを確認して、ドローンの突入を阻止すること!



しかし、

夜間の対応を要する場合や、空港のような広域対応を要する場合では、ドローンによる攻撃への対処が困難さの度合いを増す。




そこで、


現場の状況に応じたドローン対策資機材を活用して、飛来したドローンの探知・確認・阻止を秒単位で実施できる態勢を確立

# ドローンの飛来を夜間に探知・確認するには

**\*\*\* レーダーが最も有効な手段 \*\*\***

レーダーは、日中でも「人の目」が全く及ばない数km遠方を航行するドローンを探知可能  空港等の広域にわたるドローン対策でも効果を発揮

  
しかし、

レーダー画面上では、捉えた飛行物体について、ドローンと鳥の区別がつかない。  3次元レーダーであれば飛行物体の方位・高度・距離を高精度かつ瞬時に把握できる特性を活かして、サーマルカメラ等を自動的に振り向けて撮影した映像を「人の目」で確認することにより、飛行物体がドローンか否かを速やかに判断できる仕組みとすることが欠かせない。

# IV

## 近年の具体的な対策事例

# 2018年平昌冬季五輪のドローン対策

2018年2月～3月に開催された韓国平昌オリンピック・パラリンピックでは、韓国警察は、テロ対策部隊にドローン警備隊を組織して、ドローンテロ対策を講じている。

**\*\*\* 2次元レーダーで、ドローンの飛来を探知 \*\*\***



出典：LOWRANCE社のHP

2次元レーダー(Xバンドで出力165mW、周囲360度と上下50度をカバー)を50式使用 → **対角径数十cmの小型ドローンを、約300m遠方で探知可能**  
→ 2次元レーダーでは、飛来したドローンの方角と距離は判別できるが、高度は判別不可能

ドローンへ ↓ の対処には



## 前ページから

### ドローンへの対処には

ドローン捕獲ドローン、ショットガン、ジャミングガンの三重の備えにより万全を期している。 ➡ ジャミングガンは、妨害電波を発してドローンが操縦信号用電波等を受信できなくするマシンガンタイプの機器 ➡ 有効射程は約1km、連続30分のジャミングが可能



出典 : South Korean Counter-Terrorism Center

# 2018年英国ロイヤルウェディングのドローン対策

2018年5月19日の英国ロイヤルウェディングでは、ロンドン近郊にあるウィンザー城内礼拝堂での挙式後、馬車によるウィンザー市内のパレードが執り行われた。

➡ ドローン対策には、英国空軍が保有する探知・確認・対処システムを使用



出典 : Blighter Surveillance Systems社(英国)のHP

システムの  機能と性能

# 前ページから

## システムの機能と性能

3次元レーダー(Kuバンドで出力4W)でドローンの飛来を**探知**

➡ サーマルカメラ(冷却型でVGA画質)やハイビジョンカメラ(日中のみ)の映像でドローンであることを**確認** ➡ ジャミング装置で妨害電波を発して航行を**阻止**



レーダーは、水平180度・垂直20度の探知範囲で、**対角径数十cmの小型ドローンでも約2km遠方で探知可能**

➡ レーダーが探知した方向に、**カメラとジャミング装置を秒速60度の角速度で自動的に振り向け**、ドローンの確認と対処を迅速に実行可能

# 英国ガトウィック国際空港におけるドローン対策

2018年12月19日夜から12月20日夜にかけて、ロンドンのガトウィック国際空港に複数のドローンが侵入を反復 → 空港は長時間閉鎖され、十数万人に影響 → 英国陸軍が保有する強力なドローン対策機器を空港に投入した結果、ドローンの侵入が止み、12月21日朝に空港は再開





出典 : Rafael Advanced Defense Systems社(イスラエル)のHP

システムの ↓ 機能と性能



# 前ページから

## システムの 機能と性能

3次元レーダー(Sバンド、4個で全天をカバー)と広帯域(20MHz~6GHz)SIGINTセンサで、  
数km遠方の小型ドローンを 探知  サーマルカメラ等でドローンであることを 確認  
 ドローンの方向にビームを絞った 妨害電波をフェーズドアンテナから送信  
して、数km遠方のドローンの航行を 阻止



# V

**空の産業革命に向けて  
進化するドローンへの対策**

# 5Gによる“コネクテッド・ドローン”が実現

\*\*\* 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

中国製の卓越した「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

## 5Gによる“コネクテッド・ドローン”が実現



**\*\*\* これまでの「無線対策」が無力化する！ \*\*\***



5Gで操縦されるドローンは、ジャミング(電波妨害)により操縦用電波を遮断して急停止させるのが困難になる恐れ。また、テレメトリの受信と解析による飛来探知も困難になる恐れ。

**➡ これまでの「無線対策」に代わる効果的なドローン対策技術(飛来したドローンの探知・確認・阻止)の開発が、喫緊の課題！**



# 「AIの目」で自律航行するドローンが実現

数年後には、都市部等の有人地帯上空を、多数のドローンが日常的に目視外飛行する時代が訪れる。

➡ ドローンの墜落事故は、重大な死傷事故に繋がりにかねない。

そこで、



建物や送電線などへの衝突を自律的に回避する機能に加えて、近傍を飛行する他のドローンなどの位置特定とその進路予測に基づく高度な衝突回避機能が、ドローンに欠かせなくなる。

これには、



このような機能を備えたフライトコントローラのアルゴリズムは、車の自動運転のアルゴリズムと同様に、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生成する手法を用いなければ実現は困難である。

# 「AIの目」で自律航行するドローンが実現

\*\*\* 画期的な障害物回避機能 \*\*\*



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

## 【低空を高速飛行して攻撃できる！】

「AIの目」で自律航行するドローンは、建物や木々の間を縫うように低空を高速飛行してターゲットを攻撃することができる。

➡ これまでのレーダーによるドローンの探知は無力化する恐れがある。

➡ 建物や木々の間を縫うように低空を高速飛行するドローンを迅速・的確に探知・確認する手段の研究開発が欠かせない！

# ジャミングせずにドローンを阻止する電波装置(1/2)



出典 : DEPARTMENT13社(米国)のHP

## ジャミングせずにドローンを阻止する電波装置(2/2)

### \* ソフトウェア無線技術により、ドローンの操縦を乗っ取り \*

攻撃者の無線操縦装置とドローンが送受信する電波を受信・解析して機種を判別

➡ 攻撃者の無線操縦装置から送信される操縦用電波に同期させて、「着陸命令の信号」をドローンに送信 ➡ 他に干渉・混信・妨害を及ぼさずにドローンの操縦を乗っ取り、ドローンを強制的に着陸

飛行を許可されたドローンの機種とIDを登録しておけば、許可登録されていないドローンに対してのみ、侵入を自動的に阻止 ➡ 高所に設置すれば、半径1km  
程度の仮想的な侵入阻止バリアーを生成 ➡ 許可登録されていないドローンは、バリアー内では飛び立たせることも困難

事前に解析できた機種は、飛来したドローンの 探知・確認・阻止が可能  
事前に解析できていない機種は、飛来したドローンの 探知も不可能

## 高速ドローンを捕獲できる長射程ネット砲(1/2)



出典 : OpenWorks Engineering社(英国)のHP



## 高速ドローンを捕獲できる長射程ネット砲(2/2)

\* 300m遠方を100km/h超で横断飛行するドローンを捕獲可能 \*

8m<sup>2</sup>の捕獲用ネットを収めた「砲弾」を、圧縮空気の膨張力で発射

➡ ドローンの直前でネットを展開してドローンを捕獲し、  
地上の安全を確保するため1.8m<sup>2</sup>のパラシュートで降下



スマートスコープによる照準時に、ドローンまでの距離を計測しドローンの動きを予測 ➡ ドローンまでの距離をインプットした「砲弾」を、捕獲地点までの弾道計算に基づき発射 ➡ 遠方を横切るように高速飛行するドローンにも有効



レーダーとの連動やサーマルカメラでの捕捉・追尾により、夜間対応も可能

2020年12月16日

# カウンタードロンの 技術・運用の現状と将来展望

# 終

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