

平成30年11月16日

**「みちびき」が拓く未来**  
**～ドローンテロ対策の視点から～**

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* ドローンの脅威

# 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携帯によるコントロール・テレメトリ・映像伝送(2020年頃)

## Ⅱ ドローンとは？



# ドローンの操縦は難しくない

**\*\* テロリストはドローンを意のままに操れる \*\***



Parrot Bebop Skycontroller



DJI Phantom 4 送信機

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

# 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

障害物回避機能

フェイルセーフ機能



DJI Phantom 4

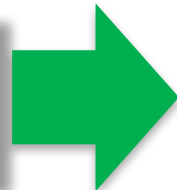
# ドローンが飛行する仕組み

\* 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

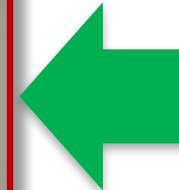


操縦信号



フライト  
コントローラー

\* 現在位置 \*



GPS

\* 目的地 \*



各ローターの回転数を制御して飛行

# 従来型の産業用ラジコンヘリ

**\* ヤマハ発動機(株)が世界のトップメーカー \***



出典 : yamaha-motor.co.jp

## ガソリンエンジンで長距離飛行

最高速度約70km/h、航続距離約100km

## ドローンより大型

全長約3.5m、ローター径約3m、機体重量約70kg、ペイロード搭載重量約30kg

## 73MHz帯専用波で無線操縦

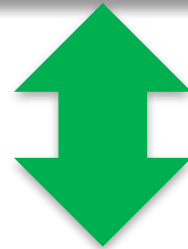
GPS・センサーやフライトコントローラーを備えていないため、目視による高度な操縦手腕が必要

**\*\*\* 資材運搬用の大型ドローン(機体重量約70kg、運搬資材重量約30kg、最高速度約60km/h)が既に実用化 \*\*\***

# 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。➡ フライトコントローラーが、GPSやイメージセンサーに基づき、風に流されないようにドローンを自動操縦

「みちびき」の「センチメートル級測位補強信号」の利用により、ホバリング精度は更に向上

# 障害物回避機能

各種センサーの情報をフライトコントローラーが一元的に処理して、  
高度な障害物回避機能を実現



DJI Inspire 2 : 機体重量約3.5kg、最高速度94km/h



# フェイルセーフ機能

飛行の継続に支障を来す不具合（ラジコン操縦用電波の受信不能や、電池の残量低下など）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



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、操縦信号・GPS測位信号の受信強度など、  
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 \*\*\***



# Ⅲ ドローンの進化の先には 「空飛ぶクルマ」

「みちびき」の高精度測位が産み出す  
「空のハイウェイ」

# 空飛ぶクルマとは？

**\*\* 飛行の原理はドローンと同じ \*\***



e-volo社(ドイツ) Volocopter 2X

# 空飛ぶクルマのメリット

渋滞の超越と旅行時間の短縮

自律航行による無人運転が比較的容易に実現

道路・橋・トンネルなどの土木インフラが不要

# 空飛ぶクルマの仕組み

\* 機体の向き・傾き・動き \*

地磁気・ジャイロ・加速度などのセンサー

\* 周囲監視 \*

ライダー  
レーダー

フライト  
コントローラー

\* 現在位置 \*

GPS

\* 目的地 \*

\* 自動操縦 \*

各ローターの回転数を制御して飛行

# ドバイの自律航行空中タクシー

アラブ首長国連邦のドバイでは、2017年秋から、自律航行による空中タクシーの試験運用を開始

➡ 5年後までの実用化を計画

## Volocopter 2Xのスペック

- 9系統のリチウムイオン電池で、18個のモーター(ローター)を駆動
- 機体重量 290kg
- ペイロード最大重量 160kg
- 最長飛行距離 27km(時速70km)
- 最長飛行時間 27分(時速50km)
- 最高速度 時速100km
- 価格 約3000万円



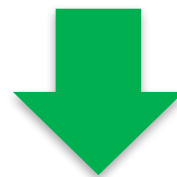
e-volo社(ドイツ) Volocopter 2X

# *IV* ドローンを用いた 3種類のテロ攻撃

# 1 直視による無線操縦による攻撃

我が国では、ドローンの無線操縦には、2.4GHz帯の産業・科学・医療用バンドを共用する出力200mWの電波を用いるのが一般的  
➡ 電波の最大到達距離は数kmであるが、都心部では1kmに満たない。(2.4GHz帯を共用するWi-FiやBluetoothと干渉するため)

飛行状況を操縦者の目で確認できる半径数百m以内が、直視による無線操縦の限界



**\*\*\* 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

ドローンに搭載したビデオカメラが捉えた映像を無線伝送し、**操縦者はこのライブ映像を見ながらパイロット感覚でドローンを無線操縦**

ドローンからの映像伝送用電波が操縦者に確実に届くことと、操縦者からのラジコン操縦用電波がドローンに確実に届くことが欠かせない。

無人移動体画像伝送システム専用の電波(平成28年8月から使用可能)を使用して、かつ、操縦者とドローンとの間に遮る物が無ければ、  
FPVによる無線操縦の限界距離は、都心部でも半径5kmを超える。

**\*\* 数km遠方から、移動するターゲットも攻撃可能 \*\***



### 3 ドローンの自律航行による攻撃

#### \*\* 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、経度及び高度)を瞬時に判別 → フライトコントローラーが、設定された経路を辿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

#### \*\* 「みちびき」が測位誤差を大幅に低減 \*\*



出典：qzss.go.jp

準天頂衛星システム「みちびき」が本格運用開始(2018年11月) → GPS測位誤差はcmの単位に激減

\*\* 数十km遠方から、固定ターゲットの特定部位を攻撃可能 \*\*

# V ドローンによるテロの防止 に向けた2つの法規制

# 1 航空法の改正法 (平成27年12月10日施行)

無人飛行機(ドローン・ラジコン機等)の  
飛行を規制

模型飛行機(ドローン・ラジコン機等)  
は、規制の対象外

**\*\* 模型飛行機とは? \*\***

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

# 航空法第132条による 無人飛行機の飛行に関する規制

## **\*\*\* 飛行禁止空域 \*\*\***

- 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**

# 航空法第132条の2による 無人飛行機の飛行に関する規制

## **\*\*\* 飛行の方法 \*\*\***

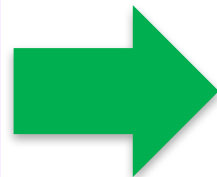
- ・日中に飛行させること
- ・目視の範囲内で飛行させること
- ・他の人や物から30m以上離して飛行させること
- ・催し場所では飛行させないこと
- ・危険物を輸送しないこと
- ・物を投下しないこと

 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

# 無人航空機の飛行に関する許可・承認の 審査要領の改正（平成30年9月14日）

**\*\*\* 補助者を置かない目視外飛行の実現は、  
離島・山間部への荷物配送に欠かせない \*\*\***

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」による高精度測位
- ・ IOT基盤としての5Gによるコントロール・テレメトリ・映像伝送

## 2 小型無人機等飛行禁止法 (平成28年4月7日施行)

国会議事堂、内閣総理大臣官邸その他の国の重要な施設等、外国公館等及び原子力事業所の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律



小型無人機等の飛行を禁止する施設の敷地内及び敷地境界から概ね300mの範囲内

➡ 「飛行禁止区域」として官報で告示



**\*\* 「小型無人機等」には、改正航空法が規制の対象外とする200g未満のドローンを含む。 \*\***



# ドローン等の 飛行禁止区域図



背景: 国土地理院の地理院地図

<https://www.npa.go.jp/bureau/security/kogatamujinki/pdf/map.pdf>

対象施設の敷地又は区域   
 対象施設周辺地域



## 2 小型無人機等飛行禁止法 (平成28年4月7日施行)

飛行禁止区域内に飛来したドローンを  
現認した警察官



退去を命じても従わない場合や退去を命ずる暇が無い  
場合 → 飛行禁止区域内に飛来したドローンの妨害  
や破損ができる。

課題

- ・飛行禁止区域内外の見極め
- ・効果的な妨害・破損手段の確保

# VI ドローンテロ攻撃 に対処するには？

# ドローンテロ対策に欠かせない3ステップ

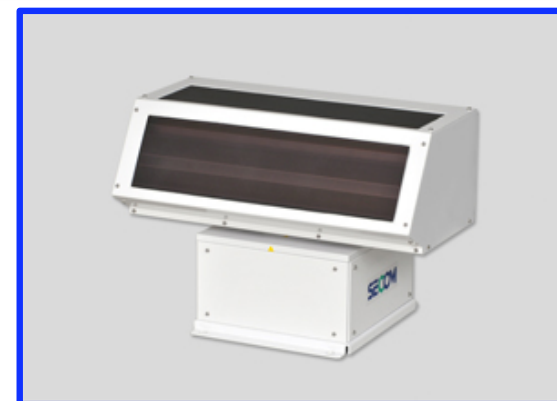
**1** **ドローンの飛来を探知**  
(肉眼、レーダー、音響探知、テレメトリ検知)

**2** **ドローンであることを確認**  
(肉眼、サーマルカメラ等)

**3** **ドローンの突入を阻止**  
(ジャミング、ネット捕獲、コントロール奪取)

# レーダーで探知し、音と映像で確認する装置

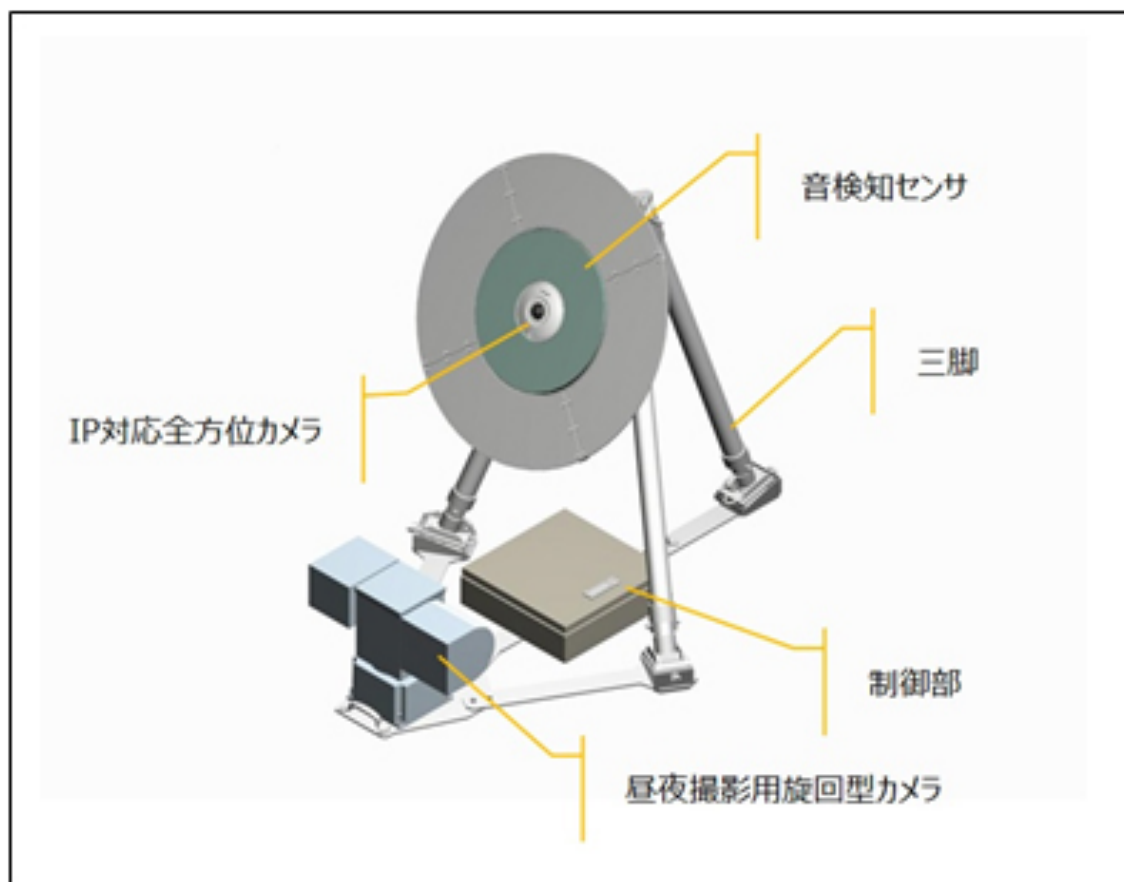
24GHz帯レーダー(特定小電力無線局)  
で探知し、3D指向性マイク(24個の無指向性マイクで構成)の音と、HDダイナイトカメラ(近赤外照明付)の映像で確認



出典：セコム(株)のHP

# 音響センサーで探知し、映像で確認する装置

32チャンネル集音アレイマイクで飛行音の方位を探知し、  
デイトナイトカメラを振り向けて映像で目視確認



探知エリアは、頂角150度の円錐状の空間

Phantomクラスの小型ドローンを、約300m遠方で検知可能  
(探知精度は±2度、探知速度は数秒)

探知した音源方向に、昼夜撮影用旋回型カメラを自動的にかつ迅速に振り向け、音源の正体を映像モニターで目視確認

出典：パナソニックシステムネットワークス(株)のHP

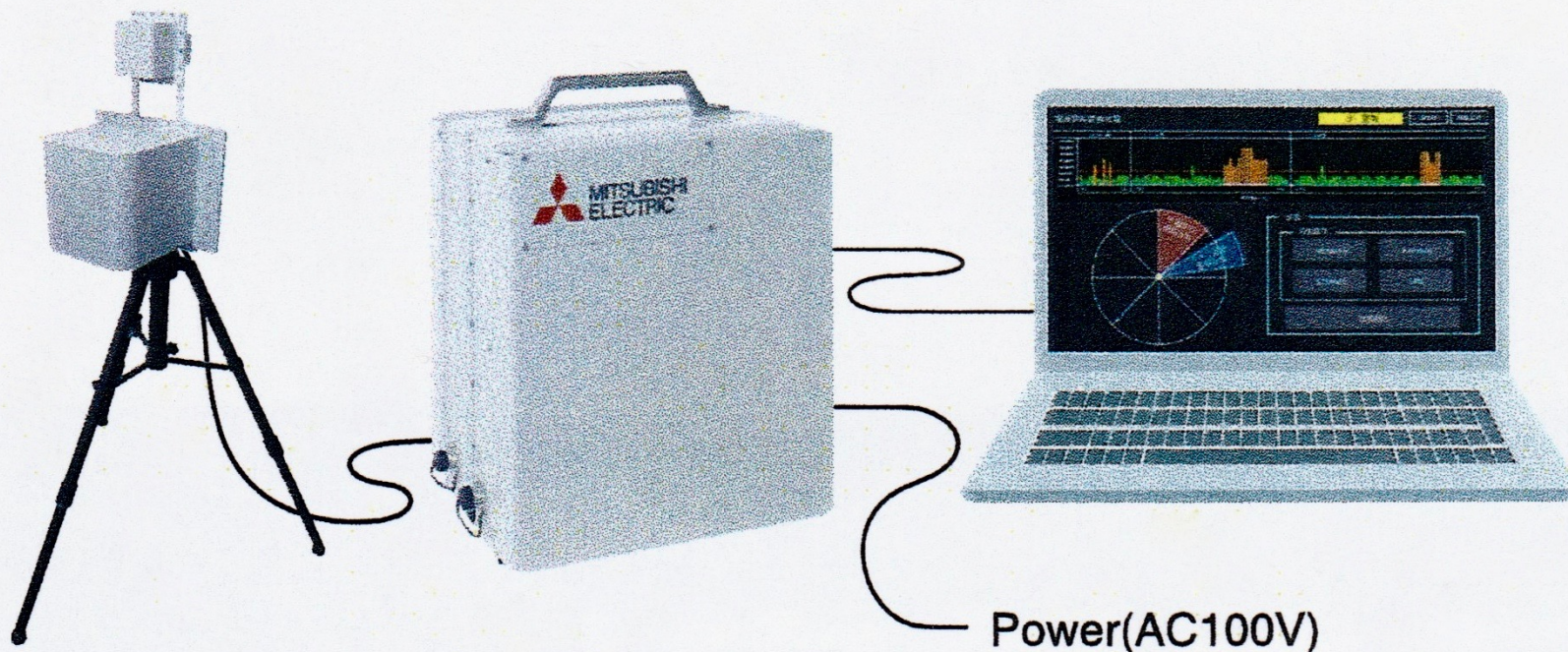


# ドローンの電波を探知し、ジャミングする装置

アンテナユニット

送受信ユニット

コントローラー



出典：三菱電機(株)のカタログ

## 装置の概要

探知妨害エリアは、頂角45度の円錐状の空間

約3km遠方のドローンが発する電波を探知可能

約3km遠方のドローンに対して、その飛行制御に用いる信号電波を妨害可能

# ネット砲 (1/2)



OpenWorks Engineering社(英国) SkyWall 100

## ネット砲 (2/2)

バズーカ砲のように**肩に担いで使用する**タイプ。圧縮空気の膨張力でネットを収めた「砲弾」を発射。**最大射程距離は約100m**で、装置の重量は10kg強、装置の全長は1m強



照準時にレーザーで測定したドローンまでの距離を「砲弾」に入力してから発射するため、**ドローンの直前でネットを展開**。ネットで**捕獲したドローンは、パラシュートで下降**させる。



高度100mまでの上空を低速で飛行するドローンや、フェイルセーフモードに陥って上空に滞留したドローンに対して有効



# ドローン捕獲ドローン (1/2)



平成27年12月 警視庁提供画像



PRODRONE社 PD6B-DC(試作機)

## ドローン捕獲ドローン (2/2)

機体に吊り下げた捕獲用ネットでターゲットのドローンを絡め取るタイプや、複数のネットガンを装備した機体でターゲットのドローンを追尾してネットガンを発射するタイプがある。



ネットガンやネット砲と較べて、**対応可能な高度に制限は無く、現場での機動性にも優れる**ために「守備範囲」は格段に広い。



高速で飛行するドローンへの対処が容易ではない。発進してターゲットのドローンに到達するまでに時間を要するため、**即応性には難**がある。

# ***VII 最新の対策事例***

# 2018年平昌冬季五輪のドローン対策



出典 : South Korean Counter-Terrorism Center

ドローンの飛来探知  
に用いたレーダー



出典 : LOWRANCE社のHP

韓国警察は、テロ対策部隊にドローン警備隊を組織し、①ドローン捕獲ドローン、②携帯型ジャマー(ドローンの飛行制御信号を受信不能にするマシンガンタイプの装置)、③ショットガンを配備



# 携帯型ジャマーの2例



出典：  
DRONESHIELD社(オーストラリア)のHP



# 2018年英国ロイヤルウェディングのドローン対策

フェーズドアレイレーダー(Kuバンドで出力4W)で探知し、サーマルカメラ(冷却型でVGA画質)等で確認して、ジャミングで航行を妨害



出典 : Blighter Surveillance Systems社(英国)のHP

# IOT基盤としての5Gによるコントロールは ジャミングできない！

\*\*\* 補助者を置かない目視外飛行の実現は、  
離島・山間部への荷物配送に欠かせない \*\*\*

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」による高精度測位
- ・ IOT基盤としての5Gによるコントロール・テレメトリ・映像伝送



# **VIII ジャミングしない ドローンテロ対策**

# ドローンの侵入を自動的に阻止する電波装置



# ドローンの侵入を自動的に阻止する電波装置

## 装置の概要

ドローンが発する電波を受信・解析して飛来した機種を自動的に判別  当該機種に固有の制御信号を自動的に送信してデフォルトのフェイルセーフモード(発進地点に帰還、その場に軟着陸、その場でホバリング、のいずれか)に陥らせることにより、ドローンの侵入を阻止  無人運用が可能

## 装置の性能

ジャミング(電波妨害)ではないため、当該ドローン以外の無線通信・無線制御には全く影響を及ぼさない。

装置の周囲360度に渡って、装置から約1km以内のドローンに有効  
GPSで自律航行中のドローンや、複数のドローンの同時飛来にも有効  
市販されたドローンの約8割に有効



平成30年11月16日

「みちびき」が拓く未来  
～ドローンテロ対策の視点から～

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