

ドローンテロ対策の最前線

～大規模警備の視点から～

澤田雅之技術士事務所 澤田雅之*

1. はじめに

警戒エリアの遥か彼方から、精密に無線誘導されて飛来したドローンが、夜の闇に紛れて要所・要人目掛けて突入。これは正に、警備実施上の悪夢である。しかし、近年の無線技術の進歩発展は、ドローンによるテロ攻撃の脅威を著しく増大し、このような悪夢を現実化している。

そこで、昨年の韓国平昌オリンピック・パラリンピックや英国ロイヤルウェディングでは、ドローンテロを防ぐため、飛来をレーダーで探知して、突入を電波妨害で阻止するなどの対策を講じている。また、昨年暮には英国のガトウィック国際空港に複数のドローンが昼夜にわたって侵入を繰り返したため、空港が2日間近く閉鎖される事案が発生したが、この際には、英国陸軍が保有する守備範囲が数kmに及ぶドローン対策機器を空港に投入して、ドローンの侵入を阻止している。

わが国ではこれから来年にかけて、ラグビーワールドカップ、天皇陛下即位の礼正殿の儀とパレード、オリンピック・パラリンピック東京大会など、大規模イベントが予定されている。いずれも、ドローンテロ対策が欠かせないため、大規模警備の視点から、その最前線を紹介する。

2. ドローンの脅威

2.1 ドローンとは？

(1) GPS・各種センサとフライトコントローラが高度な飛行性能を実現

ドローンの操縦は難しくない。発進準備を整えて無線操縦装置の「自動離陸」ボタンを押せば、ドローンは1m程の高度に上昇して、風に流されることなくホバリングする。無線操縦装置の2本のスティック（操縦桿）には、それぞれの前後左右の動きに

(前進と後退)、(左右への進行)、(上昇と下降)、(機首の左右への回転)が割り当てられており、スティックを動かした度合いに応じてドローンを操縦できる。操縦の途中で2本のスティックから指を離せば、その途端にドローンは急停止してホバリング状態となり、空中の一点に留まり続ける。つまり、惰性で飛び続けるリスクや風に流されるリスクを、ドローンは回避できるのである。帰還させるには無線操縦装置の「発進地点に帰還」ボタンを押せばよく、ドローンは、障害物を自動的に回避しつつ発進地点まで舞い戻って自動的に着陸する。

ドローンの操縦が難しくないのは、図1に示すとおり、GPSや各種センサからの情報にもとづき、フライトコントローラが操縦を支援するからである。具体的には、ジャイロ・加速度・地磁気・気圧などのセンサ情報やGPSによる位置情報にもとづき、ドローンの向き・傾き・動き・空中における現在位置をフライトコントローラが判断して、風に流されないようにドローンを操縦支援する。また、超音波・赤外線・イメージなどのセンサ情報をフライトコントローラが処理することにより、障害物回避機能を実現している。この他にも、操縦信号用電波の受信不能や電池残量の低下など、飛行の継続に支障を来す不具合が生じた場合には、フライトコントローラ

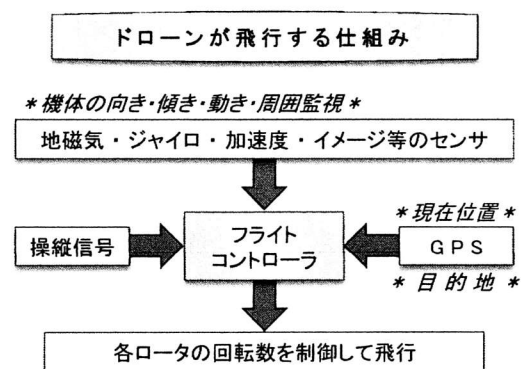


図1 ドローンが飛行する仕組み

* さわだ まさゆき 所長

に予め設定されたフェイルセーフモード（発進地点への自動帰還など）を、フライトコントローラが自動的に起動することにより、墜落のリスクを減じている。

このようにしてドローンは、安定したホバリング機能、障害物回避機能、フェイルセーフ機能といった、高度な飛行性能を実現している。それゆえ、ドローンは、後述するFPVやGPSを用いることにより、操縦者の目の届かない遠方までの飛行も可能である。

(2) ドローンは「無線による操り人形」

従来型の無線操縦ヘリコプターや無線操縦飛行機には、フライトコントローラが無い。このため、従来型機を飛行させる方法は「直視による無線操縦」に限られ、操縦者の目の届かない遠方まで飛行させることはできない。

他方、ドローンにはフライトコントローラが有る。このため、ドローンを飛行させる方法としては、「直視による無線操縦」の他に、操縦者の目の届かない遠方まで飛行させることが可能な「FPVによる無線操縦」と「GPSによる自律航行」の2つの方法がある。（各飛行方法の詳細は2.2節を参照）

目の届かない遠方を飛行できるドローンは、テレメトリ情報を操縦者の無線操縦装置に送信する。テレメトリ情報とは、ドローンの現在位置（緯度・経度・高度）、バッテリーの残量、操縦信号用電波やGPS測位用電波の受信強度等、ドローンの飛行状態に関する情報である。テレメトリ情報を受信した無線操縦装置では、操縦者からドローンまでの距離や方位、飛行方向、飛行速度等が画面表示される。

このように、ドローンは、操縦信号用電波とGPS測位用電波を受信しつつ、テレメトリ伝送用電波と映像伝送用電波を送信しつつ、飛行するのが一般的である。つまり、今日のドローンは、未だ「自律型の空飛ぶロボット」の域には達しておらず、「無線による操り人形」であると言える。

そこで、ドローンの無線操縦・テレメトリ伝送・映像伝送に使用する電波についてであるが、グローバルに見れば、2.4 GHzのISMバンド*（2,400～2,483.5 MHz）と5.8 GHzのISMバンド（5,725～5,850 MHz）が主に用いられている。わが国では、2.4 GHzのISMバンド（2,400～2,483.5 MHz）が主に用いられており、5.8 GHzのISMバンド（5,725～5,850 MHz）をドローンに用いることはできないが、無人移動体画像伝送システム専用バンド（2,483.5～2,494 MHzと5,650～5,755 MHz）が、ドローンの無線

操縦・テレメトリ伝送・映像伝送に、2016年の夏から使用可能となったところである。

※：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る。Wi-FiやBluetoothにも利用されている。

2.2 ドローンをを用いた3種類のテロ攻撃

ドローンをを用いたテロ攻撃は、ターゲットまでドローンを誘導する方法の違いにより、直視による無線操縦による攻撃、FPVによる無線操縦による攻撃、GPSによる自律航行による攻撃、の3種類に大別される。各攻撃方法の概要は、以下のとおりである。

(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遠隔操作することにより、ターゲットを攻撃する方法である。直視による無線操縦には、ドローンの機首の向きを見分けられることが欠かせない。このため、ターゲットまで数百mの範囲内であっ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がある。また、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である。

(2) FPVによる無線操縦による攻撃

FPVとは、First Person Viewの略であり、「一人称視点」と訳される。ドローンにおけるFPVとは、ドローンに搭載したビデオカメラが撮影したライブ映像を指す。このため、FPVによる無線操縦による攻撃とは、攻撃者が、ドローンから無線伝送されるライブ映像を見ながら、つまり、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、無線操縦装置を用いてドローンを遠隔操作することにより、ターゲットを攻撃する方法である。この攻撃は、移動するターゲットに対しても効果的であることから、屋外での要人警護等では注意を要する。

この攻撃を行うには、ドローンと攻撃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攻撃者まで届くことと、攻撃者からの操縦信号用電波がドローンまで届くことが必要である。2016年夏に新規に割り当てられた無人移動体画像伝送システム専用バンドを使用した場合には、見通し状態であれば都心部でも5 km以上遠方からの攻撃が可能となる。また、前

記の条件さえ満たせば、つまり、ドローンと攻撃者が常に見通し状態で電波を送受信できるのであれば、この攻撃を行うドローンを、ターゲットまで直接見通すことができない場所からでも発進させることができる。たとえば、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すことができるのであれば、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である。

(3) GPSによる自律航行による攻撃

GPSとは、Global Positioning Systemの略であり、カーナビ等に用いられている地球規模の測位システムである。このため、GPSによる自律航行による攻撃とは、攻撃者がターゲットの位置および通過点の情報（緯度・経度・高度）をドローンにセットして発進させることにより、GPS衛星から受信する測位信号にもとづき、通過点を經由してターゲットまで自動的に飛行・到達させて攻撃する方法である。

この攻撃では、攻撃者はドローンを無線操縦する必要が無いため、ドローンと攻撃者との間に電波を遮る建物等があったとしても攻撃そのものに支障は無い。攻撃者が攻撃の進行状況を把握するには、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受信すれば足りるのであり、ドローンの飛行ルートを見通せる場所であればどこでも可能となる。また、航続距離の長いドローンであれば、数十km以上遠方からの攻撃が可能であるが、移動するターゲットには適さず、施設等の固定されたターゲットに対して効果的な攻撃である。

なお、わが国の準天頂衛星システム「みちびき」が2018年11月に本格稼働したが、「みちびき」が送信する「cm級測位補強信号」を使用すれば、自律航行によるドローンの到達精度が現在のm単位からcm単位に飛躍的に向上するため、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点に注意を要する。

3. ドローンテロ攻撃に対処するには

警戒エリア外からのドローンによる長距離テロ攻撃は、FPVやGPSを用いれば容易に実現できる一方、事前の攻撃抑止は極めて困難であり、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。ドローンテロ対策の礎となる小型無人機等飛行禁止法では、防護対象とする施設の敷地境界線内を

レッドゾーンとし、レッドゾーンをおおむね300mの幅で取り巻くエリアをイエローゾーンとしている。レッドゾーンに向かってくるドローンを、その境界線から約300m遠方で発見できたとしても、時速100km超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する。つまり、ドローンテロ攻撃に対処するには、この10秒前後の極めて短い時間内で、ドローンの飛来を感知して、ドローンであることを確認した上で、ドローンの突入を阻止する手立てを直ちに講じなければならないのである。しかも、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は、ドローンテロ攻撃への対処が困難さの度合いを増すところである。そこで、ドローンテロ攻撃に対処する上での基本的事項として、飛来したドローンを感知・確認する「人の目」の特性、夜間に飛来したドローンを感知・確認する方法、ジャミング（電波妨害）を受けたドローンの挙動、リスクの完全除去にはネット捕獲が必要、の4点について以下に記載する。

3.1 ドローンの飛来を「人の目」で感知・確認

「人の目」は「動物の目」であり、視野内の「わずかな動き」に対しても感応度が非常に高い。たとえば、視野の片隅で蠅が飛べば、その瞬間に気付くことができる。2015年4月の深夜、機体を黒く塗りつぶした対角径約40cmの小型ドローンが、首相官邸敷地内に飛来して官邸屋上に落下した。しかし、外周警戒に当たっていた機動隊員は、誰一人としてドローンの飛来に気付かなかった。夜間でドローンがまったく目に入らなかったためである。仮に、この事案が日中に発生していたならば、小型ドローンが首相官邸まで100m程度に接近した時点で、空を特段に警戒していない機動隊員でも容易に気付くことができたはずである。つまり、前記のレッドゾーンに向かってくるドローンを、レッドゾーンの境界線から数百m遠方で感知し、ドローンであることをすかさず確認する上で、日中であれば「人の目」に勝る手段は無いと言える。しかし、前記の首相官邸ドローン落下事案で明らかのように、夜間に飛来するドローンを感知・確認する手段として、「人の目」はほとんど無力である。

3.2 ドローンの飛来を夜間に感知・確認するには

夜間のドローン飛来感知に最も有効な手段は、レーダーである。また、レーダーは、日中であっても

「人の目」が及ばない数 km 遠方を航行するドローンを探知可能であるため、広域にわたるドローンテロ対策でも効果的な手段となる。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。そこで、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。ここで、サーマルカメラとは、あらゆる物体が赤外線として発する熱を捉えて、温度差をコントラストとしてモノクロ映像化するカメラである。サーマルカメラを用いれば、黒く塗りつぶしたドローンが深夜に飛行した場合でも、ドローンの機影をモノクロ映像で確認することができる。

3.3 ジャミングを受けたドローンの挙動

従来型の無線操縦ヘリや無線操縦飛行機であれば、ジャミング（電波妨害）を受けて操縦信号用電波が受信不能となった途端に制御不能に陥り、墜落する。ところが、ドローンでは、ジャミングを受けて操縦信号用電波が受信不能となった途端に急停止し、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。操縦信号用電波の受信不能が一定時間（3秒程度）続いた場合には、ドローンのフライトコントローラ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。このフェイルセーフモードとして、「発進地点に自動的に帰還」が設定してあれば、ドローンは、発進地点に向けて飛び去ってしまうこととなる。これでは、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。そこで、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用電波をドローンが受信できないようにする必要がある。つまり、ジャミングにより測位用電波を受信不能にすれば、ドローンは現在位置がわからなくなるので発進地点に帰還できなくなり、その結果として、立ち往生して空中を漂ったり、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するのである。いずれにしても、測位用電波のジャミングを停止すれば、ドローンは現在位置がわかるようになるので、発進地点に向けて飛び去ってしまいかねない。そこで、飛来したドローンのリスクを完全に除去するには、ドローンをネット捕獲することが肝要である。

3.4 リスクの完全除去にはネット捕獲

携帯型のネット捕獲手段としては、ネットガンと肩に担ぐタイプのネット砲がある。いずれも10m²弱のネットを発射するものであるが、ネットガンの射程距離は10~20m程度であるのに対して、ネット砲の射程距離は約100mである。ネットガンは、前方を横切るように飛行するドローンの捕獲は難しいが、向かってくるドローンに対してはネットによるバリアーをすかさず展開できるため、屋外における要人警護の最後の砦として活用できる。他方、肩に担ぐタイプのネット砲では、スマートスコープを用いてドローンまでの距離や動きを計測して照準等を制御することにより、ドローンの捕獲精度を高めている。つまり、ネットを収めた「砲弾」を圧縮空気の膨張力で発射し、ドローンの直前でネットを展開し、捕獲したドローンをパラシュートで降下させることができる。また、約100mの遠方を時速約40kmで横切るように飛行するドローンも捕獲可能であるが、夜間対応には適していない。

4. 最近の対策事例

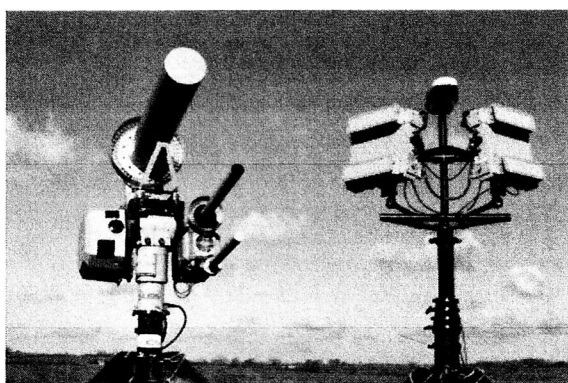
4.1 韓国平昌オリンピック・パラリンピックにおける対策

昨年の2月と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。ドローンの飛来探知には、漁船等で一般的に用いられている2次元レーダーが50式使用された。このレーダーは、対角径数十cmの小型ドローンでも、約300m遠方で探知可能である。しかし、2次元レーダーであるため、飛来したドローンの方角と距離は判別できるが、高度は判別できない。飛来した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。ここで用いられたジャミングガンは、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であり、有効射程は約1kmで、連続30分のジャミングが可能である。

4.2 英国ロイヤルウェディングにおける対策

昨年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。この際、英国空軍が保有する守備範囲が広

いドローン対策機器（図2）が用いられている。この対策機器は、フェーズドアレイ方式の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し、ズームアップ機能付きのサーマルカメラ（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し、ジャミング装置で妨害電波を発生して航行を阻止するものである。レーダーの探知範囲は、水平180度・垂直20度であり、対角径が数十cmの小型ドローンであっても約2km遠方で探知できる。また、レーダーが探知した方向に、カメラとジャミング装置が秒速60度の角速度で振り向けられるため、ドローンの探知・確認・対処を迅速かつ確実に行うことが可能である。



出典) Blighter Surveillance Systems社(英国)のHP

図2 英国ロイヤルウェディングで用いられたドローン対策機器（同機種）

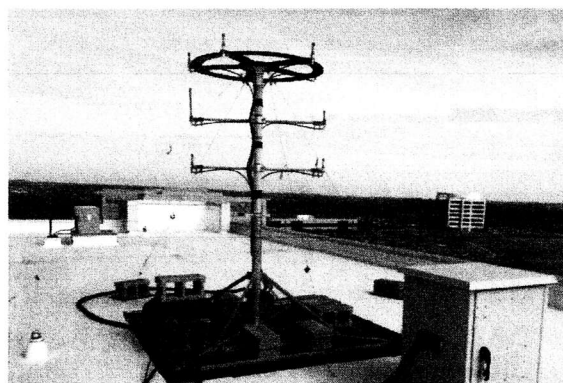
4.3 英国ガトウィック国際空港における対策

昨年12月19日夜、ロンドンのガトウィック国際空港に2機のドローンが侵入し、12月20日夜にかけて数十回もの侵入を繰り返したため空港は長時間にわたって閉鎖され、十数万人が影響を受けた。この際、英国陸軍が保有する守備範囲が広い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日朝に空港は再開された。この対策機器は、3次元レーダーと、ソフトウェア無線によるテレメトリ受信解析装置を組み合わせることで、数km遠方を航行するドローンを探知・確認することができる。また、テレメトリ解析で判別したドローンの機種に応じた妨害電波を送信（合計最大出力は55W）して、数km遠方のドローンの航行を阻止することができる。

5. ジャミングしないドローンテロ対策

5.1 ジャミングせずにドローンの侵入を自動的に阻止する電波装置

図3は、ジャミングせずにドローンの侵入を自動的に阻止する電波装置の一例である。この装置は、ソフトウェア無線の技術をベースとして、攻撃者の無線操縦装置とドローンとの間で送受信される操縦信号用電波やテレメトリ伝送用電波を受信・解析して機種を判別し、攻撃者の無線操縦装置からドローンに送信される操縦信号用電波に同期させることにより、「着陸命令の信号」をドローンに送信することができる。つまり、他の無線通信には干渉・混信・妨害等の悪影響を及ぼすことなく、ドローンの遠隔操作を乗っ取り、ドローンをその場に強制的に着陸させることができるのである。また、飛行を許可されたドローンの機種とIDをこの装置に登録しておけば、許可登録されていないドローンに対してのみ、その侵入を自動的に阻止できる。このような装置を高所に設置すれば、半径1km程度の仮想的な侵入阻止バリアーを産み出すので、許可登録されていないドローンは、このバリアー内では飛び立たせることも困難となる。



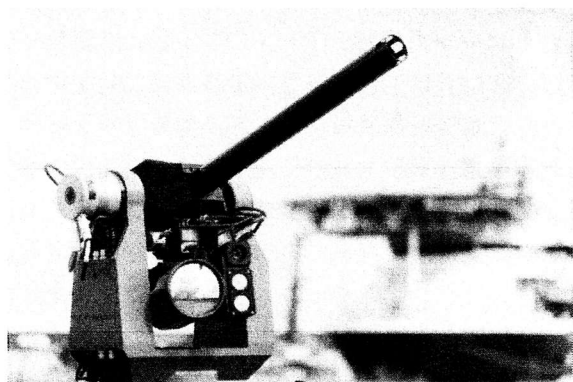
出典) DEPARTMENT13社(米国)のHP

図3 ジャミングせずにドローンの侵入を自動的に阻止する電波装置

ただし、事前にリバースエンジニアリングで解析できた機種については、飛来したドローンの探知・確認・対処が自動でできるが、つまり、侵入阻止バリアーとして機能するが、事前に解析できていない機種については、飛来したドローンの探知もできず、バリアーとしてまったく機能しない。このため、ドローンテロ対策の中核としてこのような装置を用いる場合には、バリアーとして機能しないドローンへの対処手段を別途に講じる必要がある。

5.2 高速ドローンを捕獲できる長射程ネット砲

図4は、ドローン捕獲用ネットを収めた「砲弾」を圧縮空気の膨張力で発射して、約300 m 遠方を時速100 km 超で横切るように飛行するドローンであっても、8 m²のネットで捕獲できる装置である。レーダーとの連動やサーマルカメラによる捕捉・追尾により、夜間対応も可能である。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することにより、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もとづき発射する。このため、遠方を横切るように高速飛行するドローンにも有効である。発射された「砲弾」は、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1.8 m²のパラシュートで降下させることができる。



出典) OpenWorks Engineering社 (英国) のHP

図4 高速ドローンを捕獲できる長射程ネット砲

6. 今後の課題

ドローンによる「空の産業革命」の第一段階は、「山間僻地等における補助者無しの日視外飛行の日常化」である。これには、山影でドローンが見通せなくなった場合でも操縦信号伝送とテレメトリ伝送が途絶しないよう、5Gによるコネクティッド・ドローンの実現が必要不可欠であり、その実現は、早ければ来年中にも見込まれる。しかし、5Gで操縦信号伝送されたドローンは、今日のドローンテロ対策の中核であるジャミング（電波妨害）がほとんど効かなくなる。つまり、操縦信号伝送を絶って急停止させることが困難になるのである。このため、ジャミングに代わる効果的なドローンテロ対策技術の開

発が、喫緊の課題である。

ドローンによる「空の産業革命」の第二段階は、「都市部における補助者無しの日視外飛行の日常化」である。これには、無線による操り人形から自律型の空飛ぶロボットへの、ドローンの進化が欠かせない。しかし、この第二段階でのドローンテロ対策は、都市部の上空をドローンが飛び交う中での実施となる。つまり、現場の対策要員には、飛び交うドローンの中から不審なドローンを瞬時に判別できる「インテリジェント化した目」が必要不可欠となるのである。このような目に必要となる機能は、第二段階におけるドローンの社会実装の仕方次第であるが、第二段階へ移行する上での必要条件の1つは、ドローンの取り締まりやテロ対策の観点から、不審なドローンを迅速・確実に判別可能であることと言える。

このように、これからの「空の産業革命」の進展に向けて、ドローンテロ対策の実効性を保つためには、革新的な技術開発が欠かせない。ドローンテロ対策技術は、今日では欧米諸国やイスラエルが先行しているが、「空の産業革命」を進展させる一環として、わが国におけるドローンテロ対策技術開発の充実強化が望まれるところである。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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，技術士 PE（IPEJ Journal 2018.6），pp. 12-15
- 3) 丸山康平：電波探知妨害装置，三菱電機技報・Vol193・No. 2・2019，pp. 35-38
- 4) 総務省 電波利用ホームページ「ドローン等に用いられる無線設備について」
(<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/index.html>)
- 5) 一般財団法人 日本無人機運行管理コンソーシアム「無人移動体画像伝送システム運用調整」
(<http://www.jutm.org/operation.html>)
- 6) 総務省 総合通信基盤局 電波部 移動通信課「ロボットにおける電波利用の高度化に関する電波政策と今後の取り組み」
(<http://www.kiai.gr.jp/jigyoku/h28/PDF/1219p1.pdf>)
- 7) 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局「みちびき（準天頂衛星システム）」
(<http://qzss.go.jp/index.html>)