

# 電波探知妨害装置

丸山康平\*

## Drone Deterrence System

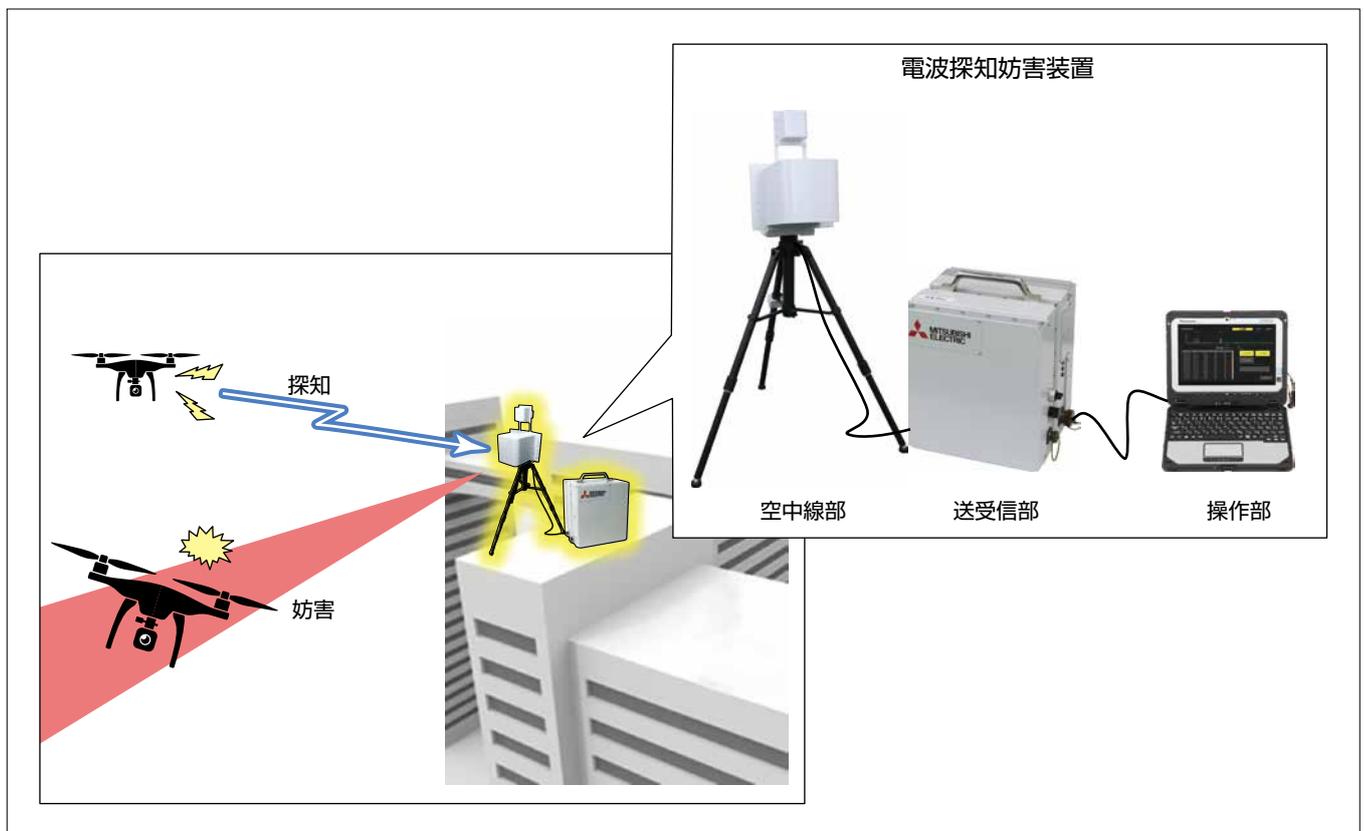
Kohei Maruyama

### 要旨

技術進展に伴って小型無人機(ドローン)が極めて容易に入手可能になり、一般民生用途として急激に普及している。近年では趣味の用途だけでなく産業用途では災害時の空撮や高所構造物の安全検査等に活躍するドローンであるが、悪意を持って操縦する場合は社会に重大な影響を及ぼす。例えばドローンの高い機動性を生かし、化学薬品や爆発物を積んだまま要人にピンポイントで突入する行為や、重要防護施設を破壊するテロ行為が懸念されている<sup>(1)</sup>。実際に海外では2014年にサッカーの国際試合中に政治的主張を示す旗を取り付けたドローンがスタジアムを飛行することでパニックが発生した事件<sup>(2)</sup>が報道されており、国内では2015年には首相官邸屋上に放射性物質を搭載したド

ローンが落下する事件<sup>(3)</sup>が発生している。こうした悪意あるドローンに対処する手段として、投網を射出してドローンを捕獲する手段や放水車の水圧で撃ち落とす手段があるが、これらの物理的手段では高速で飛行するドローンの対処は困難であり、有効な対処手段が模索されている。

三菱電機はドローンの利用する電波に着眼し、ドローンが放射する電波を捉えることでドローンを遠距離で探知するとともに、これを妨害することで即座に対処する電波探知妨害装置を開発した。電波によるドローンの遠距離対処が可能であり、条件によるが最大3kmの探知及び妨害を実現している。探知・妨害による防護エリアを形成することで、効果的なドローン警備を実現することが可能である。



### 電波探知妨害装置のコンセプト

指向性を持つ送受信共用の空中線部、受信信号の信号処理及び送信信号を生成する送受信部及びドローンの探知情報を表示し、妨害電波の発射操作を行う操作部で構成している。ドローンが機体状態や撮影画像情報を操作者に伝達するために発する電波を受信し、信号処理によってドローンを判別する。妨害はドローンが利用可能な複数の周波数帯を同時に妨害し、操縦による任意の飛行を阻害することが可能になる。

### 1. ま え が き

小型無人機(ドローン)の急激な普及に伴い、様々な分野でドローンが活用される一方で、悪意を持った操縦者によるドローンの対処については、関係機関での検討と模索が続いている段階にある。これに対して当社は、電波による遠距離かつ広域の探知・妨害を可能にする電波探知妨害装置を開発している。

### 2. 電波探知妨害装置

#### 2.1 ドローン対処の仕組み

図1にドローン対処の仕組みを示す。近年のドローン-プロポ(ドローンの操作機)間の通信は、プロポからドローンの飛行に関する制御信号をドローンに送るアップリンク信号と、ドローンからプロポに撮影画像情報や機体状態、アップリンク信号に対する応答信号等を送るダウンリンク信号によって構成するものが一般的である。また近年のドローンはGPS(Global Positioning System)受信器を搭載し、指定した座標に自律的に飛行する機能を備えているものも多い。一方でドローンの紛失等を防ぐため、アップリンク信号の通信が確立している状態(即座に手動操縦に切り替えられる状態)でだけGPSによる自律飛行が実現できるようにインターロックが設定されており、妨害電波がアップリンク信号を遮断すると自律飛行を停止するものが大半である。電波探知妨害装置はダウンリンク信号を受信することでドローンの存在を探知し、妨害電波によってアップリンク信号がドローンに到達しないように遮断することで飛行制御を阻害する。

#### 2.2 ドローンが利用できる周波数

表1にドローンが日本国内で利用できる周波数<sup>(4)</sup>を示す。特に近年のドローンはより通信容量を必要とするため920MHz帯以上を利用するものが多く、中でも920MHz帯及び2.4GHz帯は技術基準適合証明があれば無線局免許や無線従事者資格を必要としないため一般民生用ドローンのほとんどがこの周波数帯を利用している。また2016年には産業用ドローンをターゲットに、無線局免許、無線従事者資格及び運用調整を必要とするものの、より高出力な1Wでの通信が可能な2.4GHz帯(一部)及び5.7GHz帯が開放されている。これによって産業用途で空撮や安全検査を実施するドローンの通信をより遠距離で実施できるようになり、また他無線機材の混信による電波障害の抑制が期待できる。

表1. ドローンが日本国内で利用可能な周波数<sup>(4)</sup>

分類	無線局免許	周波数帯	送信出力	利用形態	備考	無線従事者資格
免許及び登録を要しない無線局	不要	73MHz帯等	(注3)	・操縦用	ラジコン用微弱無線局	不要
	不要 <sup>(注4)</sup>	920MHz帯	20mW	・操縦用	920MHz帯テレメータ用、テレコントロール用特定小電力無線局	
		2.4GHz帯	10mW/MHz	・操縦用 ・画像伝送用 ・データ伝送用	2.4GHz帯小電力データ通信システム	
携帯局	要	1.2GHz帯	最大1W	・画像伝送用	アナログ方式限定 <sup>(注6)</sup>	第三級陸上特殊無線技士以上の資格
携帯局陸上移動局	要 <sup>(注5)</sup>	169MHz帯	10mW	・操縦用 ・画像伝送用 ・データ伝送用	無人移動体画像伝送システム(平成28年8月に制度整備)	
		2.4GHz帯	最大1W	・操縦用 ・画像伝送用 ・データ伝送用		
		5.7GHz帯	最大1W	・操縦用 ・画像伝送用 ・データ伝送用		

(注3) 500mの距離で、電界強度が200 $\mu$ V/m以下のもの。  
 (注4) 技術基準適合証明等(技術基準適合証明及び工事設計認証)を受けた適合表示無線設備であることが必要。  
 (注5) 運用に際しては、運用調整が必要。  
 (注6) 2.4GHz帯及び5.7GHz帯に無人移動体画像伝送システムが制度化されたことに伴い、1.2GHz帯からこれらの周波数帯への移行を推奨している。

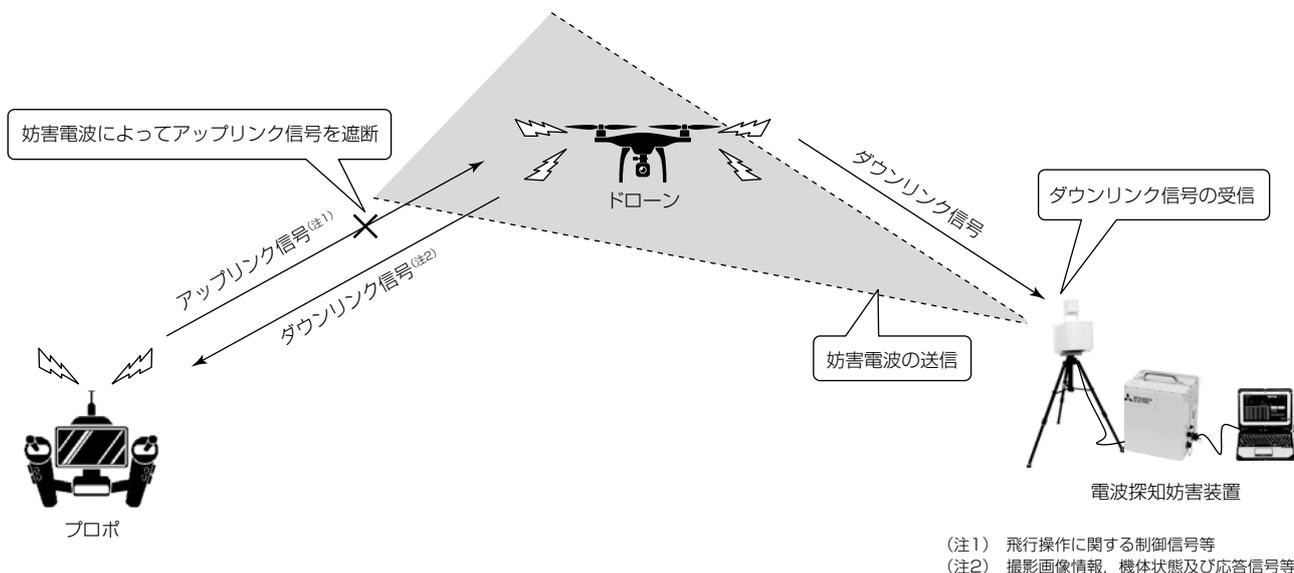


図1. ドローン対処の仕組み

(注1) 飛行操作に関する制御信号等  
 (注2) 撮影画像情報、機体状態及び応答信号等

2.3 電波探知の仕組み

ドローンの電波探知は、ドローンがプロポに向けて送信しているダウンリンク信号を受信することで実現している。ドローンが多用する2.4GHz帯等の周波数帯は無線LAN等の他無線機の信号が入り交じる環境となっている。したがって電波探知妨害装置は様々な受信信号を信号処理し、帯域幅、信号長及び現出頻度等を特徴量としてドローンの蓋然性の高い信号を識別している。

2.4 電波妨害の仕組み

図2に電波妨害の仕組みを示す。アップリンク信号がドローンに到達する電力に対して、妨害電波がドローンに到達する電力が高い場合、ドローンは妨害電波に埋もれたアップリンク信号を検出することができず、通信を妨げることができる。電力妨害と呼称される基本的な手法でありながら、様々な通信方式に有効であるため多用される妨害手法である。ドローンがアップリンク信号を検出できるかは各信号が雑音に比してどれだけの電力を持っているかを示す指標であるSNR(Signal to Noise Ratio)が、通信を維持する上での所要品質を満たしているかが要点となる。拡散符号等によってSNR改善を図る通信も多く、電波探知妨害装置の妨害電力は信号処理利得等を考慮した上で設計している。電波妨害では、特にSNRのノイズをジャ

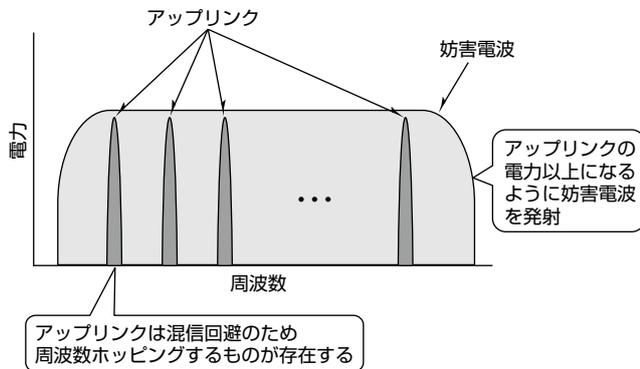


図2. 電波妨害の仕組み

表2. 電波探知妨害装置の諸元

項目	諸元	備考
対応周波数	920MHz帯, 2.4GHz帯, 5.7GHz帯	探知
	920MHz帯, 2.4GHz帯, 5.7GHz帯	妨害
送信電力	4 W (920MHz帯, 2.4GHz帯) 8 W (5.7GHz帯)	送受信部の出力端による
寸法質量	送受信部 W300×H380×D310(mm) 約17kg	突起部分, 付属品を除く
	空中線部 W380×H540×D470(mm) 約7kg	三脚部分, 突起部分及び 付属品を除く
動作温度	-15~40℃	-
防水性能	IPX4相当	送受信部及び空中線部だけ
探知・妨害距離	最大3km	使用環境及び対象ドローン による(注7)

(注7) 送信出力10mW, 周波数2.4GHzのドローンに対して、見通しのある条件による。  
ドローンとドローン进行操作するプロポの距離は1km以上の条件による。

ミングに置き換えて逆数としたJSR(Jamming to Signal Ratio)で議論することが多い。

2.5 電波法との関係

電波探知妨害装置を日本国内で運用するには、運用者が無線局としての開局申請を実施する必要がある。したがって装置性能への制約として、電波妨害を実施する機材でありながら無線設備規則<sup>(5)</sup>に合致した空中線電力、周波数偏差及び帯域内外のスプリアス規程等を満足する必要がある。当社の装置はこれらの規程を満足するように設計しており、妨害装置でありながら妨害周波数外への影響を局限した電波の放射を可能にしている。

2.6 電波探知妨害装置の諸元

表2に電波探知妨害装置の諸元を示す。電波探知、電波妨害の周波数帯は日本国内でドローンが多用する920MHz帯/2.4GHz帯及び将来の利用拡大を見越した5.7GHz帯に対応している。送信電力は920MHz帯及び2.4GHz帯で4W, 5.7GHz帯で8Wであり、探知・妨害距離は条件によるが最大3kmである。また屋外配置のためIPX4(防まつ型)相当の防水性能を持っており、全方位からの水の飛まつに耐える構造となっている。

3. 実空界の妨害実証

妨害効果を実際の環境で確認するため、海外のテストサイトで実空界のドローン妨害検証を実施している。

3.1 複数同時ドローン妨害の検証

電波探知妨害装置が妨害電波を放射しているエリアに複数のドローンが突入した場合の妨害効果について検証した。図3に複数同時ドローン妨害の検証での配置図を示す。また図4に試験で使用したドローンを示す。使用したドローンは世界的なシェアを持つDJI社のPhantom3 Advanced及びPhantom4 Advancedであり、アップリンク信号は2.4GHz帯を利用する。電波探知妨害装置から妨害電波を放射し、その妨害覆域内に2機のドローンを最大速度で突入させて挙動を確認した。

検証結果として、2機のドローンはそれぞれほぼ同時に妨害覆域に突入した後、アップリンク信号が遮断されプロ

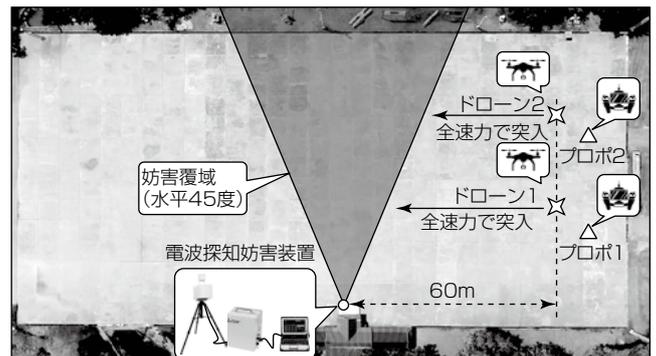


図3. 妨害距離検証の配置図



図4. 試験に使用したドローン

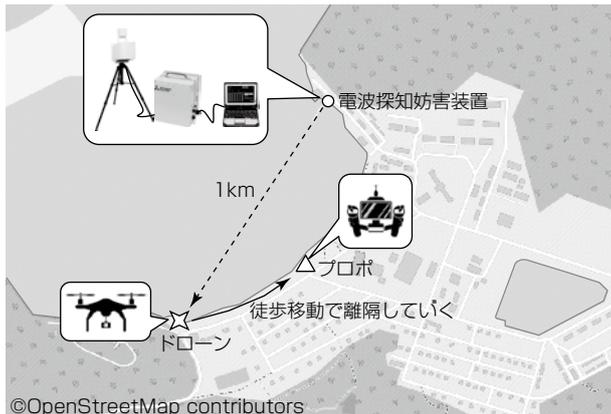


図5. 妨害可能距離検証の配置図

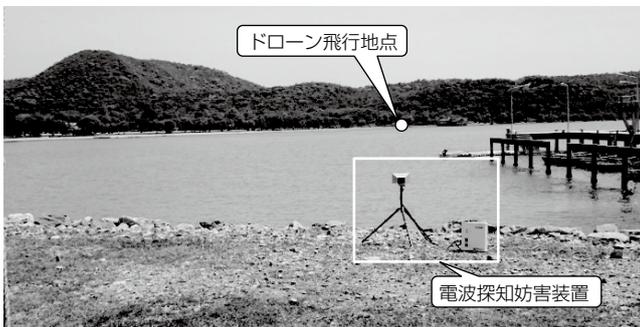


図6. 電波探知妨害装置周辺の様相

ボからの操作が不可になった。通信回線が切断されたドローンは前進指示がなくなったためその場でホバリングし、フェイルセーフモードによってその場で自動降下した。電波探知妨害装置は妨害電波による防護エリアを形成することで、複数のドローンが突入してきた際にも同時に対処が可能であることを確認した。

### 3.2 妨害可能距離の検証

次に、ドローンに対する妨害可能距離を検証した。図5に妨害可能距離検証の配置図を示す。また図6に電波探知妨害装置周辺の様相を示す。図6に示すとおり電波探知妨害装置の位置からドローン飛行地点は見通しがある状態である。電波探知妨害装置から1 km離隔した地点でドローンを高度50mでホバリング飛行させて妨害電波を発射した。その状態でプロボの操作員が徐々に移動し、プロボと

ドローンの離隔距離を変化させることによって妨害効果を検証した。なお移動するプロボとドローンの間は常に見通しがある状態にした。

結果として、電波探知妨害装置から1 km先のドローンへの妨害に対して、プロボとドローンが直線距離で0.3km離隔した時点で操作不能になり、ドローンはフェイルセーフモードによって自動降下した。したがって電波探知妨害装置はドローン-プロボ間通信距離の約3.3倍の離隔距離から妨害が可能である実証を得た。このとき使用したドローンの性能ではドローン-プロボ間の最大通信距離は1 km以上(Phantom4 Advancedのカタログスペック<sup>6)</sup>では4 km)であり、ドローン-プロボ間通信距離の3倍以上が実証できたことで、電波探知妨害装置が3 km以上で妨害可能であることを確認できた。

## 4. むすび

電波によって悪意を持って飛行するドローンに対処する電波探知妨害装置を開発し、実空界での検証によってその効果を確認した。高速で移動する複数のドローンに対しても電波探知妨害装置によって妨害電波による防護エリアを形成することで対処可能であることが確認できた。また、目視が困難な遠距離を飛行するドローンに対しても3 kmの距離で妨害が可能であることを確認できた。今後は更なる性能向上及びカメラ等の他機材との連携等、市場ニーズに合致した開発を進めていく。

## 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，20，211～238 (2018)
- (2) BBC News：Serbia condemns drone flag stunt at Albania match (2014)  
<https://www.bbc.com/news/world-europe-29627615>
- (3) 日本経済新聞：首相官邸にドローン落下，テロ対策の弱点が顕在化 (2015)  
[https://www.nikkei.com/article/DGXLASDG22H82\\_S5A420C1EA2000/](https://www.nikkei.com/article/DGXLASDG22H82_S5A420C1EA2000/)
- (4) 総務省：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/>
- (5) 総務省：無線設備規則(昭和二十五年十一月三十日電波監理委員会規則第十八号)  
[http://www.tele.soumu.go.jp/horei/reiki\\_honbun/72081000001.html](http://www.tele.soumu.go.jp/horei/reiki_honbun/72081000001.html)
- (6) DJI：Phantom4 Advanced/Advanced+ ユーザーマニュアル V1.0 (2017)  
[https://dl.djicdn.com/downloads/Phantom\\_4\\_Advanced/20170722/Phantom\\_4\\_Adv\\_and\\_Adv\\_Plus\\_User\\_Manual\\_JP.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/Phantom_4_Advanced/20170722/Phantom_4_Adv_and_Adv_Plus_User_Manual_JP.pdf)