

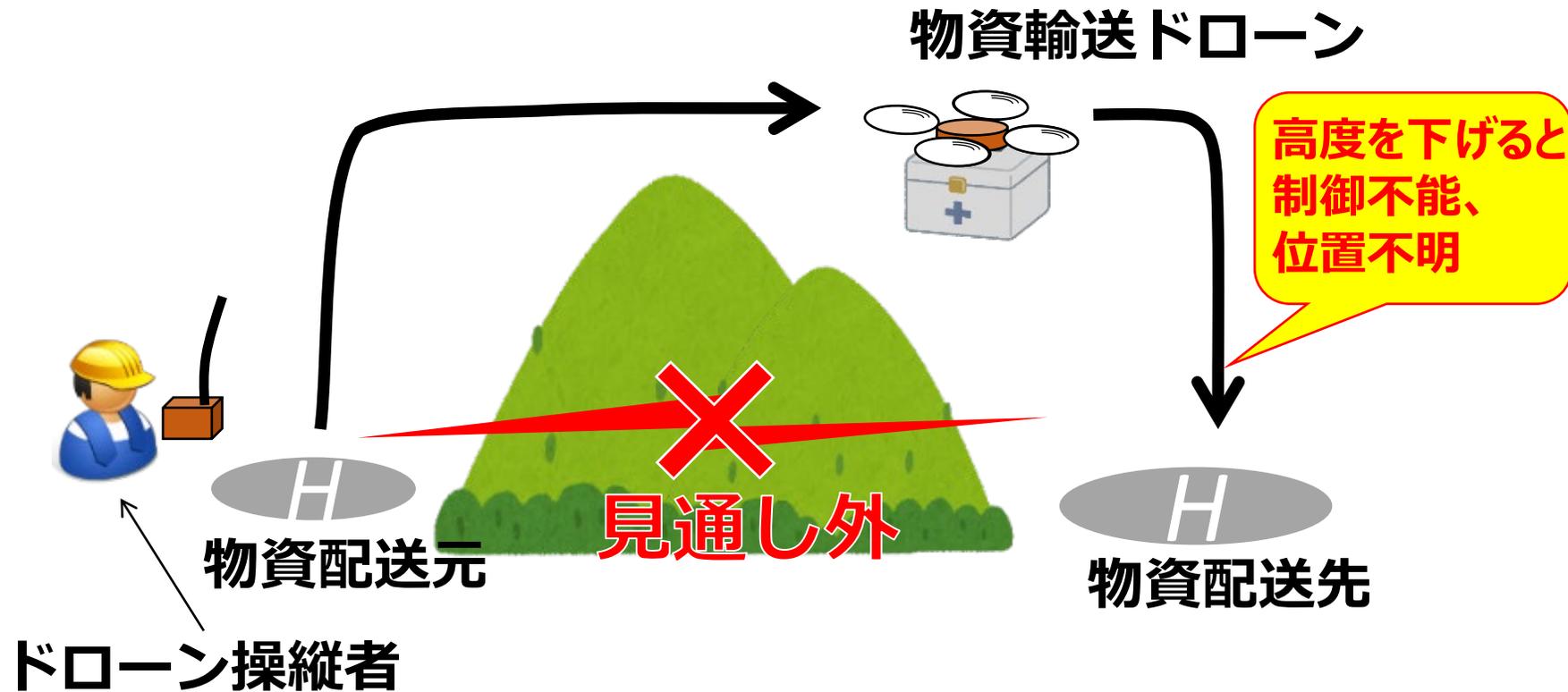
ドローンの安心・安全を支える無線通信技術

電波上空利用作業班
2026年1月20日

国立研究開発法人情報通信研究機構

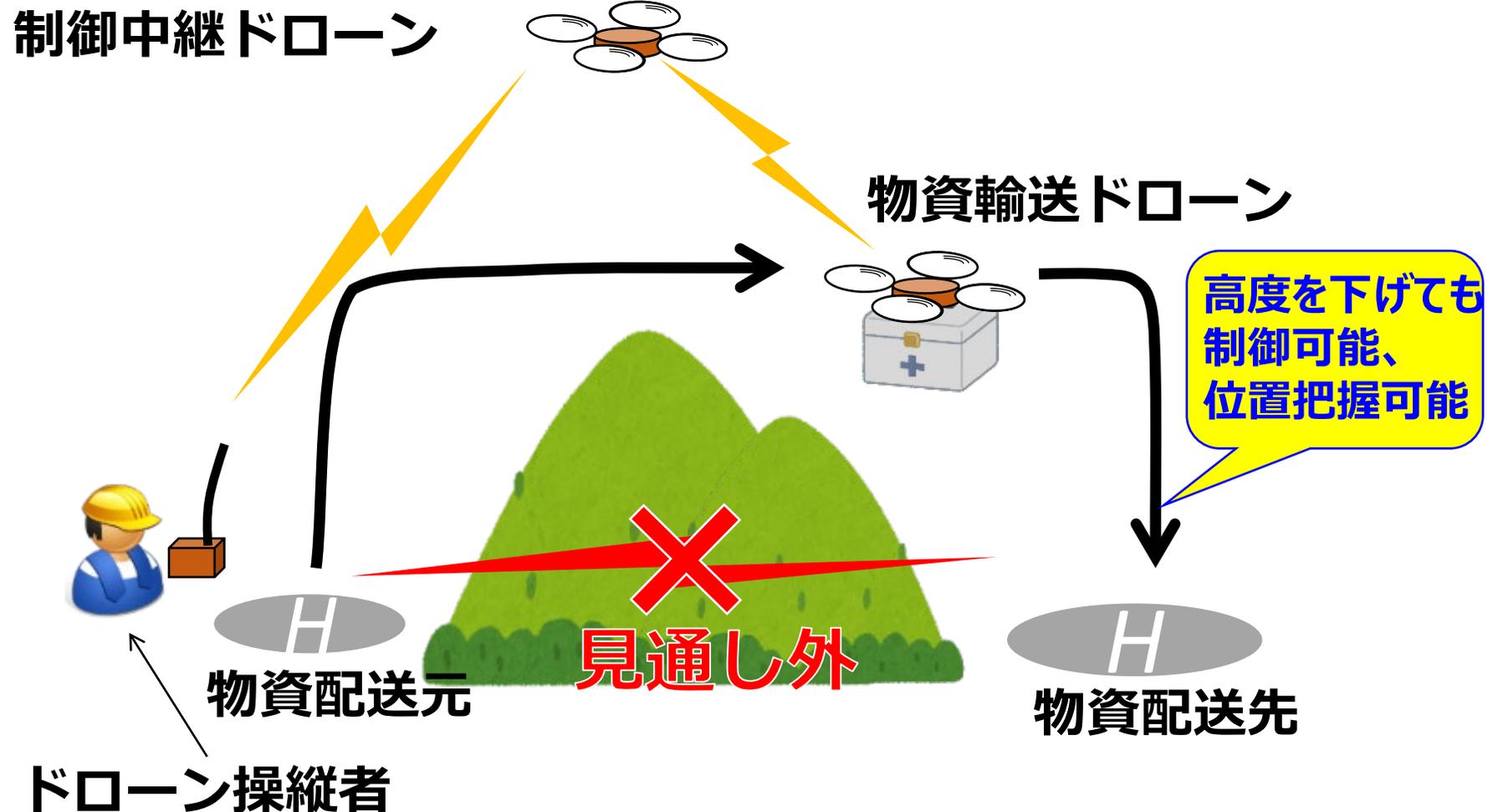
無人航空機の目視外飛行における 通信技術の研究開発

コマンド・テレメトリ情報のマルチホップC2伝送



救援物資配送ミッションの一例

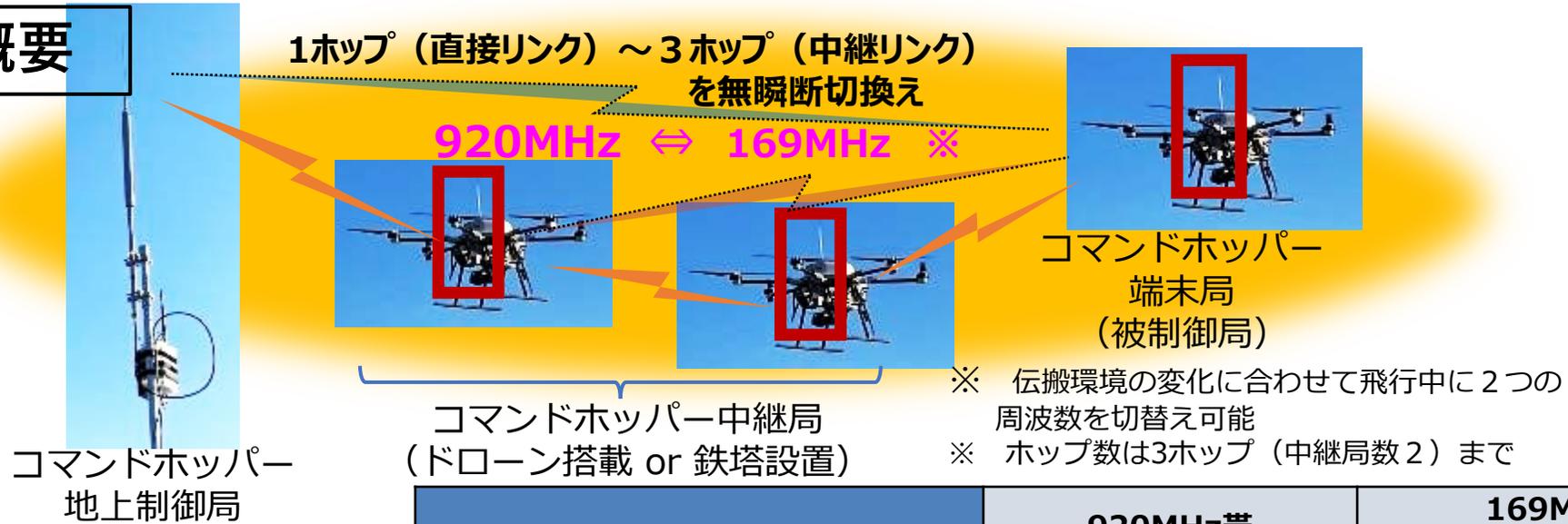
障害物を超えて見通し外制御



救援物資配送ミッションの一例

マルチホップ中継C2リンク (コマンドホッパー)

システム概要



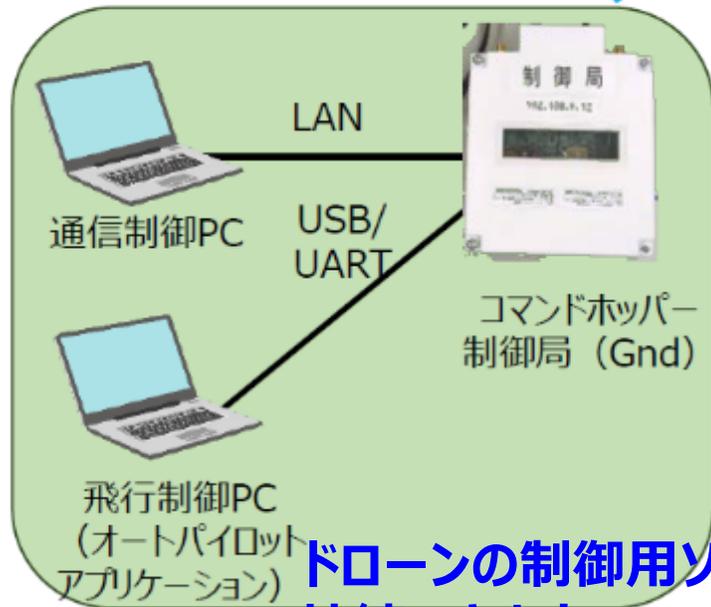
利用周波数帯	920MHz帯 (特定小電力無線局)	169MHz帯 (無人移動体画像伝送システムU169)
使用モード	初期接続 短距離通信用	長距離C2通信用
送信電力	20mW	1W (上空の場合は10mW)
通信距離	1 ~ 2 km	10km以上
伝送速度 (制御局→端末局)	5~27.5kb/s	0.5~4kb/s
伝送速度 (端末局→制御局)	30~64kbps	4.5~10kbps
テレメトリ送信周期 可変範囲	27~63msec	174~406msec
サイズ (ケース含む)(アンテナ含まず)	125 x 170 x 83 mm	
重量 (ケース含む)(バッテリー含まず)	約340g	
消費電力	約4W	10mW出力時: 約4W 1W出力時: 約5W

通信機（コマンドホッパー）とドローン制御系の接続



GUIで通信の状況を確認できます。

地上局

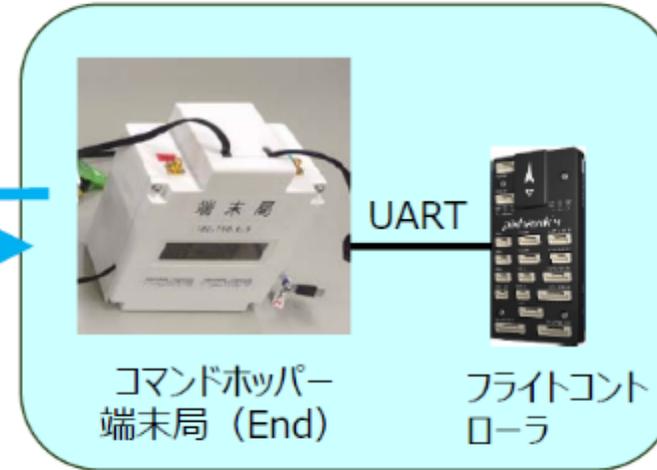


ドローンの制御用ソフトと接続できます。

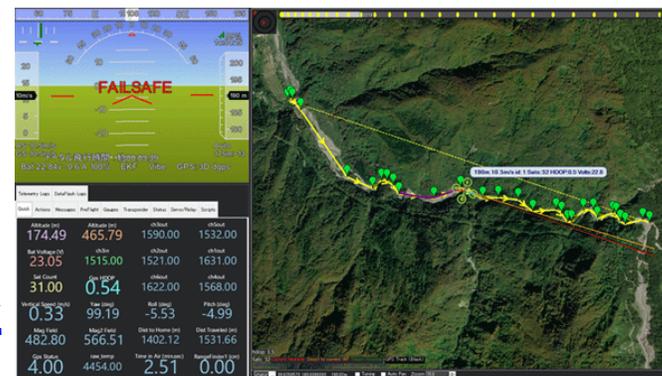
中継機



端末機（撮影機）



ドローンの制御装置であるフライトコントローラと接続できます。



マルチホップ中継C2リンク「コマンドホッパー」の取り組み

空の利用拡大における地域社会課題の解決に向けて、
電波を用いた地域実証をより積極的に進める必要がある

NICTにおけるドローンの活用に向けた電波を用いた地域実証事例
(LTE等の携帯電話が利用できない山岳部や海上部での実証事例が多数)

- ①ドローンによる活火山の降灰観測のためのセンサ設置 (令和3年1月 九州・霧島山新燃岳) (図1)
(国土交通省九州地方整備局九州技術事務所から委託を受けた建設技術研究所との協力で実施)
- ②ドローンによる電線鉄塔の点検 (令和4年3月 浜松市天竜区船明ダム周辺)
(中部電力・中部電力パワーグリッド、日立製作所との協力で実施)
- ③固定翼型ドローンによる洋上監視 (令和5年11月 富士川滑空場)
(航空自衛隊との共同実験において実施)
- ④ドローンによる砂防堰堤の点検 (令和5年11月 山形県庄内町立谷沢川周辺) (図2)
(国土交通省東北地方整備局から委託を受けた建設技術研究所と実施)
※2024年1月中にNICTよりプレスリリース

- ⑤ドローンによるダムの点検 (令和6年3月 静岡県大井川長島ダム周辺)
(国土交通省からの委託を受けた中電技術コンサルタントとの共同実験において実施)
- ⑥ドローンによる山小屋への物資輸送 (令和6年7~8月、令和7年10~11月 長野県白馬村、大町市) (図3)
(日本無線との協力で実施)
- ⑦長距離を隔てたドローン制御実験 (令和7年5月 大分県別府湾周辺)
(大分県産業科学技術センターとの協力で実施)
※総務省地域社会DXナビに掲載 (<https://dx-navi.soumu.go.jp/case/065>)

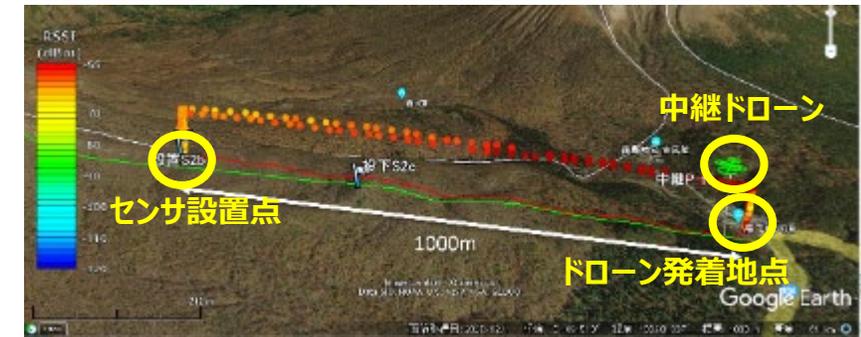


図1 ①活火山の降灰観測用センサ設置時のドローンと通信の軌跡



図2 ⑤点検用ドローンの制御画面の一例。
携帯電話圏外かつ見通し外を含む全飛行経路において通信を維持

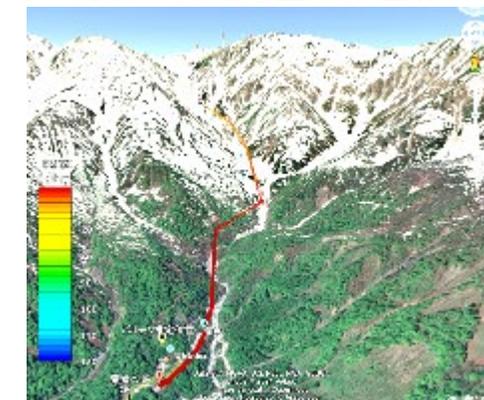
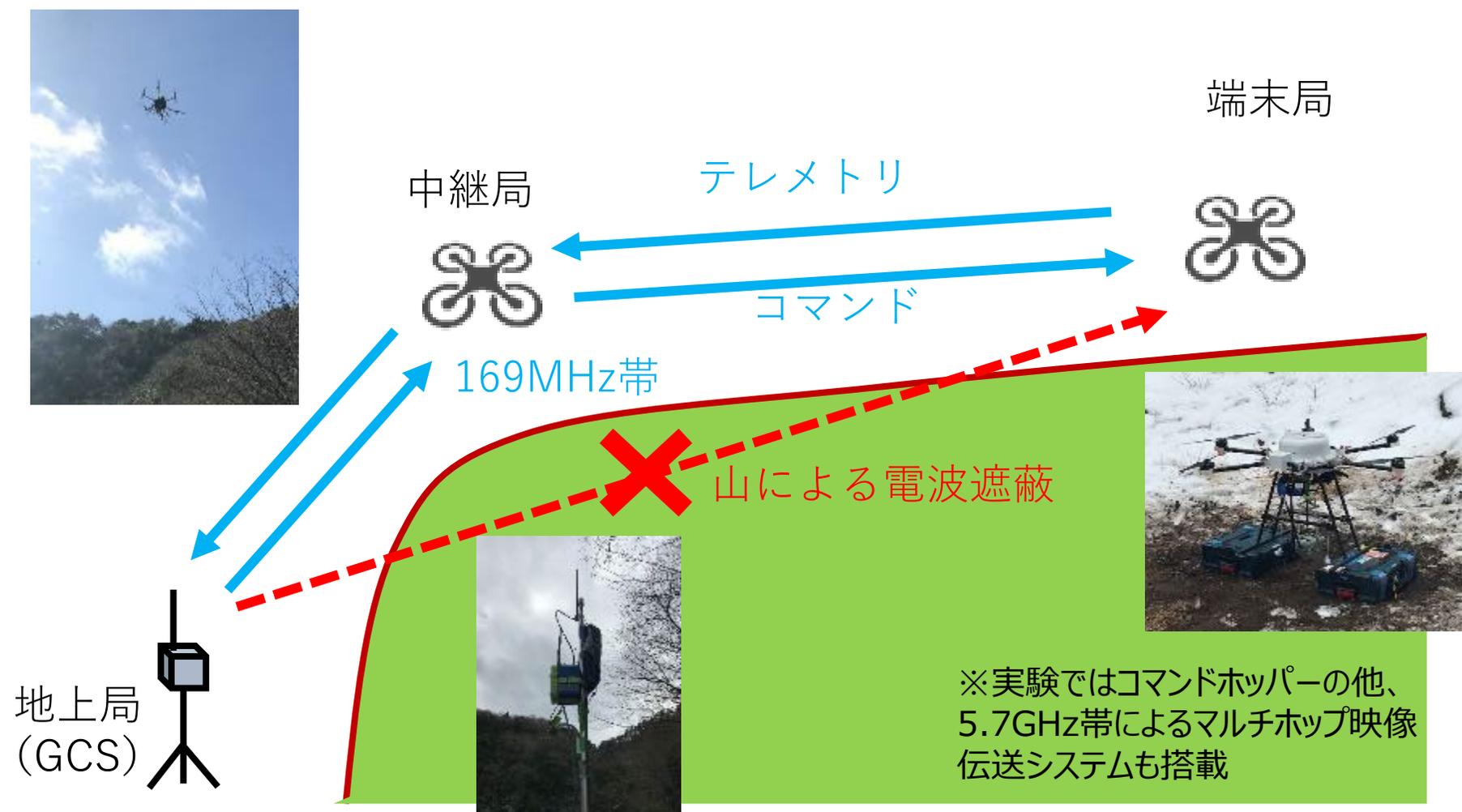


図3 ⑥山小屋への物資輸送ドローンと通信の軌跡

コマンドホッパーのフィールドでの評価実験 山間部での169MHz帯マルチホップ通信実験

実施日：2023年11月14日 実施場所：山形県東田川郡庄内町立谷沢川周辺
((株) 建設技術研究所と共同で実施)



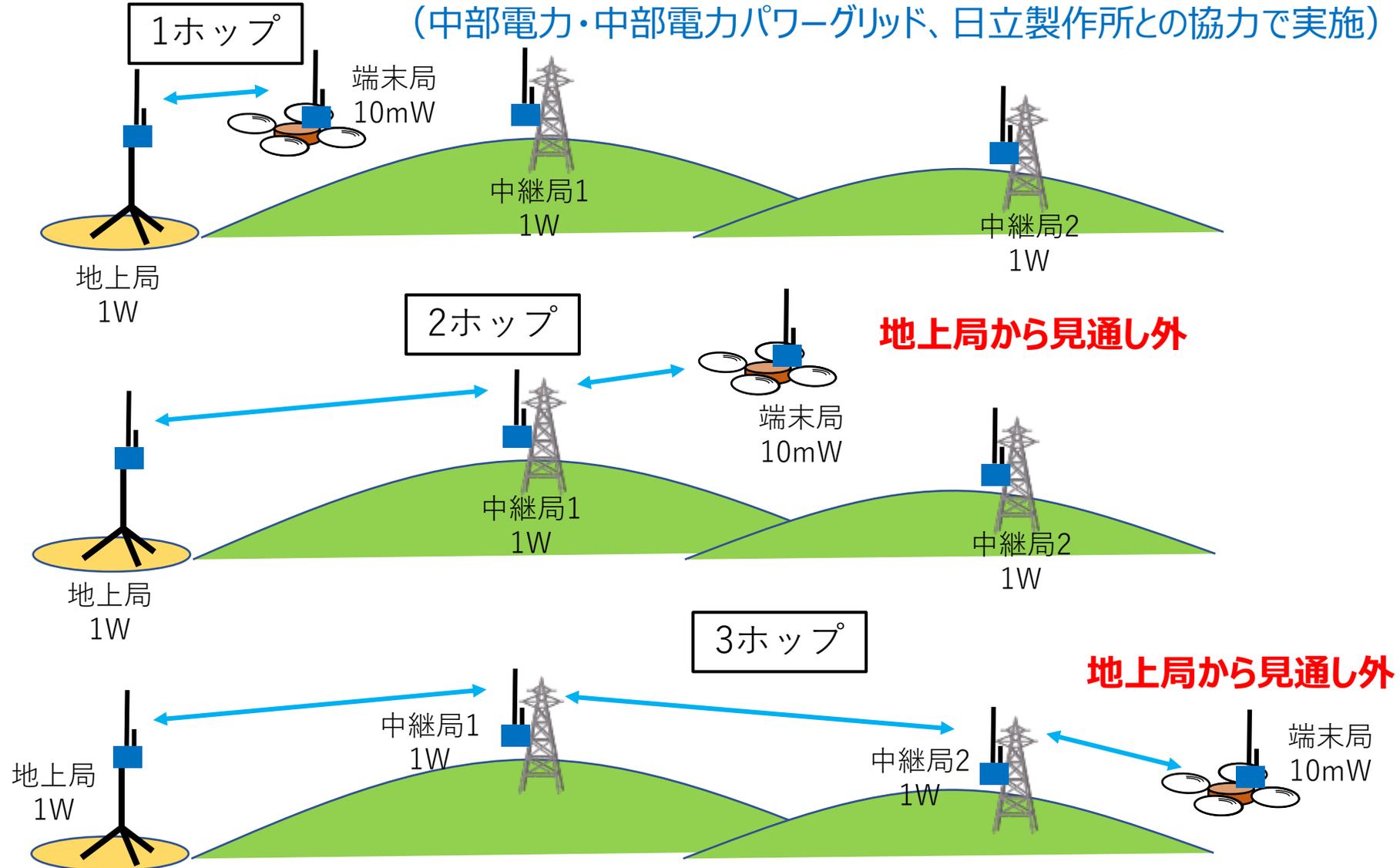
通信の評価結果



中継ドローンと撮影ドローンとの電波の強さ

コマンドホッパーのフィールドでの評価実験 送電鉄塔を中継する169MHz帯マルチホップ通信実験

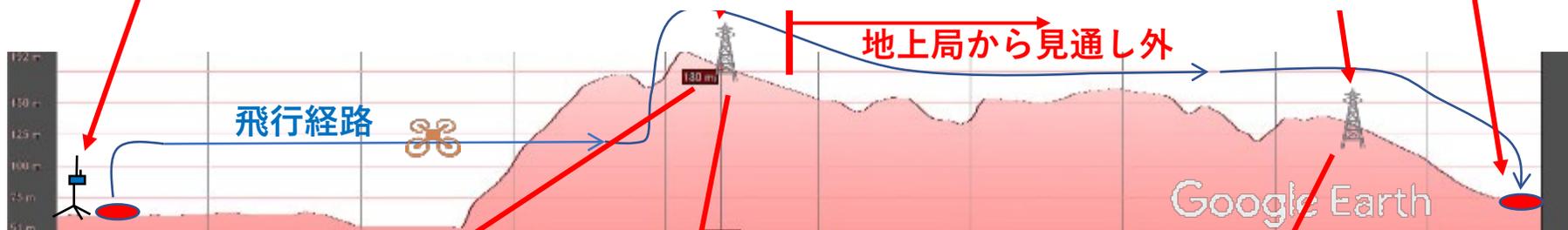
実施日：2022年3月1-4日 実施場所：浜松市天竜区船明ダム周辺
(中部電力・中部電力パワーグリッド、日立製作所との協力で実施)



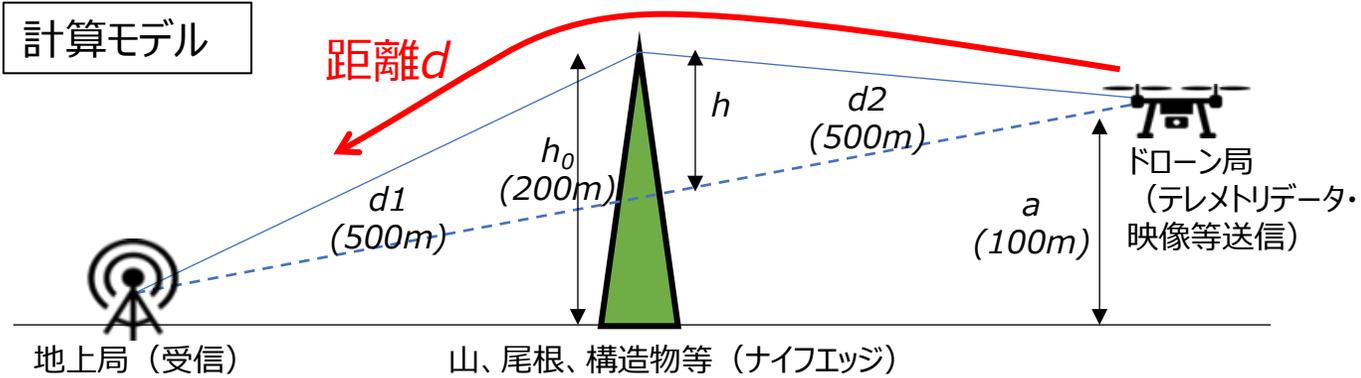
点検飛行実験 各局の配置と飛行中の受信電力



鉄塔や山頂などに常設することで、数km範囲で安定した通信が可能となる

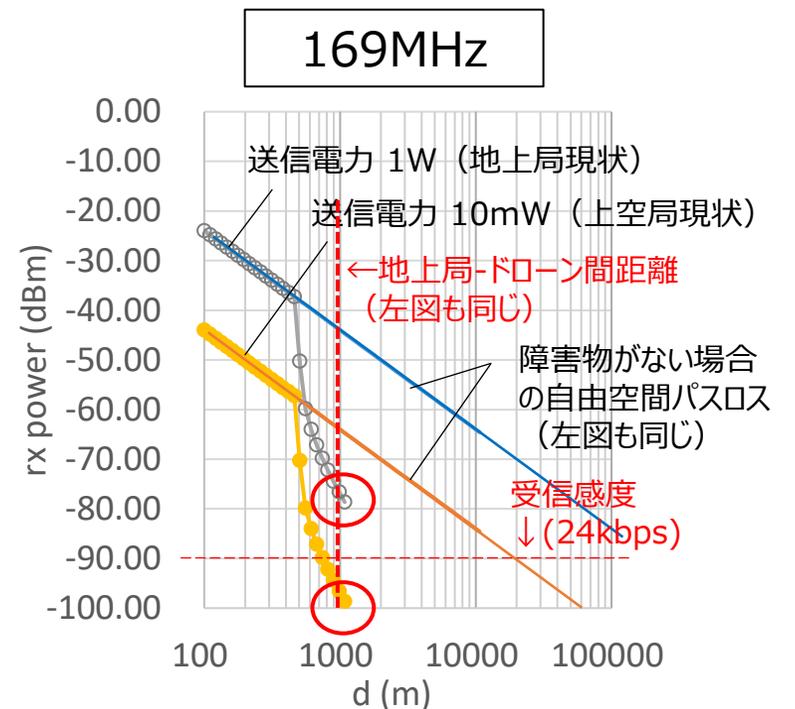
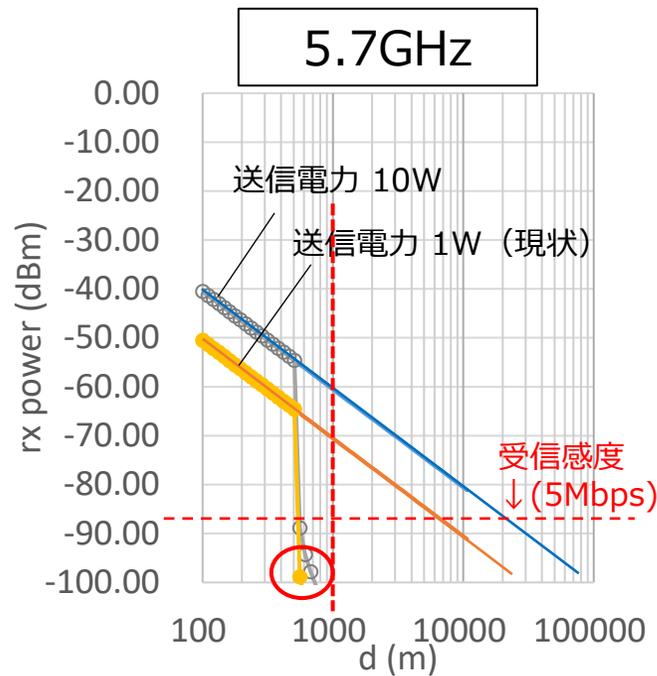
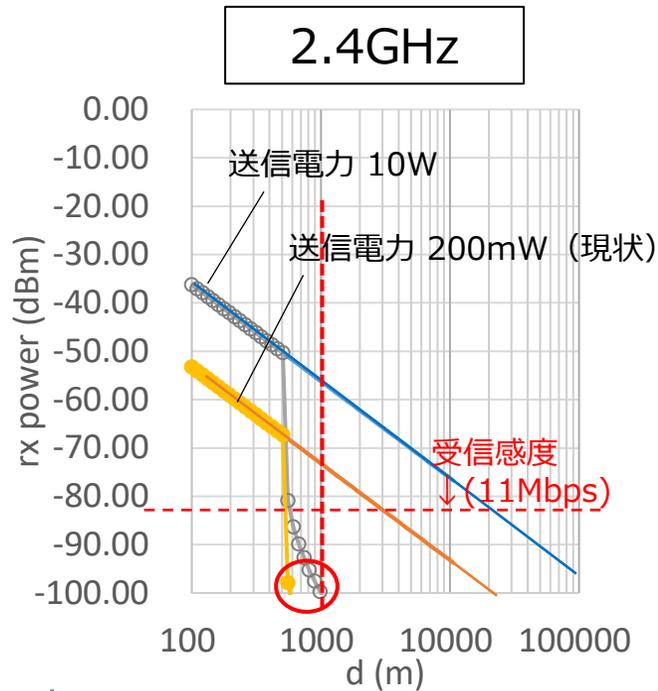


高出力波の障害物回り込み伝搬特性（ナイフエッジモデル）



※ 参考文献
高田潤一、電波伝搬の基礎、MWE2005 Digest, Nov 2005.

VHF帯を除き、山間部など起伏の多い地形では、単に送信電力を増大しただけでは通信困難。
 → 電波の効率利用の観点からも、山間部等でのカバー率拡大にはマルチホップ通信が有効。



仮に上空送信電力を10Wにしたとしても、障害物で40dB以上減衰し、通信不可

仮に上空送信電力を1Wにすれば、障害物を越えて通信可

空モビリティ同士の機体間通信技術の研究開発

機体の位置情報を共有する「ドローンマッパー®」



- **920MHz帯 :**
小さい送信出力 (20mW以下)
免許不要
デバイス入手容易
Wi-Fiほどは混雑していない
- **LPWA :**
Low Power Wide Areaの略
小出力で長距離通信可
送信可能データ量は限定
LoRa方式採用

開発したドローンマッパードバイス

地上を介さずに機体間で通信が可能



LPWAマルチ通信端末小型機
60×75×10mm、55g
(バッテリー除く、アンテナ外付け型はアンテナ除く)



LPWAマルチ通信端末汎用機
60×75×40mm、100g
(バッテリー除く、LPWAアンテナ・GPSアンテナは内蔵)

ADS-Bの受信
ドローンのフライトコントローラとの
接続・連携飛行が可能

920MHz帯LPWA+リモートID (Bluetooth LE5.0) の送受信が可能

LPWAによる有人ヘリ動態情報取得実験

手荷物として
LPWA通信端末を
有人ヘリに搭載
※搭載位置は左
後部座席窓際



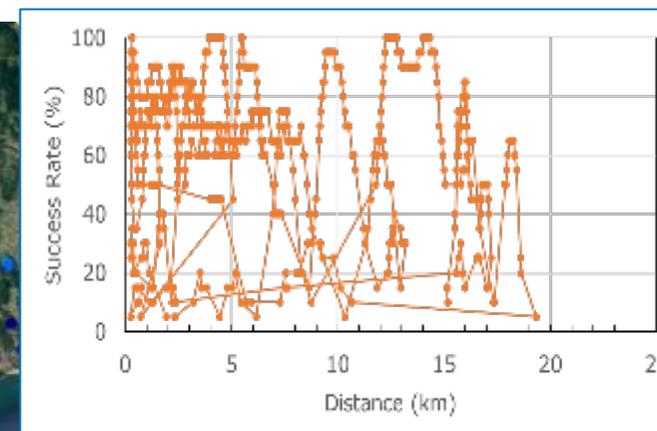
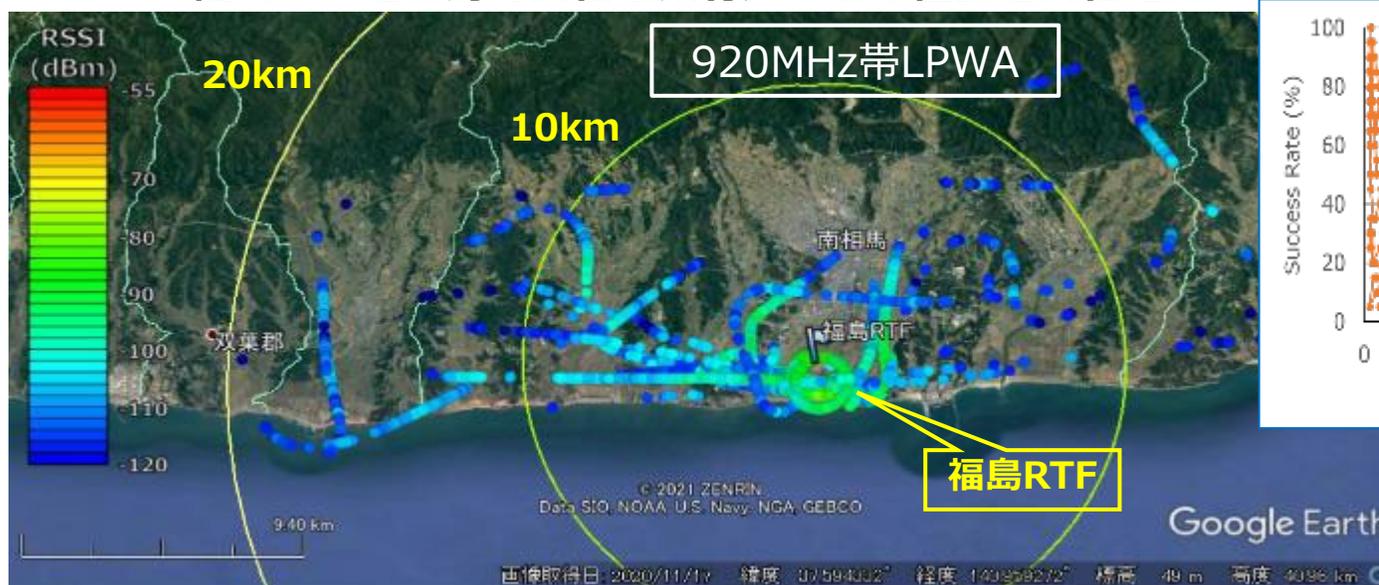
LPWA地上端末



直接V2V通信による
動態情報ブロード
キャスト(1秒毎)

福島RTF地上局で受信した有人ヘリの位置と受信電力

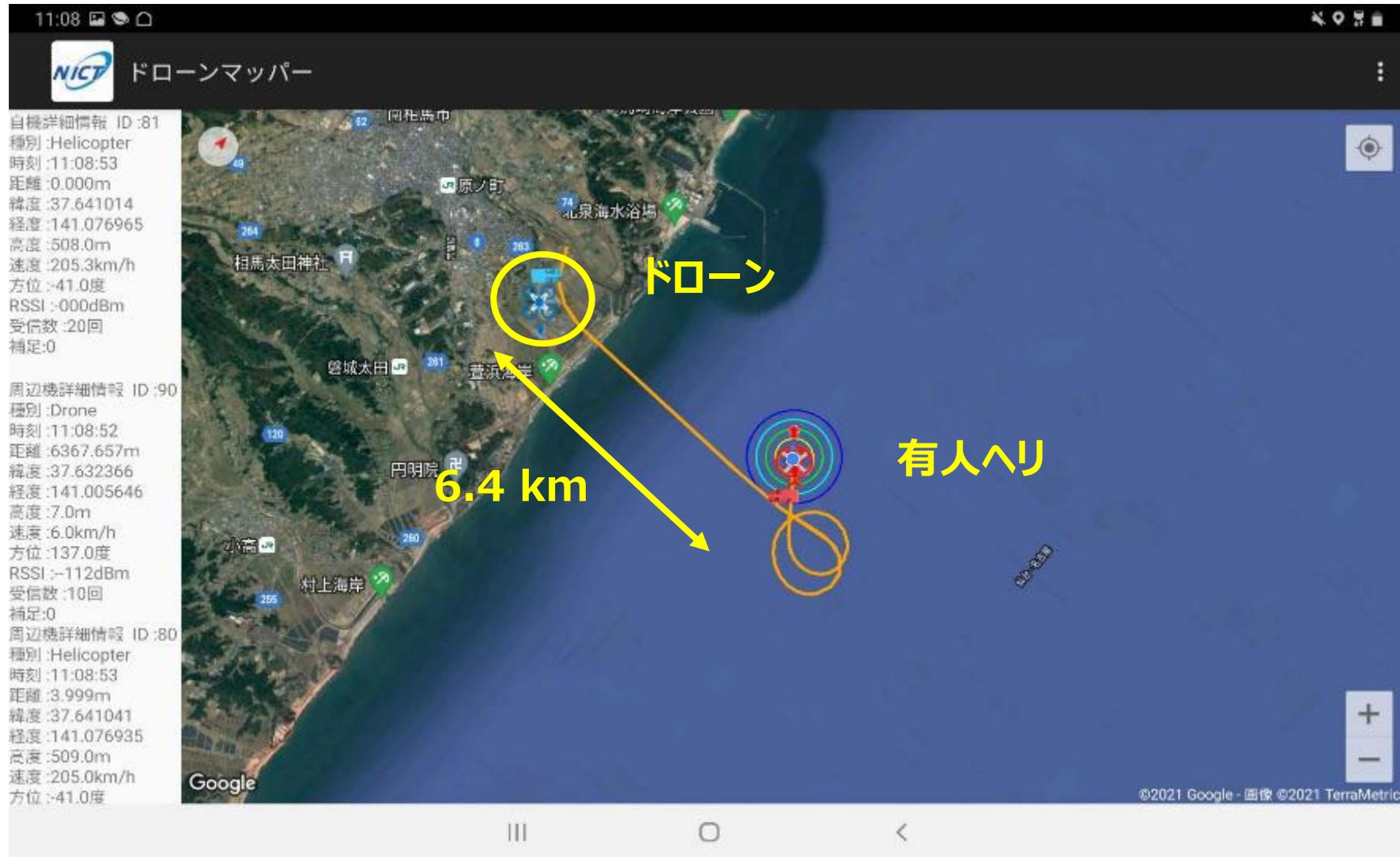
2021年3月@福島RTF



通信成功率の距離特性

- ✓ 最大18km付近からの受信に成功。
- ✓ ただし、ヘリ機内の減衰やRTFの建物による遮蔽などによりかなり通信品質にバラツキあり。

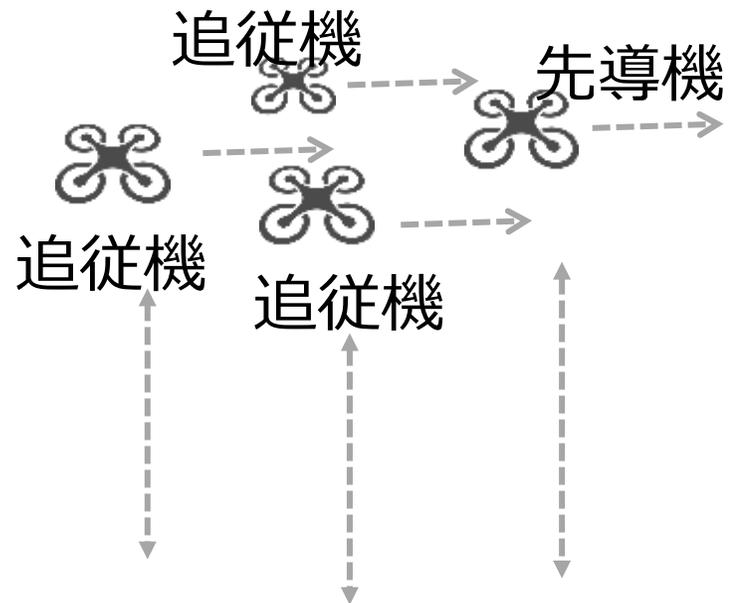
LPWA機体間通信による有人ヘリからのドローン検知 (ヘリ機内のタブレットに表示された6キロ先のドローン位置)



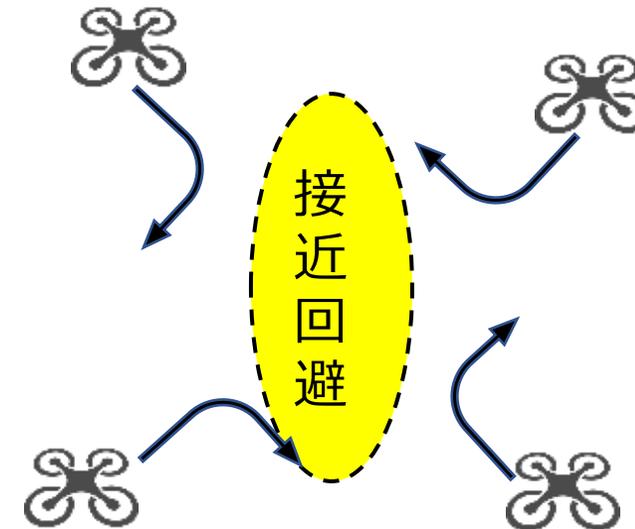
有人ヘリコプターからもドローンの位置を遠く離れた場所から確認することが可能

空モビリティ同士の機体間通信を使った 自律飛行制御技術の研究開発

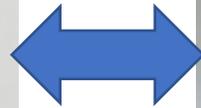
- 機体間通信に基づいて、先導機（1機）に追従して追従機（3機）が自律的に離陸・飛行・着陸
- 機体間通信に基づいて、複数機（4機まで）が互いに接近した時に、操縦者を介さず自律的に接近回避



自律追従離陸・飛行・着陸



自律接近回避



機体間通信モジュール

周波数：926.7-927.3 MHz (55-57ch)
チャンネル幅：600kHz
空中線電力：20mW

連携飛行制御装置

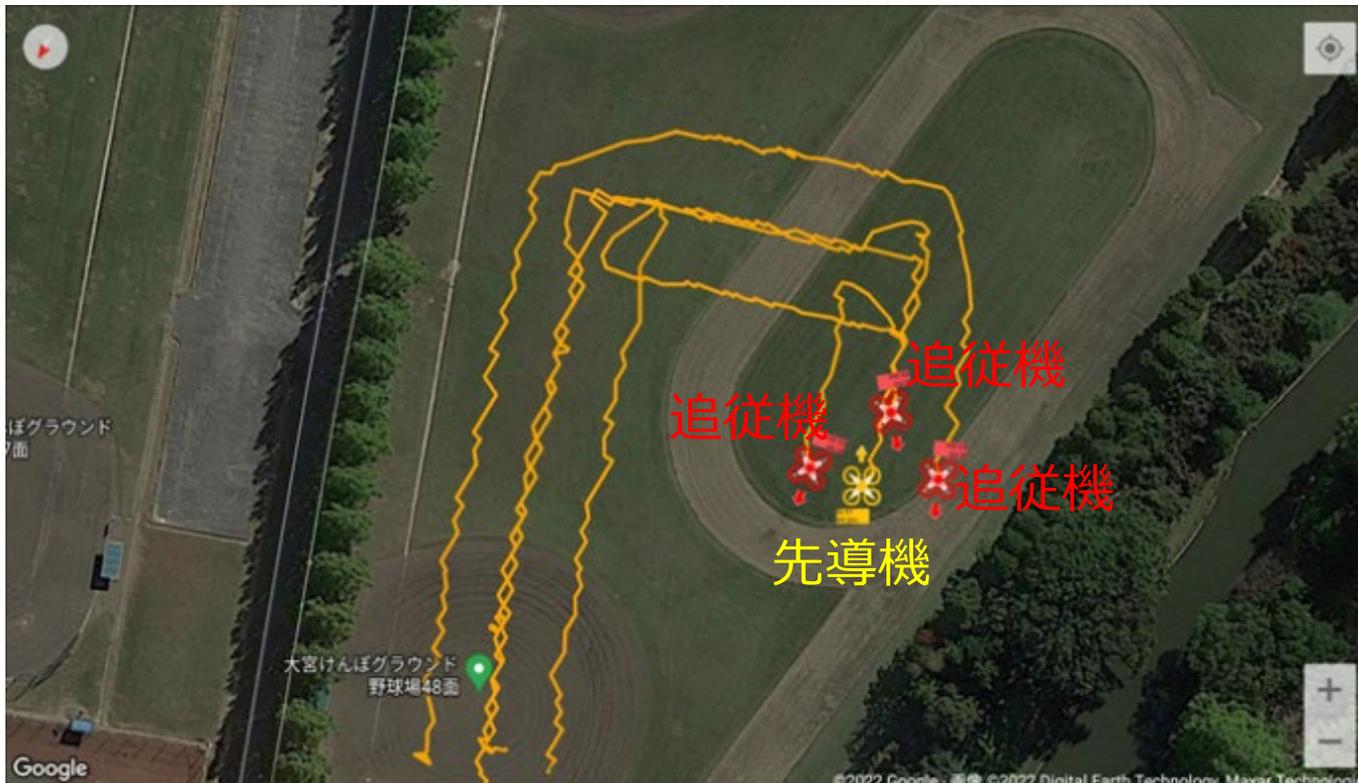
Raspberry Piに実装

フライトコントローラー

PixHawk

ドローン同士の直接通信による群飛行実験

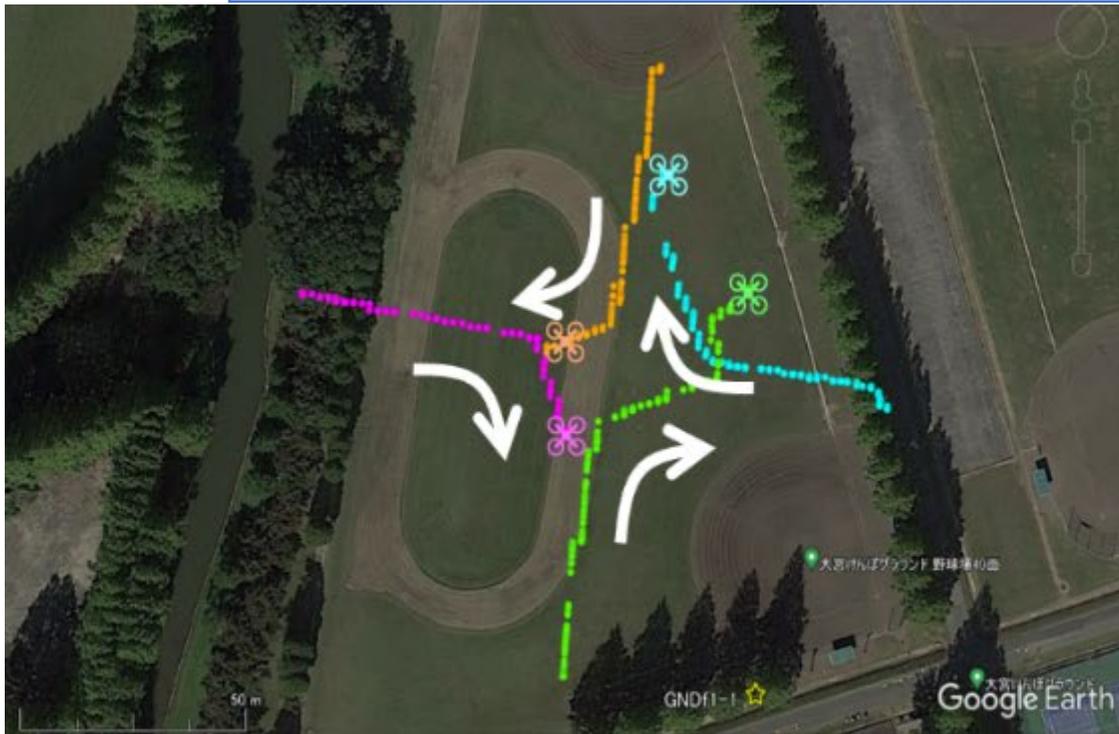
- ▶ 1台の先導機を操作するだけで、他の複数の追従機が編隊を組んで離陸、飛行、着陸可能な群飛行制御
- ▶ 飛行制御に利用する位置情報、進行角度情報をドローンのフライトコントローラより取得



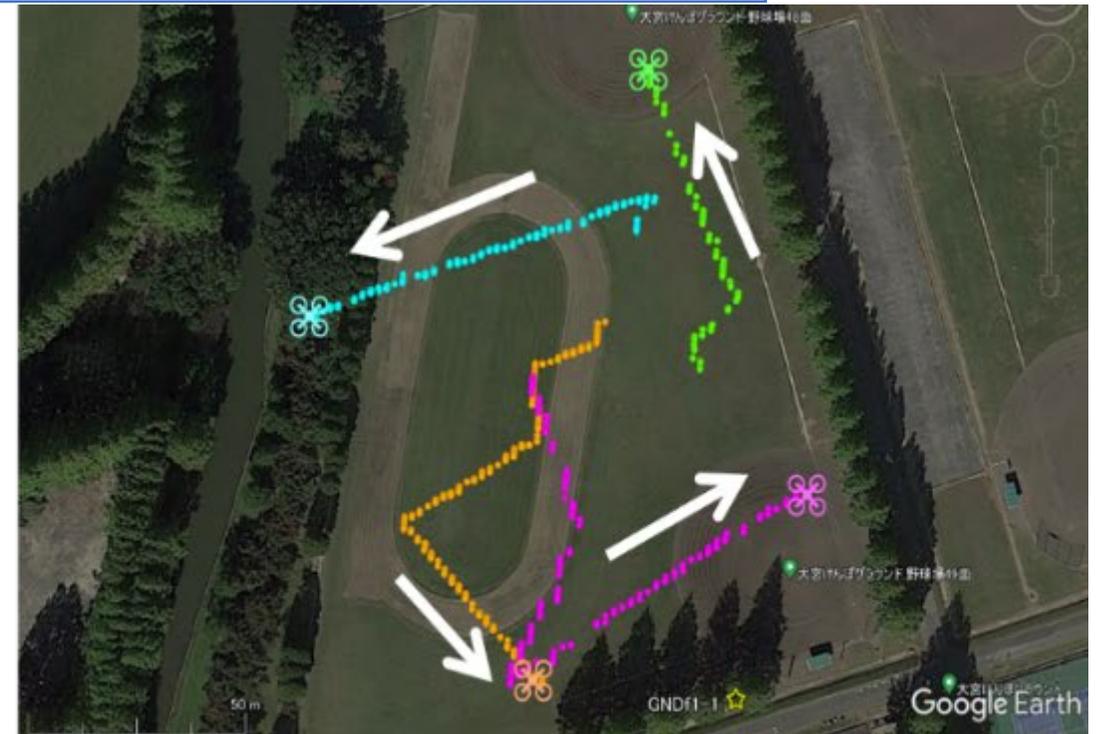
すべての機体に対して地上と通信してはチャンネルを多く使うことになる。
機体間通信による周波数の有効利用が必要と考えられる。

ドローン間の接近回避実験

- 4台のドローンが東西南北の方向から同一の地点を通過して直進
- ドローン同士の直接通信により他機が一定の距離以内に接近すると操縦者を介さず自律的に飛行経路を変更し、衝突を回避



自律的に接近回避



元の経路に復帰

小型・軽量の無線機でお互いの位置情報や次の行先の情報が交換可能であり、5km以上離れた場所から認識できれば、余裕を持った回避行動が可能。

■ LEOコンステの上空利用に対する期待が非常に多いことについて

→期待には同意しつつも、同時に課題もあること（万能ではない）、自営系無線の活用にももっと目を向けるべきであることを注意喚起すべきではないか。

（ハンドオーバによる通信切れ、将来の回線数増大による輻輳懸念（特に災害時など）、ネットワークのコントロール拠点やサービスプロバイダの拠点が海外であることによる安全保障懸念、果たしてC2リンクをこれへの依存度をどこまで許容すべきか、など。）

■ 長距離・広帯域通信に対する要望が多いことについて

→今後、ドローンや空飛ぶクルマの数が増えていくと、全ての機体で長距離映像伝送しては、電波のひっ迫は必至という課題に注意を向けるべきではないか。また、映像伝送に代わるエッジAI処理の積極的な導入も技術的・制度的に検討していくべきではないか。さらに、必要な場所に最小限の電波を届けるという意味で、映像とC2の分離、マルチホップ（地上中継・上空中継）も有効ではないか。

■ 免許不要バンドを増やすべき、との意見について

→免許不要バンドは被干渉回避が保証されないことを認識すべきではないか。

■ JUTMによる飛行調整撤廃の意見について

→JUTMは飛行調整はしていないこと、JUTMの運用調整がなければ混信が回避できず、現状では電波の有効利用も難しくなる、という問題の認識が極めて弱いように感じられる。

■ 衝突回避は、非協調型（レーダ）の周波数を確保すべきとの意見について

→レーダのほか、協調型（機体間通信）が中型機に実装可能なレベルにあることにもっと目を向けてもらうべきではないか。（特に、リモートIDよりも長距離通信が可能なLPWA方式など。）

■ 他機の位置情報把握手段としてのリモートIDの利用とADS-Bの義務化のご要望について

→リモートIDの利用は搭載がすでに義務化されたデバイスの活用ができる利点大きいですが、通信可能距離が短いため、利用できる範囲に制約がある可能性あり（多数機群飛行や有人ヘリ相手など）。また、ADS-B（ポータブル型を含む）は空飛ぶクルマや有人機への搭載義務化は望ましい方向。一方、ドローン側への搭載については、受信は可能でも送信は免許対象であること、ドローン（中小型を含む）への搭載はIDの枯渇や通信混雑により有人機に悪影響の可能性を認識してもらう必要あり。その場合、低空を飛行する有人機側で周辺を飛行するドローンの位置を把握したり、ドローン同士で位置情報を共有する第3の手段として、距離の短いリモートID等に代わり、サブギガ帯の長距離無線方式（LPWA）による位置把握技術の開発・実証がNICTを中心にNEDOやJST等の元で進められ、自律群飛行や自律衝突回避への利用効果も具体化してきていることについてもここで強調したい。