

ドローン活用検証実験報告書

2018年9月13日

モバイルコンピューティング推進コンソーシアム
／ドローンWG

グループリーダー: 小林 佳和

長崎県小値賀町長
西 浩三様

モバイルコンピューティング推進コンソーシアム(MCPC)及び、
組込みシステム技術協会(JASA)は、現在共同で取り組んでいる
ドローン活用検証(下記)の第1回実証実験を、小値賀町による
多大なご支援の下、2018年7月9日に実施致しました:

(検証内容)

離島 山間部での ドローン目視外飛行条件緩和を
受けての広義のドローン効率的活用へ向けて

- 1機:同時多面利用
- 複数:連携利用(今回は通信面からの検証)

本報告書にて詳細結果を報告致します

試験地：斑島と小値賀島間



五島列島小値賀島



市場でのドローン(動くIoT:広義の無人機群)への期待 主な物

小値賀町町長のお話

- ・オンデマンド(要求時に飛ばせる)

「カミキリムシのタイミングに合わせて防虫対応の飛行体を飛ばしたい」などの対応。

(現在、事前予約した日にしか飛ばせない)

注:カミキリムシが、松や桜の害虫を運ぶとのこと
効果のある日時に防虫剤を、撒きたい。



長崎県小値賀町

- ・複数手段

空を飛ぶにしても、自然環境はいろいろ。固定翼からヘリ型からマルチコプターなどの連携で、対応したい。
これを、定期便化してほしい

- ・リーズナブル

オンデマンドや、複数手段を実現するのに、リーズナブルな実現が必要
例)

- 防虫材散布がより手軽に安価にできる。あるいは、複数手段動くIoTの連携も安価)
- 藻の検査: 現在定期的に2日間町役場の人が活動。自動飛行での省力化に期待



小値賀町 西町長

市場でのドローン(動くIoT:広義の無人機群)への期待 主な物

- ◇ 一次産業業分野における活用
 - 例)・防風林の防虫や防災力維持
 - ・農林漁業活用

- ◇ 製造業分野における活用
 - 例)・工場やソーラや建物やインフラの点検 保守 運用
 - ・無人化プロセスでの製造業省力化付加価値化

- ◇ サービス業における活用
 - 例)・流通業分野における活用
 - ・観光サービス活用

- ◇ 産業用ドローン全般
 - 例)・コストメリット
 - ・新付加価値

市場でのドローン(動くIoT:広義の無人機群)への期待へ対応する
今回の検証点

フライトコスト=C



マルチユース&航
路での複数フライト
用通信検証

- ①マルチユースによるリーズナブル化
一回の飛行で、複数の役目をこなす。この実現への基礎試験。
(通信での情報提供+映像+小口輸送
+複数機での航路活用 etc)

1回のフライトコスト Cと置く
3つの役目で使えば
1つあたりは単純計算で $1/3 = C/3$

- ②マルチユース用の通信方式
1フライト時の用途のマルチユースでの通信
(例:ドローン制御通信の2.4G+アプリ通信の2.4GWi-Fi)
同一エリア・航路でのマルチデバイス(複数の動くIoT)
(例:ヘリポートの2.4G無線LAN制御ロボや遠隔側の宅配Boxロボ)+2.4G通信制御のドローン(マルチコプター、ヘリ、固定翼..)

小値賀町での検証

①マルチユースによるリーズナブル化（複数の役目の基礎試験）

今回

通信での情報提供：Wi-Fiでのアプリ通信試験＋映像：空撮＋小口輸送：町役場の地元広報＋複数機での航路活用：往復フライト試験。

下図の目標に対して、今回はそのスタートとなる計測を実施。

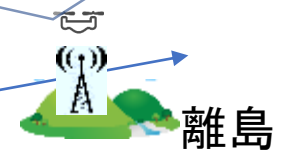
マルチユース要素	今回の実証実験	今後の予定
1. 通信での情報提供	Wi-Fiでのアプリ通信性試験	用途ごとのアプリ通信（静止、すれ違い通信、リレー他）
2. 映像	空撮	農林漁業毎や防災での映像活用 可視光を超えた映像活用
3. 小口輸送	町役場の地元 広報紙搬送	複数のフライト手段や他の自動 運転との連動
4. 複数機での航路活用	往復フライト 試験	往復航路、登坂車線的復路活用 オープンソースでの協調フライト

①マルチユース(複数のことの同時実現) その1

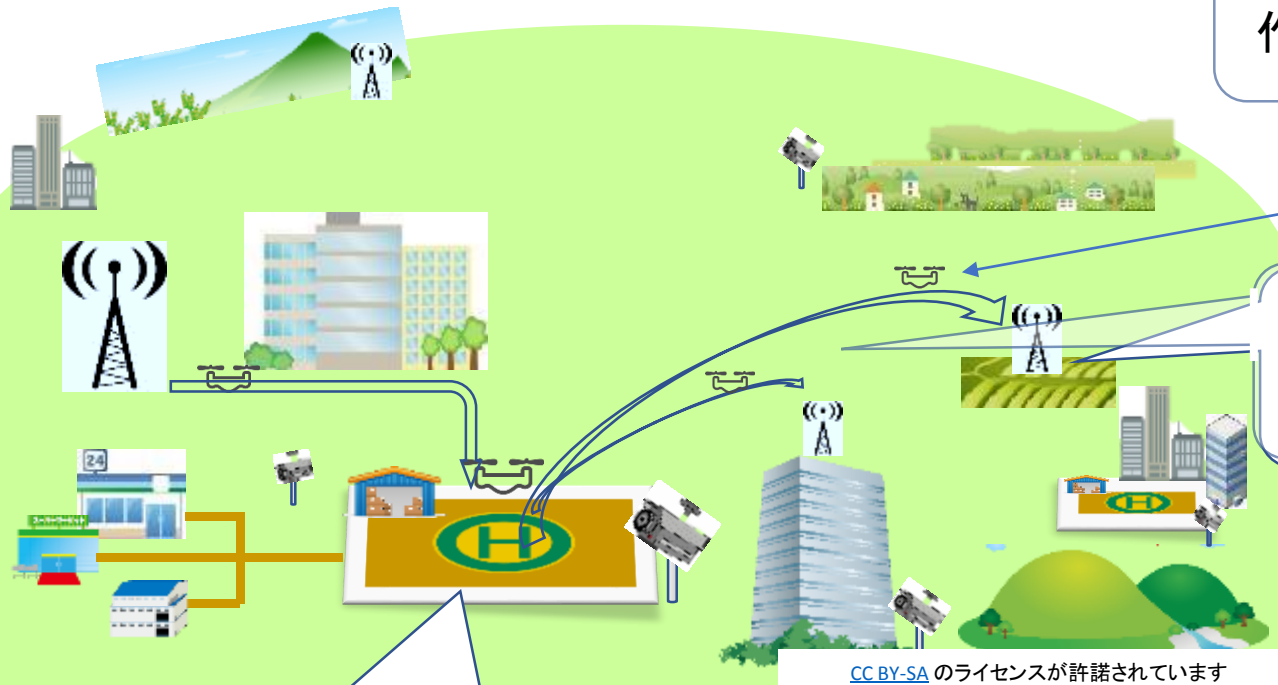
マルチユース要素	今回の実証実験	今後の予定
1. 通信での情報提供	Wi-Fiでのアプリ通信性試験	用途ごとのアプリ通信 (静止、すれ違い通信、リレー他)

検証シーン ドローンポートや特定通信エリアの上空飛行においてのアプリの通信をする。ドローンポートでは、ソフトの入れ換え、上空では計測情報を受信と今後の作業指示。

上空通過時でのアプリ
作業更新指示。



特定のエリアで
アプリ通信
しながらの作業



アプリのソフトウェア
更新、メンテなど

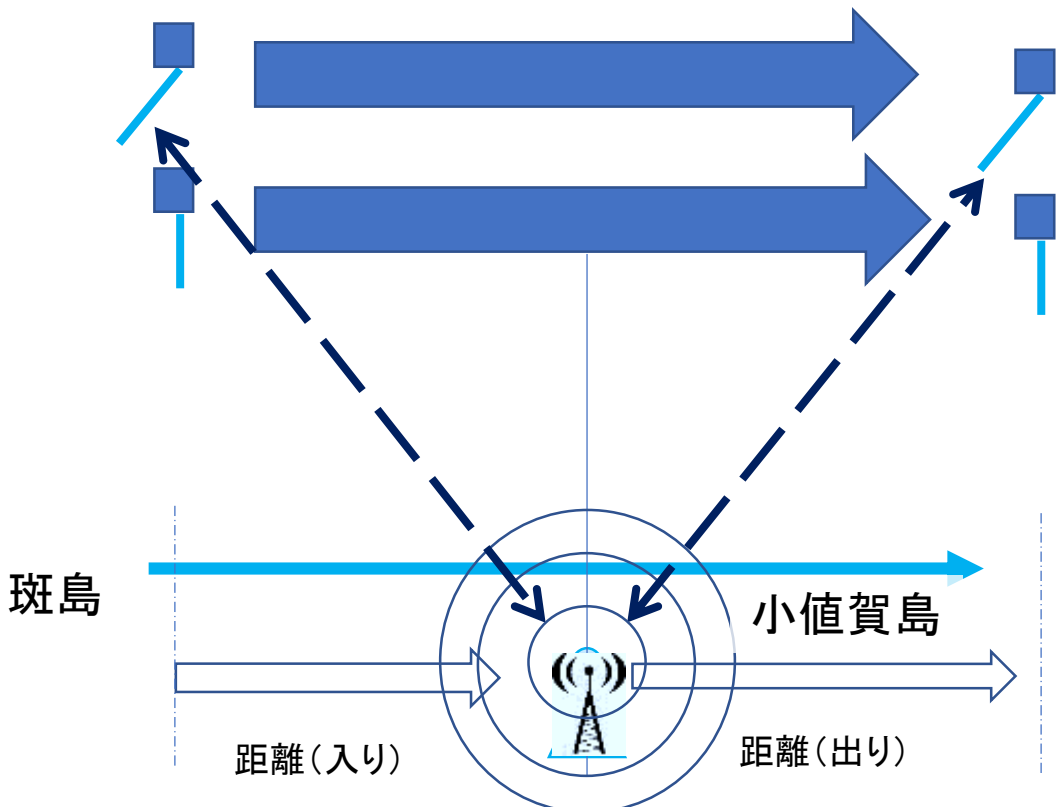
CC BY-SA のライセンスが許諾されています

検証試験内容(1/2):ドローンポートや特定通信エリアの上空飛行におけるアプリ通信



ドローンの下面にLinuxBox+アンテナを取り付け、飛行通信試験

指定エリア上空飛行でのWi-Fi通信特性を計測



・通信方式
11n 2.4G帯通信

・近づいての通信確立
・遠のいての通信切れを
送達確認試験
通信帯域計測
などにて計測
高度50mで1kmの通信
を確認(環境雑音無し
快晴、海上飛行通信)

その他の例
50m飛行時に、アンテナ
角度試験→依存有、

検証試験内容(2/2):ドローンポートや特定通信エリアの上空飛行においてのアプリ通信

事前検証試験



見通し海上100% 天候晴れ

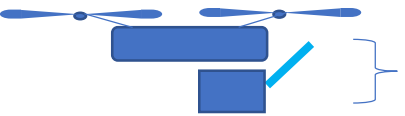
外付けUSBWi-Fi アダプタ

Raspberry Pi

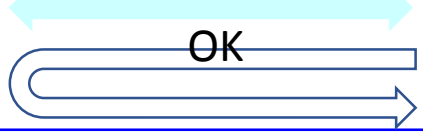


アンテナの向きや有効長(ドローンの陰になる設置)での影響ありと判明

アンテナ全体が金属(ドローン本体やラズパイ)に遮られずに通信に対して有効な状態:

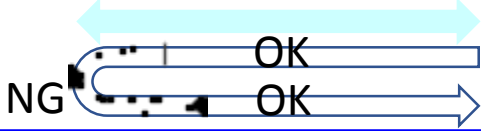
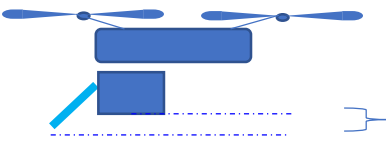


1Km

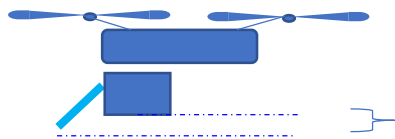


高度50mで、1Kmまで送受試験成功(往復とも)

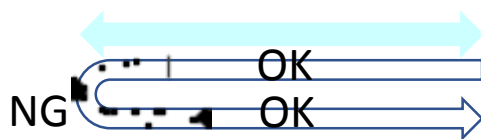
アンテナ半分が金属(ドローン本体やラズパイ)に遮られて、半分ほどがして有効な状態



高度50mで、0.8Kmまで送受試験成功(往路 ~0.8km 0.9kmはNG 復路 0.7km以下に近づくと通信OK)



石の上から離陸



アンテナ半分が金属(ドローン本体やラズパイ)に遮られて、半分ほどがして有効な状態

高度50mで、0.8Kmまで送受試験成功

(往路 ~0.8km 0.9kmはNG)

復路 0.7km以下に近づくと通信OK)



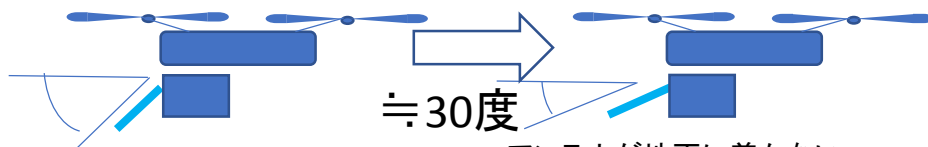
ドローンの飛行制御リモコン制御の関係で、この状態(アンテナが半分程度、アクセスポイントに対してボディに隠れる)で、以降計測

→ 飛行効率優先: 台風2つの間での試験で、前日飛行試験ができず、7月9日しか試験日が取れなかったため。

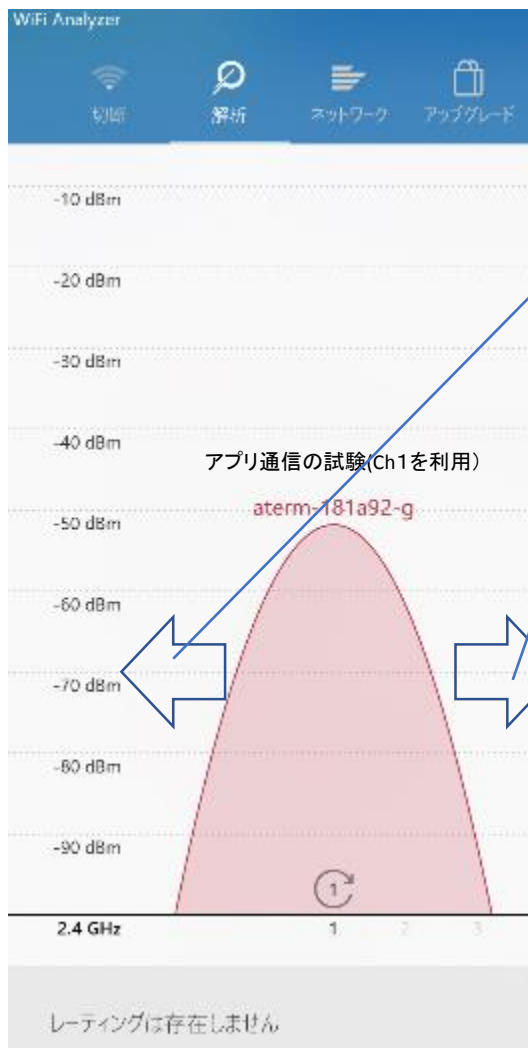


上記より、さらにアンテナが隠れる角度となったが、効率優先で計測

地面の草地から離陸、着陸できるようにさらに隠れる率が増える角度で試験(角度調整なく、毎回離陸 着陸できる)



離島だけに、環境雑音は全くない状態での検証ができた。



アプリ通信試験に関して、まったく干渉波の無い状態になるようCH1を選択。
(CH6と9に別な通信があったため、1を選択)

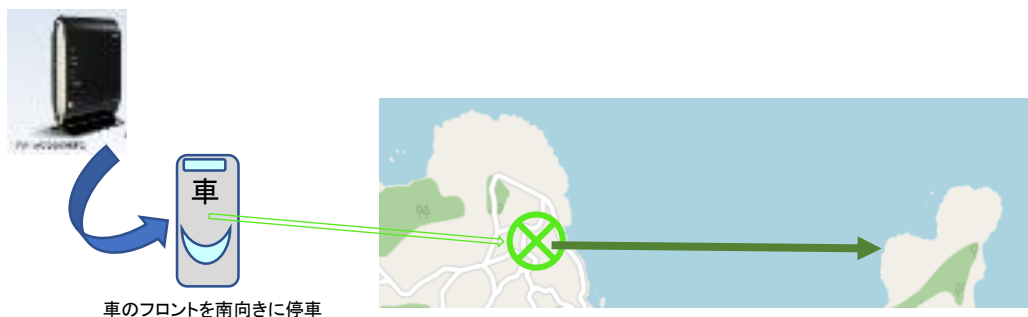


アクセスポイントは、車のエンジンをかけた状態で、車用のDC/ACコンバータを運転席シガーソケットに繋ぎ、そのコンバータからAC電源を作り、電源を取った。(疑似正弦波)

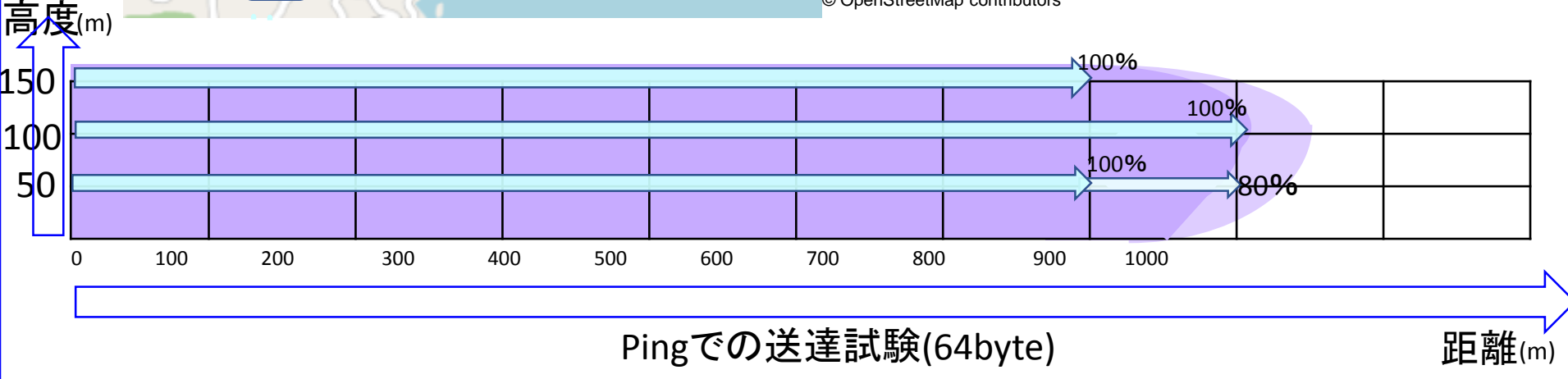
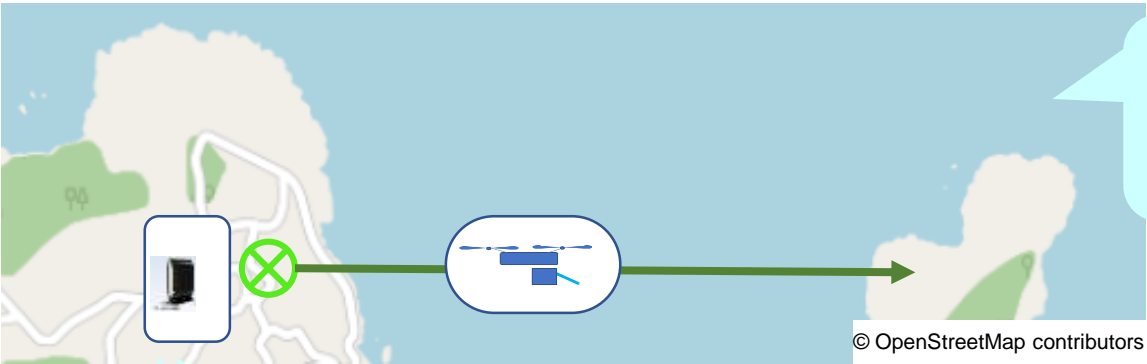
その状態で、車の天井にアクセスポイントを置いた。



アクセスポイントは、平面が海を向くように設置(東側の海方向に平面が向く)



“距離・高度“に対する、送達確認試験結果

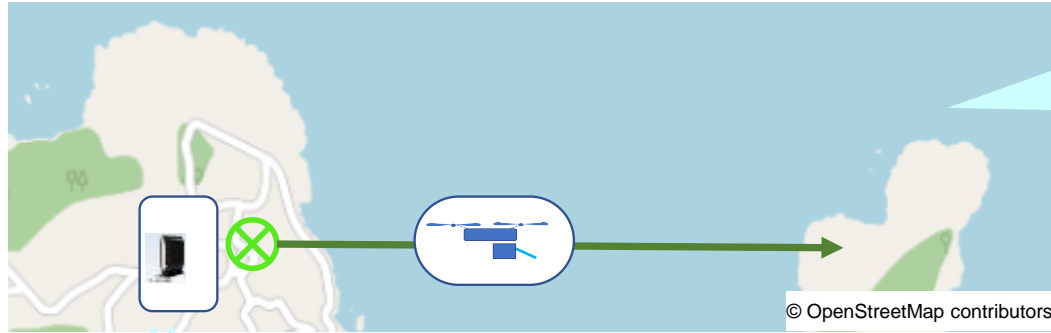


Pingでの送達試験(64byte)

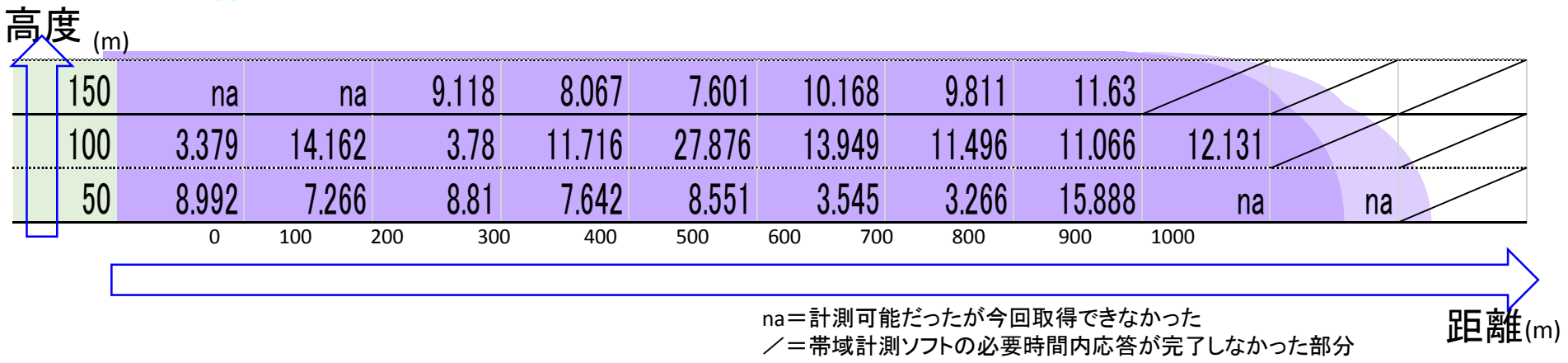
距離 (m)

アクセスポイント から 700mまで
今回のシステムでは100%の送達確認

“距離・高度“に対する、送達確認試験結果

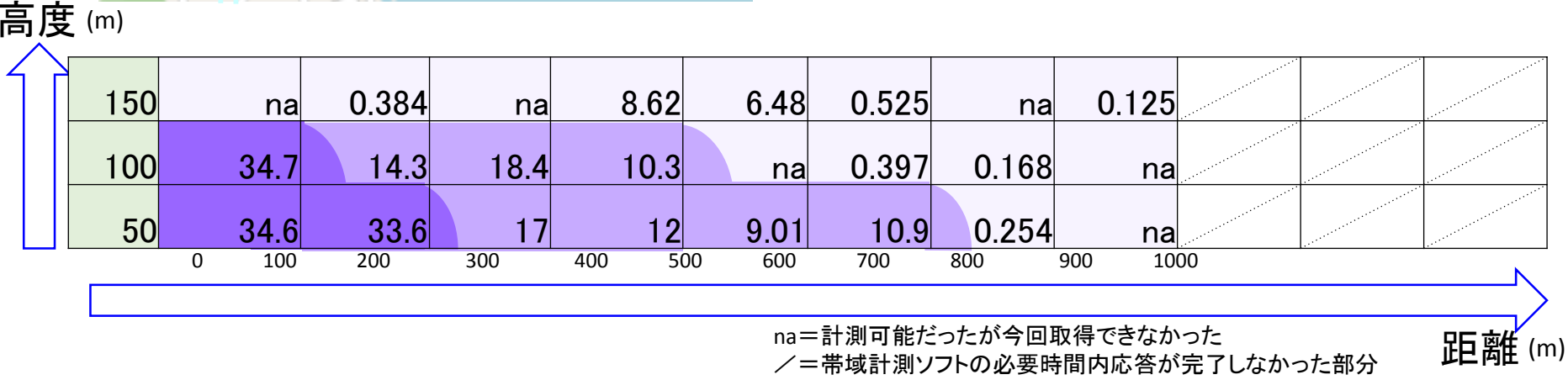
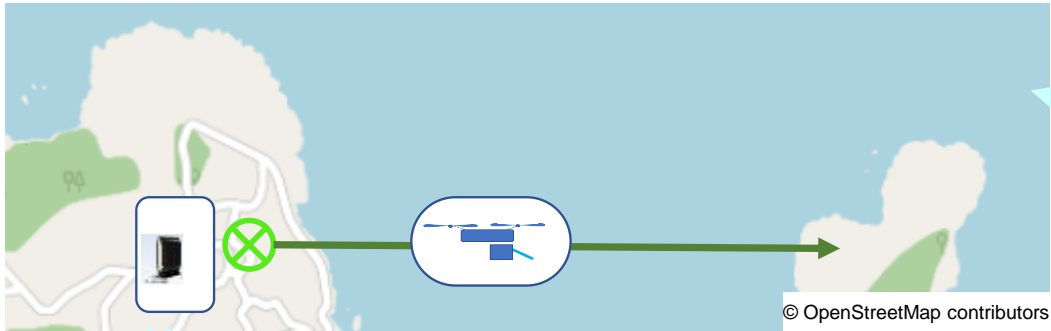


高度,50m,100m,150m
距離1kmまでを100m毎に
UDP通信での送受時間(Ping)計測



今回の計測システムでの結果では
pingと同じく、計測可能距離は、高度100mが一番遠く800M
700mまでは、計測した高さ全域で通信可能範囲。

“距離・高度“に対する、帯域確認試験結果



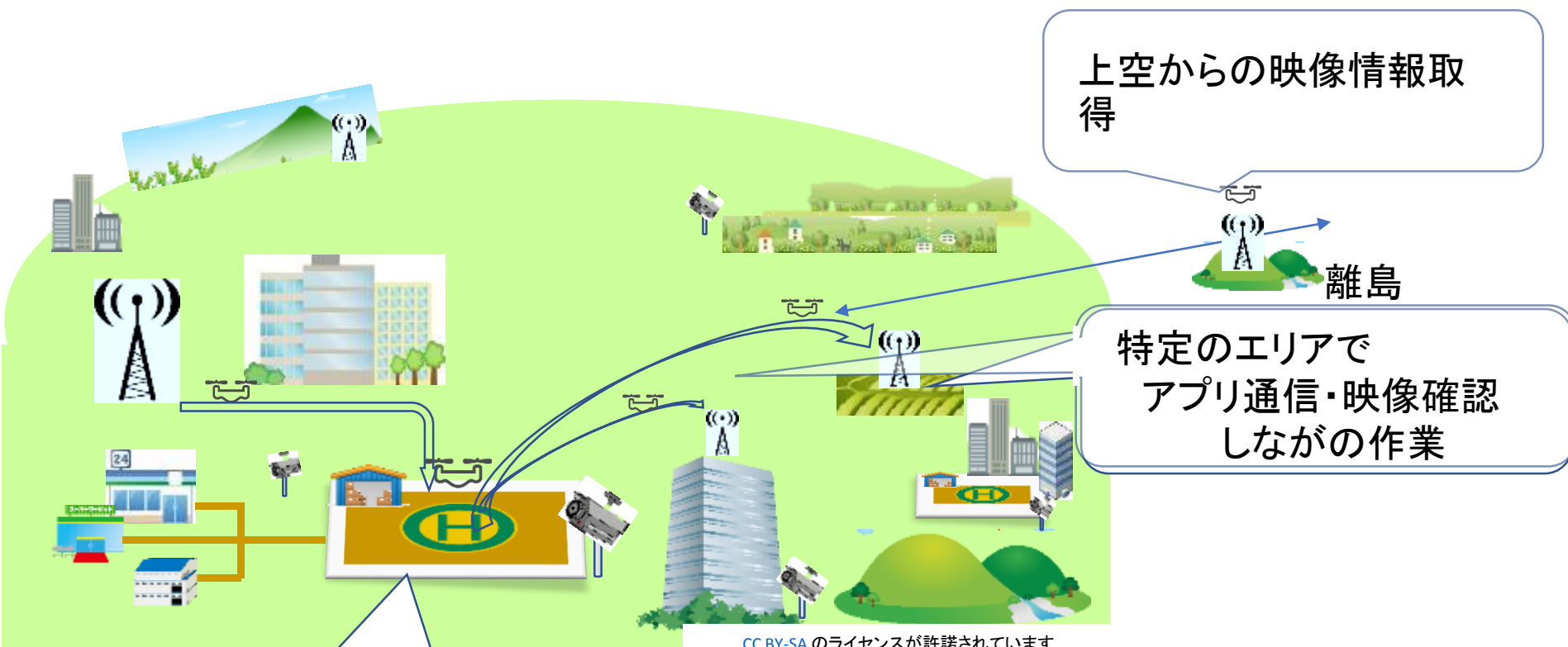
ドローン搭載の11nが1ストリームの為、近距離で論理上の最大同期速度は 72.2Mbps
実アプリの通信速度では、30Mbps台なら、室内の最高速度域。10Mbps台も有効な領域。

アプリの更新などの通信として高度50mで距離500までと、高度100mで距離300mまでは、
今回の計測システムにおいて、実用領域。画像も利用可能。カメラの向きを変えるなどの
IO機器への制御と制御結果の制御角度などの応答を得るのは、700mまでどの高さでも可能
と、今回の計測システムでは、前の送達試験や遅延確認試験を含めて考えると想定される

①マルチユース(複数のことの同時実現) その2

マルチユース要素	今回の実証実験	今後の予定
2. 映像	空撮	農林漁業毎や防災での映像活用 可視光を超えた映像活用

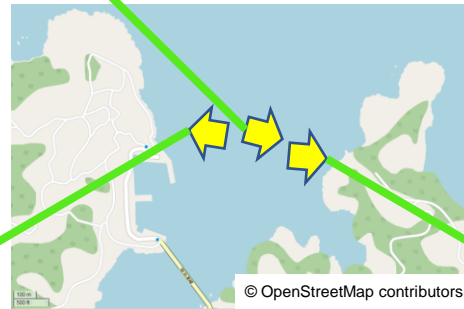
検証シーン 空撮でのDATA活用



空撮例 海上から色々な角度の撮影



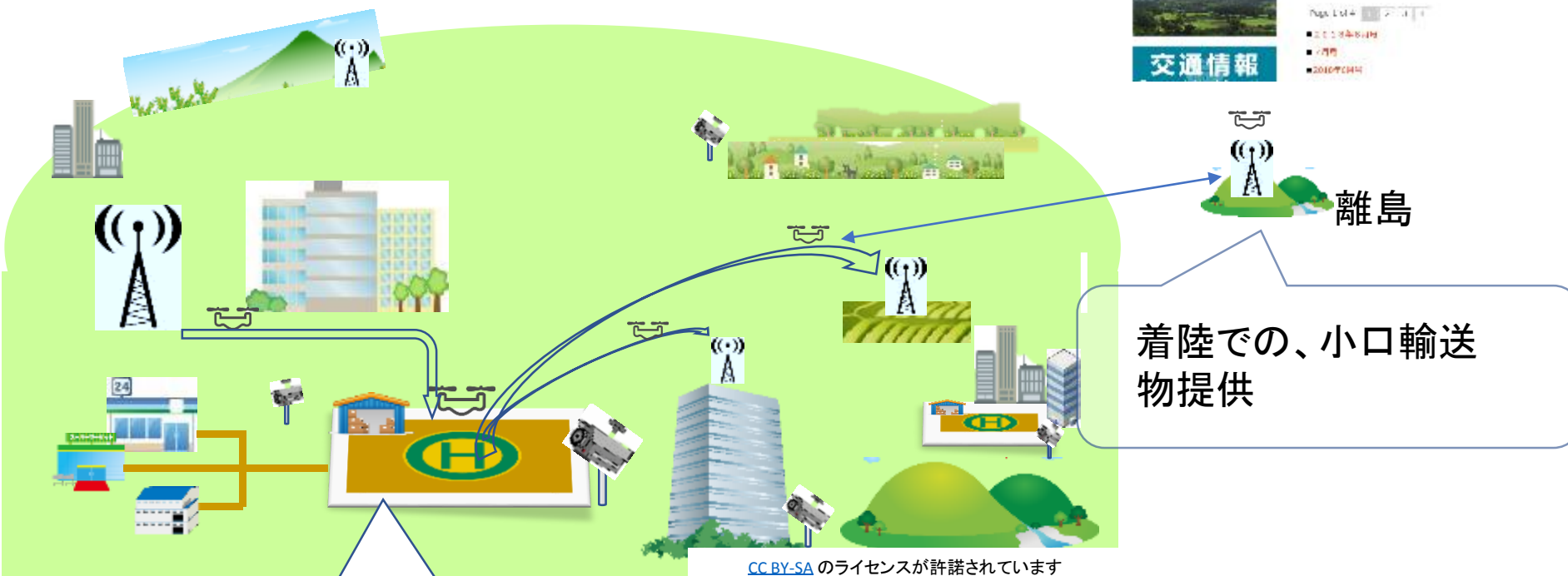
7月9日は、台風7号と8号が通過した合間の時期にあたり、海上は波が高かった



①マルチユース(複数のことの同時実現) その3

マルチユース要素	今回の実証実験	今後の予定
3. 小口輸送	町役場の地元 広報紙搬送	複数のフライト手段や他の自動 運転との連動

検証シーン 小値賀町の広報誌、おぢか新聞の配送

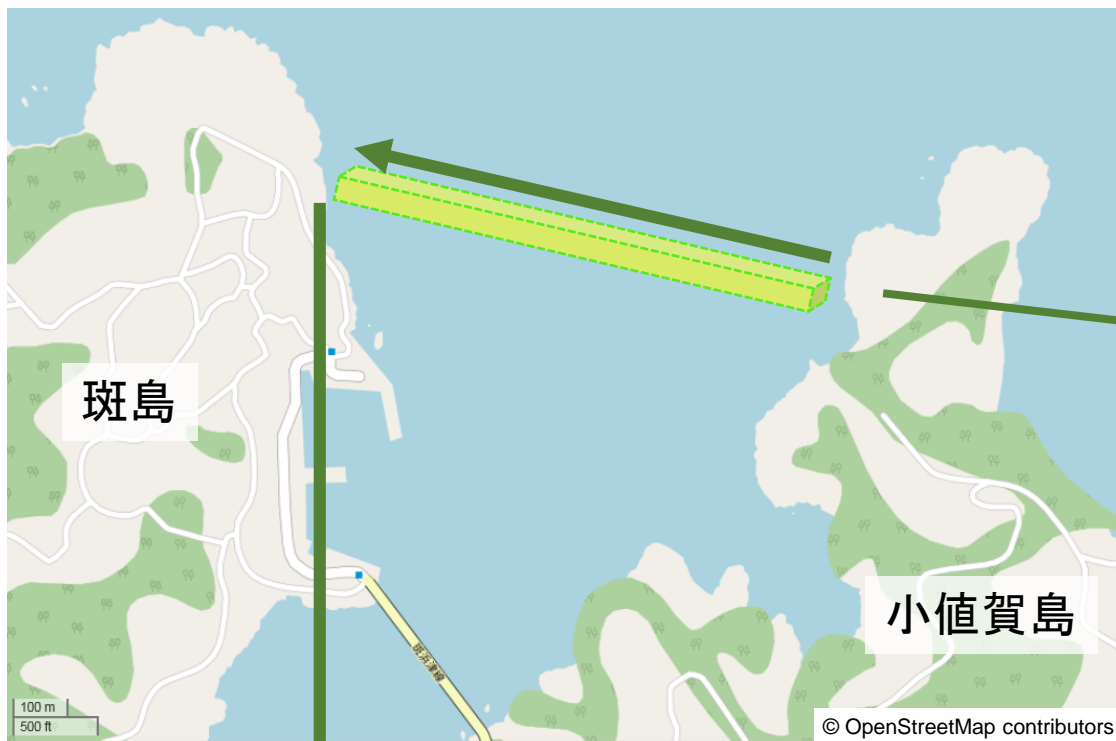


小口輸送の集配

着陸での、小口輸送物提供

CC BY-SA のライセンスが許諾されています

検証シーン 小値賀町の広報誌、おぢか新聞の配送



おぢか新聞
小値賀島で
搭載

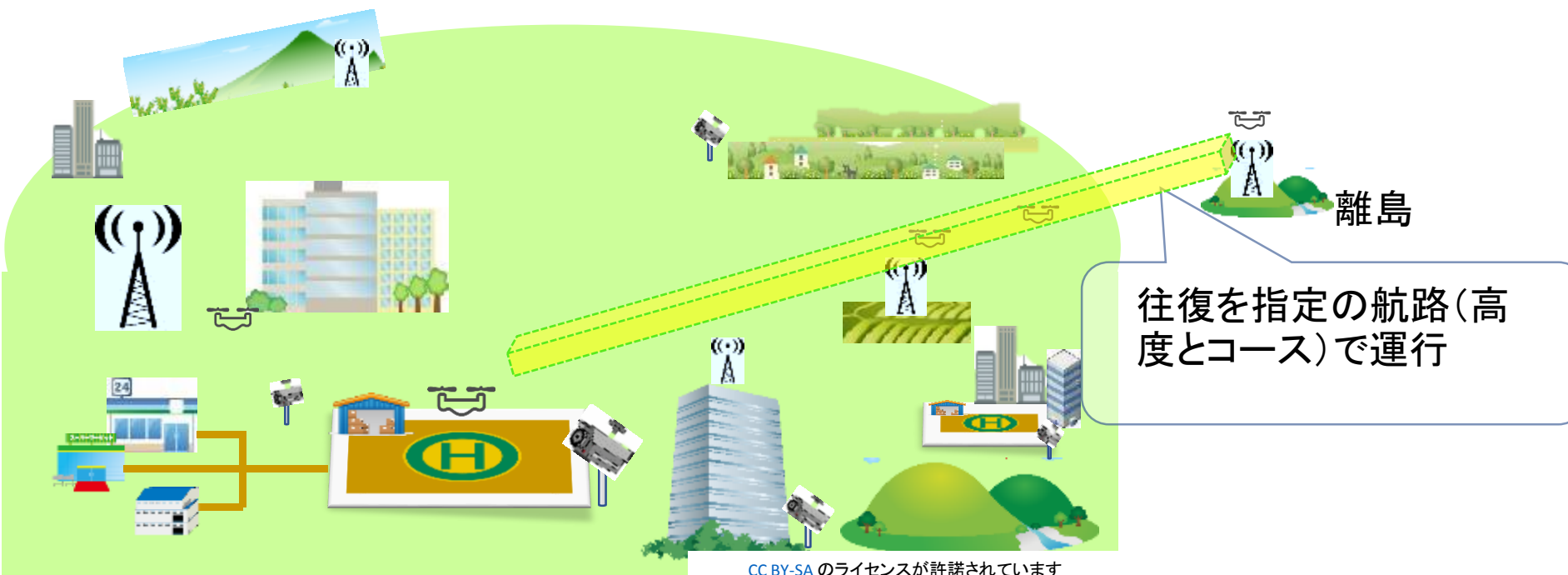


おぢか新聞を斑島へ
運び、小値賀町長の
西様に受領頂いた

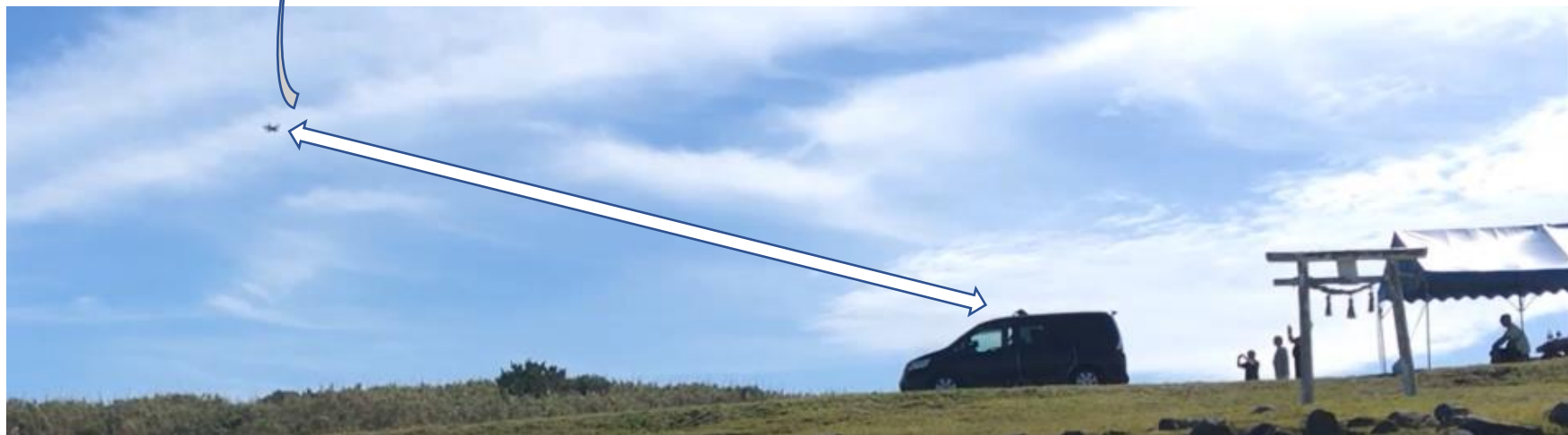
①マルチユース(複数のことの同時実現) その4

マルチユース要素	今回の実証実験	今後の予定
4. 複数機での航路活用	往復フライト試験	往復航路、登坂車線の復路活用 オープンソースでの協調フライト

検証シーン 飛行効率を考慮すると、航路を道路のように使い
集約的航空をするのが、有効
(上り、下り、登坂道路などの組み合わせへの発展へむけて
指定のコースをいき、戻ってくる

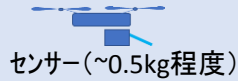


50m, 100m, 150mの高度で、アプリ用通信試験をしながら 所定のコースを往復

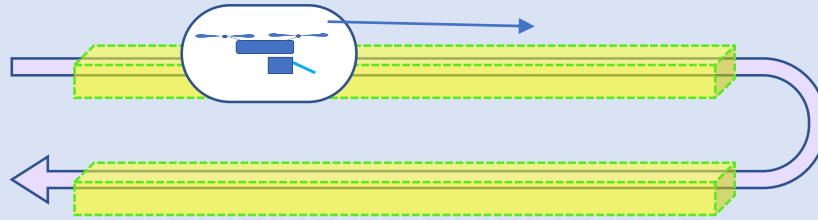


複数機の組み合わせ活用

空撮 + α のドローン



行きと、帰りの航路 + 登坂車線の考え方

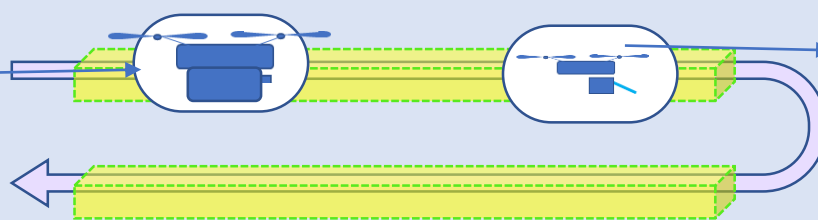


空撮で、状況把握 (例: カミキリムシ駆除)

運搬用ドローン



行きと、帰りの航路 + 登坂車線の考え方



渋滞や、衝突無く、飛行

自動運転の延長 (協調ルール)

検証事項①(マルチユースによるリーズナブル化)に関する実験 のまとめ

以上の内容の試験を実施(2018年7月9日)

マルチユースで、リーズナブル化

一回の飛行で、複数の役目をこなす。この実現への基礎試験。

(通信での情報提供+映像+小口輸送

+複数機での航路活用 etc)

に関する第一弾試験を実施し、有効な結果が得られた。

小値賀町での検証

②マルチユース用の通信方式

1フライト時の用途のマルチユースでの通信
(例:2. 4G 通信でドローン制御通信+Wi-Fi)

同一エリア・航路でのマルチデバイス(複数の動くIoT)
2. 4Gでフライト

通信要素	今回の実証実験	今後の予定
1. 制御用通信+他用途	制御+アプリ用通信 (アプリ通信は、切断も想定した蓄積連携)	制御+ミドル+アプリ通信
2. 複数の通信方式連携	Wi-Fiのみ	ドローン利用可能な無線(下記)の連携: ラジコン操縦者用微弱無線、特定小電力(400MHz帯、920MHz帯:LPWA他)、小電力データ通信システム(2.4G帯、5G帯)、簡易無線局、ラジオ(AM/FM)他
3. 複数機での通信連携活用	ドローン +ドローン搭載LinuxBOX +地上PC/スマデバ	広義のドローン(動くIoT)協調(ヘリポート、自宅(宅配Boxロボ他)、ドローン自体の自動化システム連携)

②マルチユース用の通信方式 その1

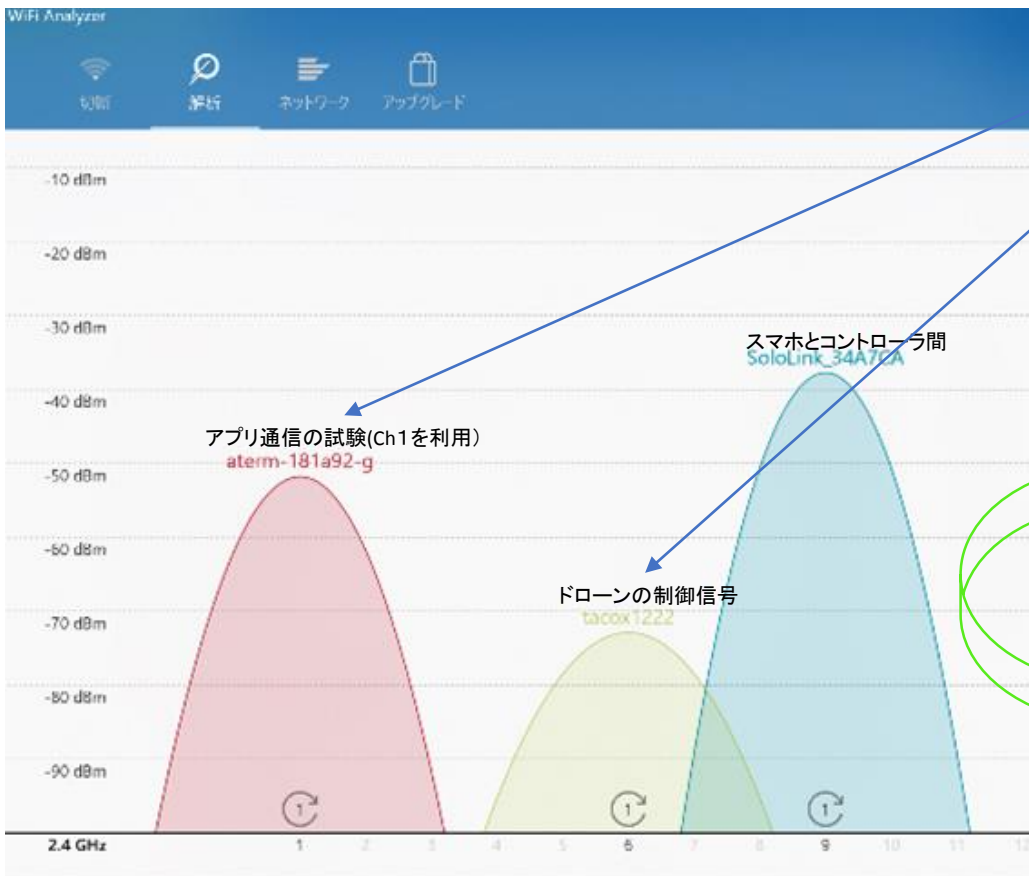
通信要素	今回の実証実験	今後の予定
1. 制御用通信＋他用途	制御＋アプリ用通信 (アプリ通信は、切断も想定した蓄積連携)	制御＋ミドル＋アプリ通信



通信の重要度、継続性に対応した、通信分けをして、今回検証。無事分離しての通信を達成。

②マルチユース用の通信方式 その2

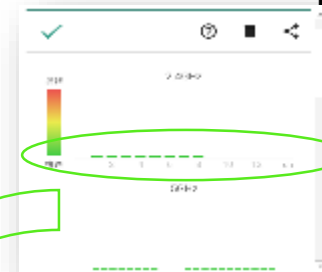
通信要素	今回の実証実験	今後の予定
2. 複数の通信方式連携	Wi-Fiのみ	ドローン利用可能な無線(下記)の連携: ラジコン操縦者用微弱無線、特定小電力(400MHz帯、920MHz帯:LPWA他)、小電力データ通信システム(2.4G帯、5G帯)、簡易無線局、ラジオ(AM/FM)他



アプリ系

制御系

複数の通信の混在運用例(今回はWi-Fiでの11n)を試験し、無事それぞれが稼働。



雑音無しの環境で3つの通信を投入"ch1,6,9"



ドローンが遠ざかるとドローンの制御用信号の電力計測も少なくなる

共存通信を検証

②マルチユース用の通信方式 その3

通信要素	今回の実証実験	今後の予定
3. 複数機での通信連携活用	ドローン + ドローン搭載LinuxBOX + 地上PC/スマデバ	広義のドローン(動くIoT)協調(ヘリポート、自宅(宅配Boxロボ他)、ドローン自体の自動化システム連携)

地上でもう1つのドローン(小値賀町所有)+通信の計測用の持ち込みドローンの活用。



今回 小値賀町所有ドローンは地上での通信まででしたが、その通信と並行して、無線でのアプリ通信をもう1つのドローンで計測。

今後、空路での連携飛行の試験へ発展させてゆく

検証事項②(マルチユース用の通信方式)に関する実験のまとめ

以上の内容の試験を実施(2018年7月9日)
第一弾の検証として、有効な結果を得られた

ラジコン操縦者用微弱無線、特定小電力(400MHz帯、920MHz帯:
LPWA他)、省電力データ通信システム(2.4G帯、5G帯)、簡易無線局、ラ
ジオ(AM/FM)他) の 組み合わせ利活用
へ発展させ、

アプリやミドルや制御信号の共存を

空だけでなく、地上の広義の動くIoTとも連携させ

効率的に連携稼働させる検証へ発展させてゆきたい。

MCPDドローンWG／無線通信ガイドライン要件のまとめ(案)

今後の計画
(検討中)

カテゴリ	要件 番号	要件	MCPD/JASA実証プロジェクト
無線バンド、 通信方式	radio.1	上空利用可能な電波、無線方式を複数組み合わせ利用可能	
	radio.2	物理チャンネル(周波数バンド)と論理チャンネルが分離されている	
	radio.3	論理チャンネルの品質を満たすように 自動で物理チャンネルを切替える機能を有する(SIP的縮退コンセプト)	<ul style="list-style-type: none"> FPV用画像転送を、電波環境が良い時はHD画像、悪い時は画質を下げで遠隔操縦可能なレベルをキープ Next CGWIによるパイロット実装
	radio.4	制御用チャンネルは無線リソース的に冗長化されている(Duallink対応)	
	radio.5	他ドローンが中継するマルチホップ通信(緊急用オプション)	
	radio.6	離着陸制御用通信(ドローンポート)をサポートする	
	radio.7	編隊飛行(SWARM)の場合、親ドローンが上記要件を満たす場合、子ドローンは必ずしも満たさなくてよい	
遠隔認証、ト ラッキング	id.1	機体認証のための放送型通信プロトコルをサポートする	
	id.2	通信プロトコルは特定の認証ID形式(e.g. USIM) に依存しない	
協調フライト	fli.1	通信状況に合わせて飛行速度を制限する(JASAコンセプト)	制御通信の頻度(回/sec)で制限速度を算出する実装
	fli.2	協調フライト用ドローン間通信(衝突回避、空路上「車線」への合流制御)	
	fli.3	編隊飛行(SWARM)用ドローン間通信	
自律飛行補 助	auto.1	通信ロストになりにくい長距離通信(LPWA等)と画像転送など高速な通信を組み合わせ使用する	横須賀リサーチパークで実証実験
	auto.2	通信ロストの場合、もっとも適した通信方式を選び速やかに回復を試みる	
	auto.3	位置情報の精度向上のための通信をサポートする(e.g. D-GPS, RTK)	
	auto.4	GWはドローン用空路形状に適した指向性アンテナを使用する	
	auto.5	ドローン通信はGW間ハンドオーバーをサポートする	
	auto.6	ドローンによるGWの検出、GW間ハンドオーバー用の無線通信方式は制御用チャンネルと別に設計されていてよい	
	auto.7	ドローン⇄ドローンポート間通信	
通信セキュ リティ	sec.*	制御用チャンネルの乗っ取り防止。 画像用チャンネルの傍受防止。	
ドローン管 制(UTM)用 通信	utm.*	T.B.D. (例: フライト情報の通信 Geo-fencing情報 3次元マップデータ(地形データ)の通信 風向き、気圧、降雨情報の通信)	

謝辞

小値賀町長 西 浩三様及び、今回の実証実験に多大なご協力をいただいた小値賀町役場の皆様に感謝の意を表します。