

# 観測ミッション実現のための固定翼UAV における制御・通信技術

---

○上羽正純、北沢祥一  
室蘭工業大学

2018/10/27

本研究の一部は総務省SCOPE「広大な農地の短時間観測を可能とする固定翼自律UAVを用いた映像伝送技術の研究開発」により実施。

# 背景及び目的

## □背景

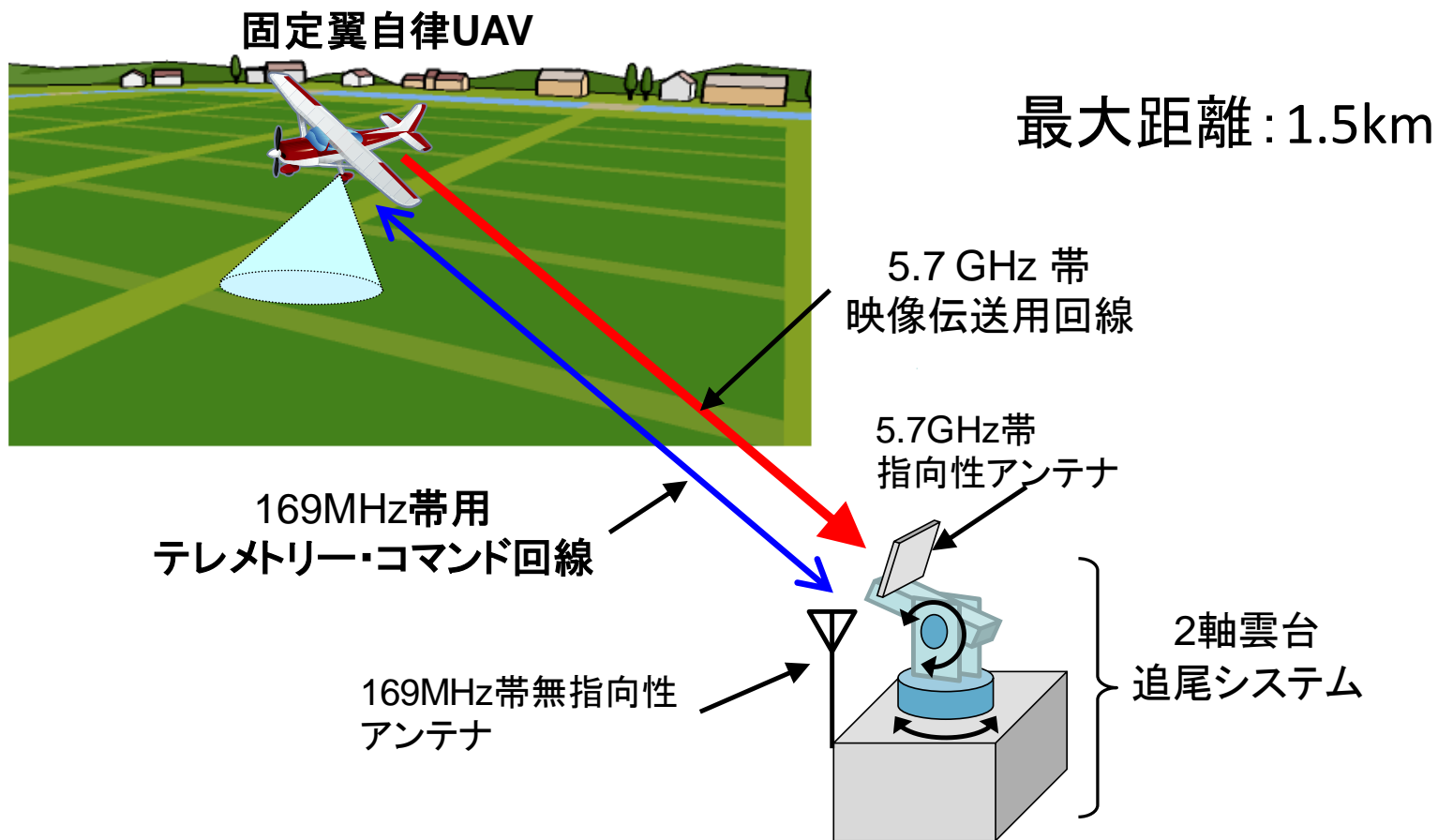
- 近年、無人航空機(UAV)を用いた利用が進展
- 観測等の農林業分野、巡視・点検分野、計測・測量・調査分野、輸送分野、無線中継等においてサービスの提供あるいは必要な研究開発が推進される。
- UAVには、固定翼UAV(従来型の飛行機)と、回転翼UAV(マルチコプター)があり、現在回転翼UAVの利用が大部分。



## □目的

- 長時間・長距離飛行に有利な固定翼UAVを観測ミッションに使用するために必要な制御・無線通信技術について室工大での実施例をベースに紹介。

# 固定翼自律UAVを用いた映像伝送システム -イメージ-

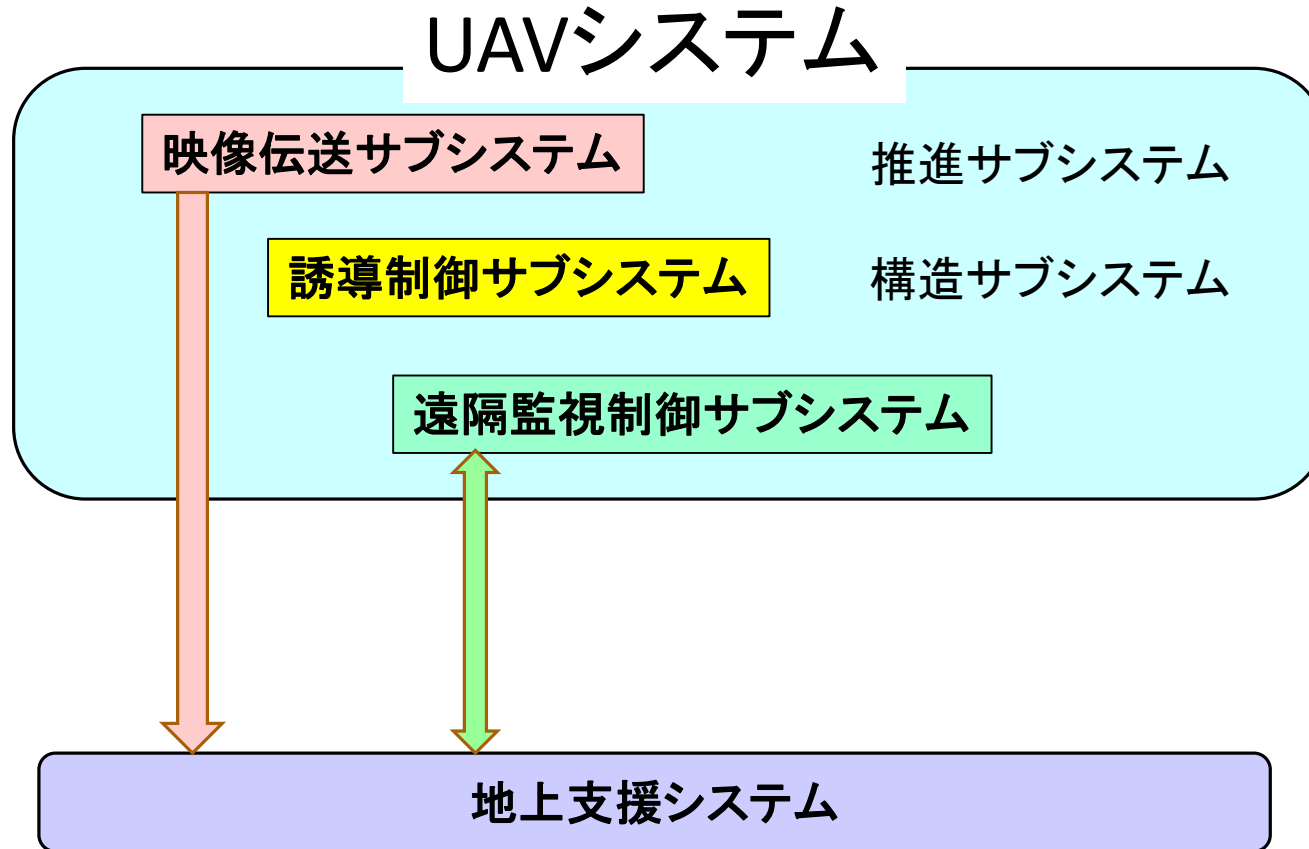


# 固定翼自律UAVを用いた映像伝送システム

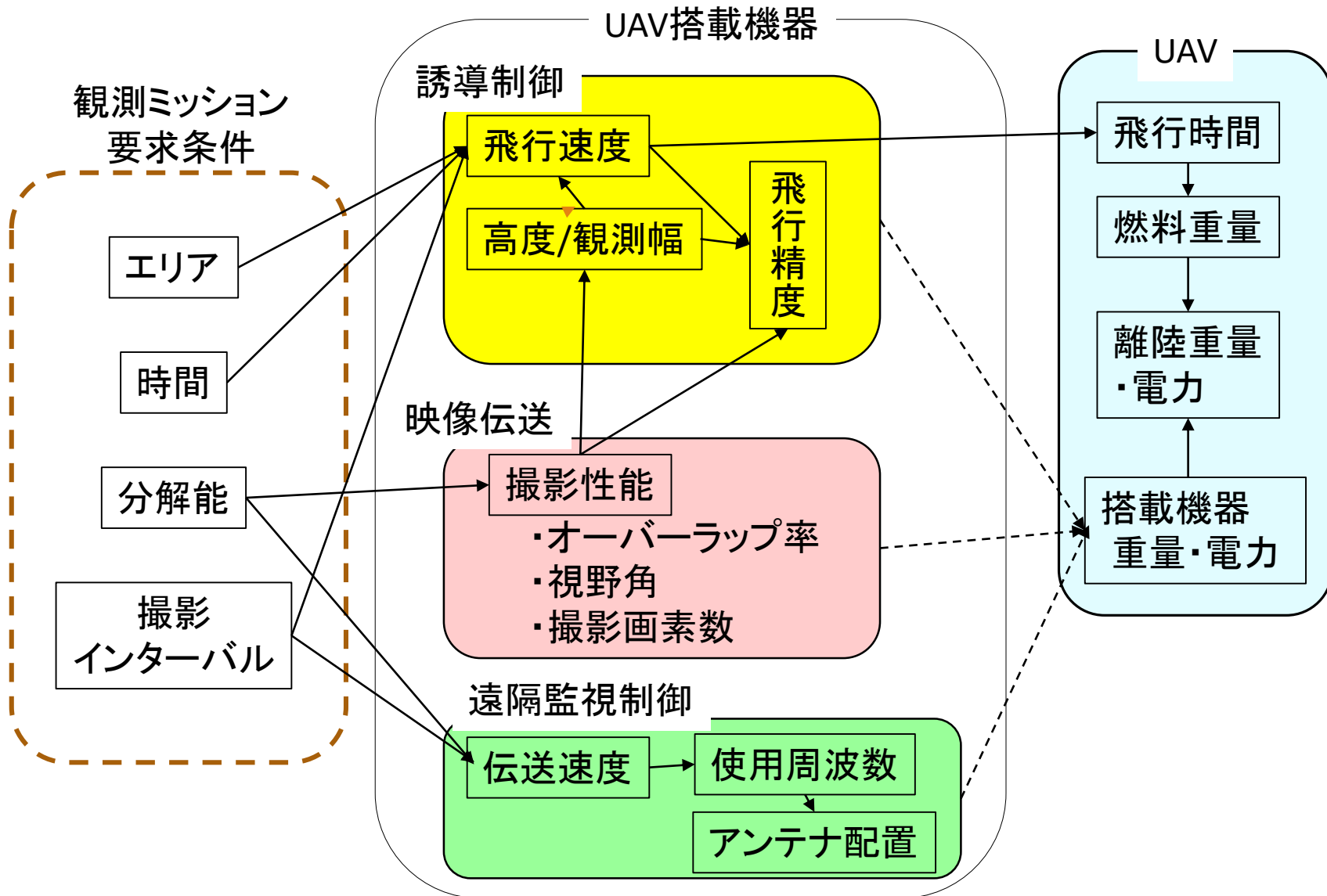
## - 目標性能 -

		性能
システム		対象エリア面積:25ha(500m×500m) 以上 観測完了時間:10分以内
サブシステム	映像伝送系	周波数帯 :5.7GHz帯 情報伝送速度:10 Mbps 最大伝送距離:1.5 km
	遠隔監視制御系	周波数帯:169 MHz帯 テレメリー情報速度: 200 kbps コマンド情報速度 :1200 bps
	固定翼UAV	総重量(機器搭載時):10kg以下 搭載可能機器重量 : 2kg以上 (ミッション機器、GNC&TTC系を含む) 定常飛行速度:25 m/s 飛行距離 :50km 自律帰還機能を有する

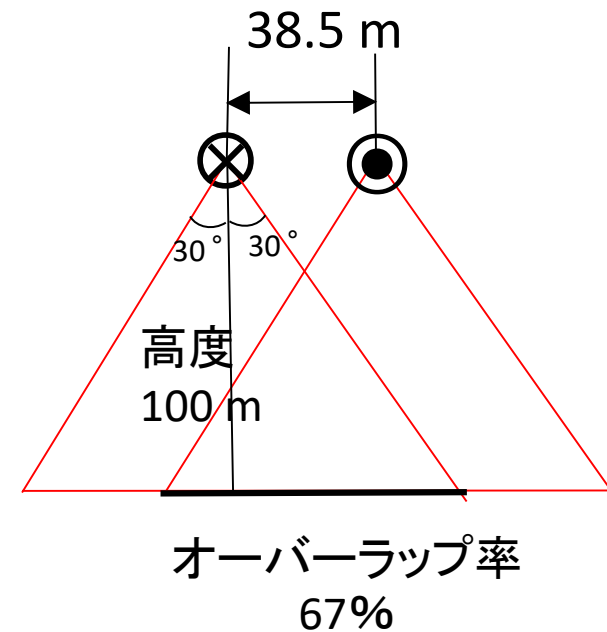
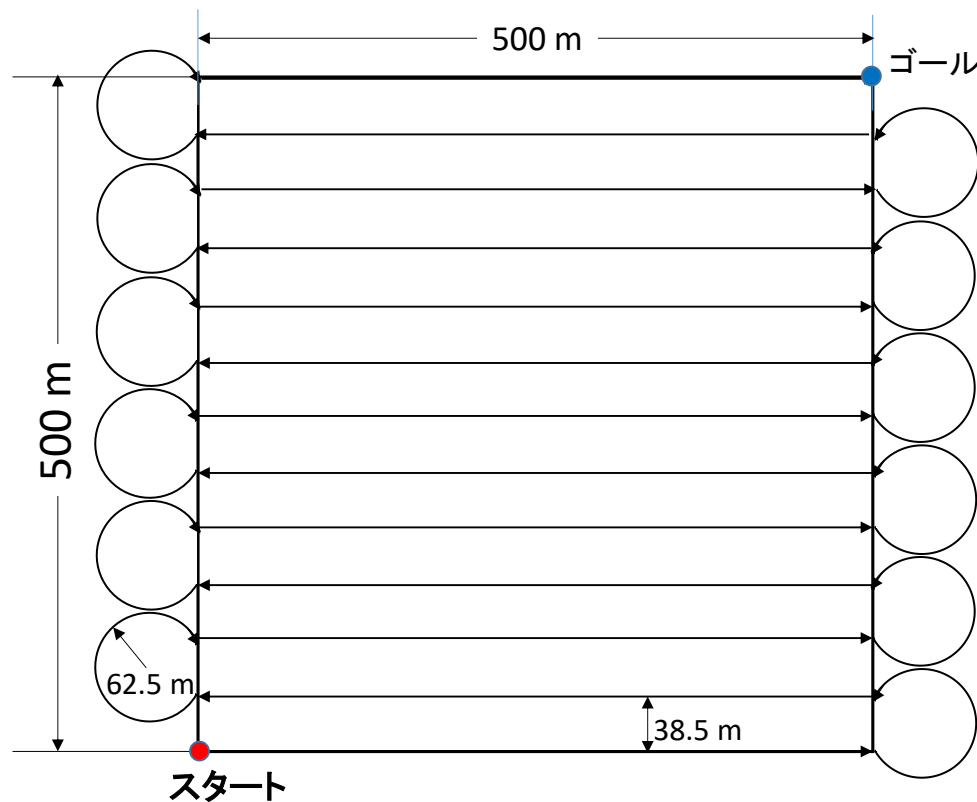
# 観測用固定翼自律UAVシステムの構成



# 観測ミッション要求条件とサブシステム性能



# オーバーラップ率を考慮した飛行ルート例



総飛行距離 10.5km 25m/s の飛行速度で観測完了時間 419秒(<600秒)

# 固定翼UAVと回転翼UAVの特徴比較

	固定翼UAV	回転翼UAV
飛行時間・飛行距離	長い	短い
飛行速度	速い	遅い
離陸	要滑走路	定点からの垂直離陸
着陸	要滑走路	定点への垂直着陸
搭載可能重量	発生可能揚力依存	発生可能推力依存



対象エリアが広い程、固定翼UAVを使用する方が短時間で観測終了



# 固定翼UAVを自律で飛行させる誘導制御技術

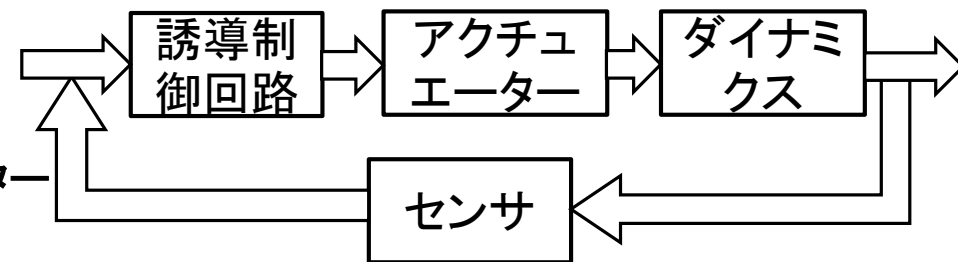
基本: 速度制御と姿勢制御

プロペラ等により推力を発生させて速度を得る。

速度のある状態で、舵面を動かしてモーメントを発生させ姿勢制御



誘導制御系(サブシステム)により実現



センサ: 慣性航法装置、高度センサ(気圧、赤外線)

アクチュエーター:

推進用: モーター/(ジェット)エンジン

姿勢用: 舵面及びサーボモーター

制御則及び回路: 誘導制御回路

# 飛行モードと使用制御系

飛行機の特定の飛行モード(離陸、旋回、水平定常、着陸)は複数の制御系(縦系、横・方向系)により達成される

飛行モード	使用制御系
離陸	滑走制御
	機首上げ制御
	上昇制御
	横・方向制系
周回飛行 (旋回、水平定常)	ロール角制御
	高度制御
	速度制御
	方位角制御
着陸	グライドスロープ制御
	速度制御
	フレア制御
	ロールオフ制御
	横・方向制御

# UAV飛行実証例(1)

目的： 制御系の機能・性能確認

使用模型飛行機：京商 カルマートα40トレーナー（電動型）

- 巡航速度：20[m/s]
- 飛行継続可能時間は最大4分程度
- 全長1.4[m], 翼幅1.6 [m]
- 総重量：3kg（誘導制御回路, 各種センサ, バッテリーを含む）



実験用電動模型飛行機

実験用模型飛行機の諸元

質量	3.03[kg]
翼幅	1.58[m]
翼面積	0.427[m <sup>2</sup> ]
重心位置	30~33[%]MAC
最低飛行速度	15 [m/s]

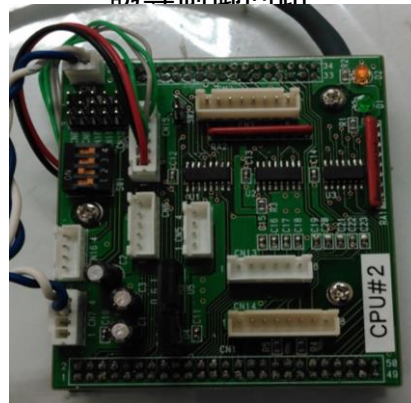
# 誘導制御系ハードウェア構成

電動模型飛行機 (カルマート α40 TR)

ハイブリッド慣性航法装置  
(Tiny Feather)



誘導制御回路



舵面制御用サーボモーター  
CH1:Aileron  
CH2:Elevator  
CH4: Rudder

プロペラ駆動用モーター  
CH3: Motor

高度センサ

気圧センサ  
ms5607



超音波センサ  
MB1260  
XL-MaxSonar-EZL0



受信機

CH1:Aileron  
CH2:Elevator  
CH3:Motor  
CH4: Rudder  
CH5: Switch for Manual/Auto



無線通信モジュール  
(Xbee S1 PRO)



手動操縦  
手動/自動切替コマンド

テレメリーデータ

地上装置

Propo



PC



無線通信モジュール  
(Xbee S1 PRO)

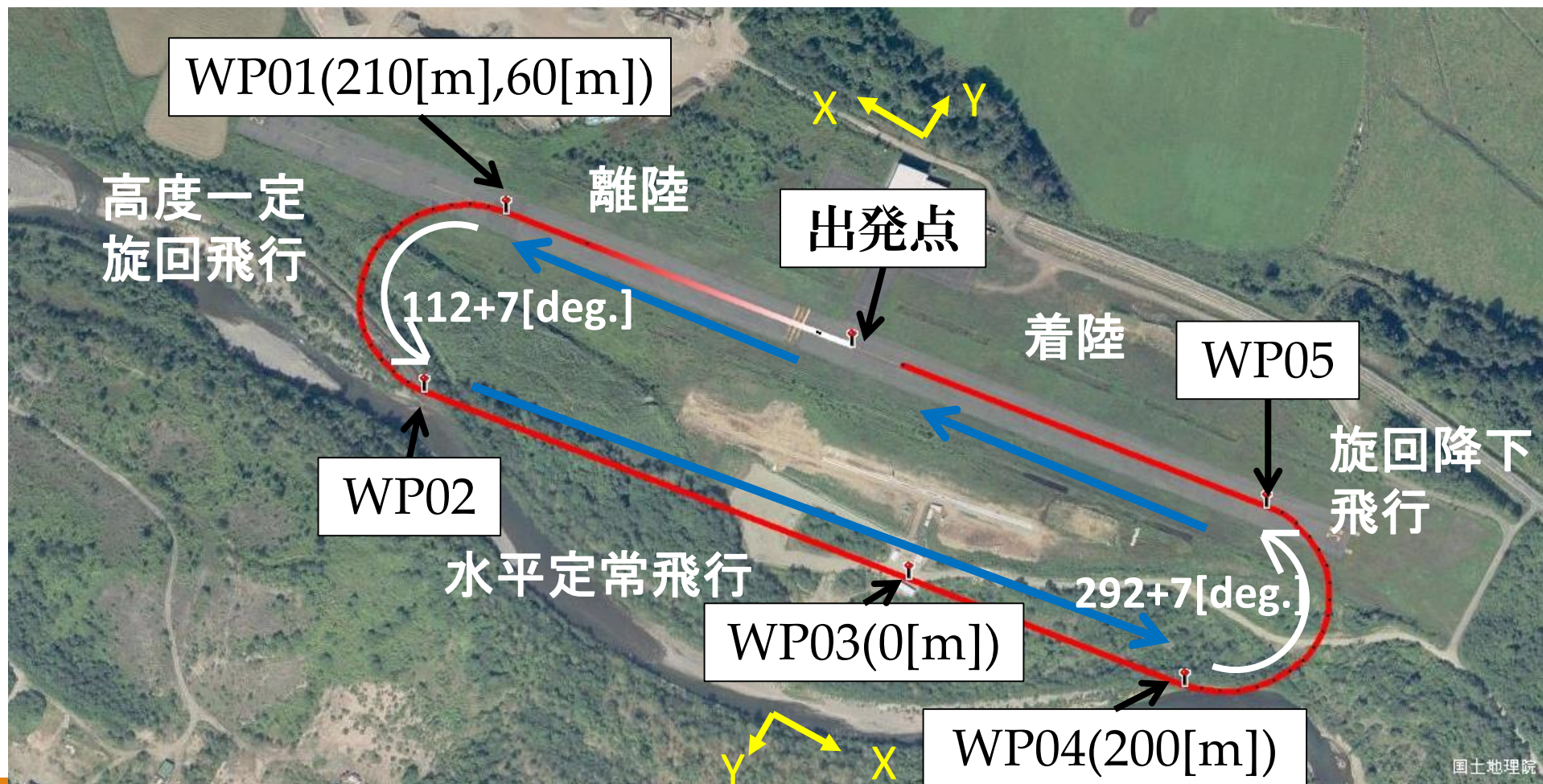




# UAV飛行実証実績(1)

## -完全自律飛行制御用実証飛行経路-

離陸から着陸までをすべて自律で飛行(完全自律飛行制御)  
飛行経路は滑走路を含むサーキット状に設定。

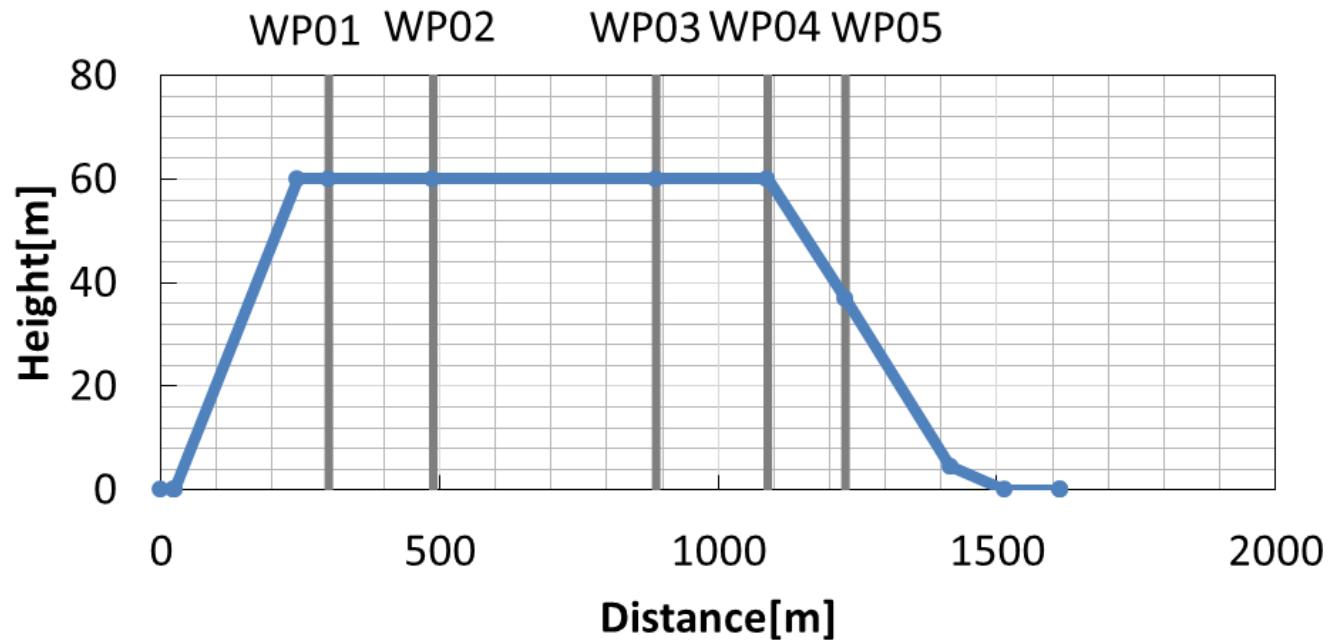


# 想定実証飛行距離と高度

離陸から着陸までの飛行距離は約1.6[km]

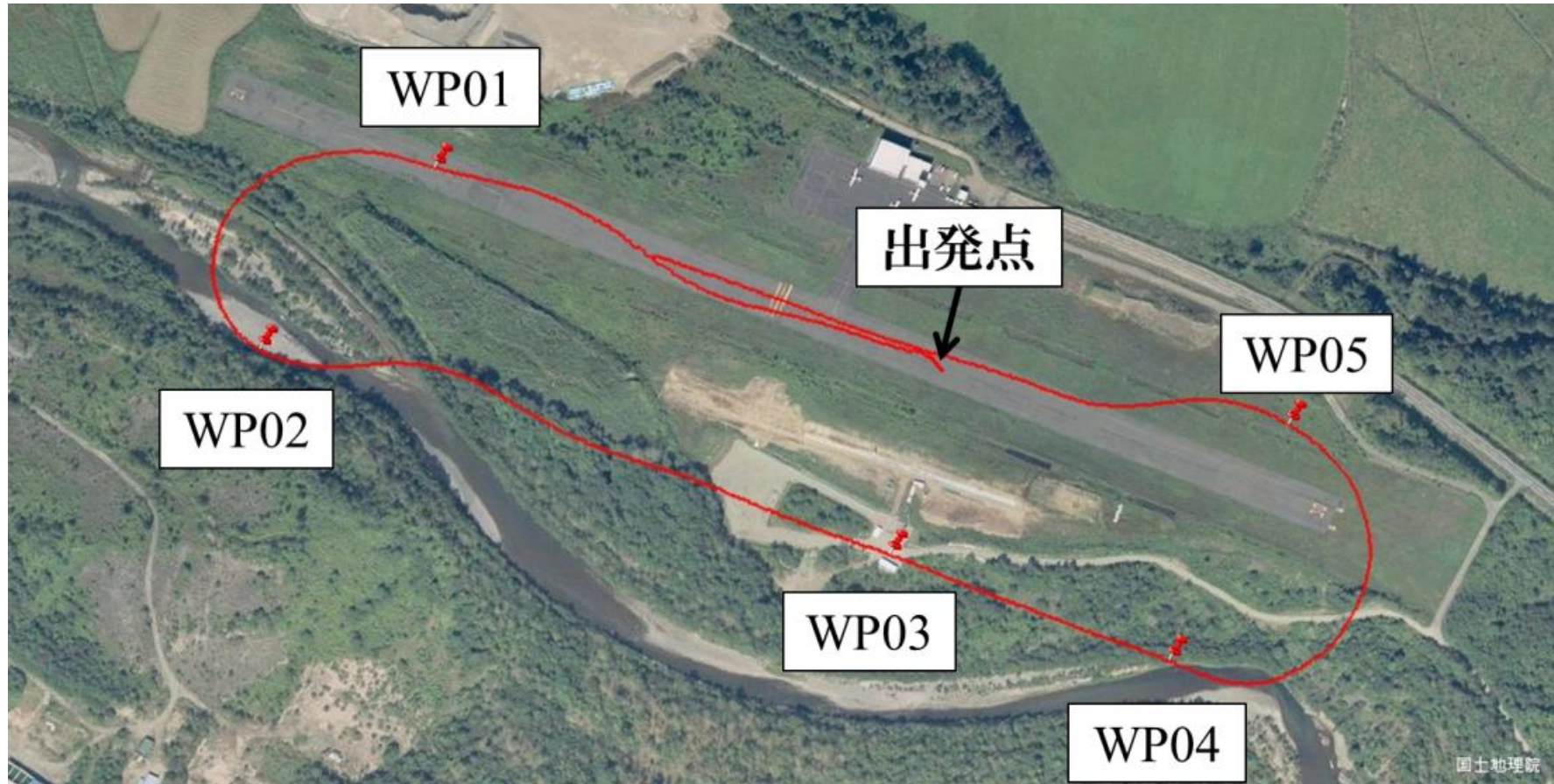
巡航高度60[m]

予測飛行時間は約2分30秒





# 飛行結果(飛行実証経路)



- 想定実証飛行経路と近い飛行経路を飛行
- WP01~WP02およびWP04~WP05の想定経路より大きく旋回

# UAV飛行実証実績(1)

-完全自律飛行制御飛行動画-





# UAV飛行実証実績(2)

## 目的： 搭載可能重量の確認

- 使用模型飛行機：京商 カルマートα60トレーナー（電動型）
- 全長1.6[m], 翼幅1.8 [m]、翼面積0.606[m<sup>2</sup>]
- エンジン：グロー 燃料消費率 1.16 [(lb/hr)/hp]



使用エンジン模型飛行機

## 確認飛行総重量(搭載機器最大)

ドライ重量	4.2 kg
燃料重量	0.2 kg
搭載機器(ダミー)	1.8 kg
総重量	6.2 kg

# UAV飛行実証実績(2)

## -飛行軌跡-

旋回区間は計10箇所.

地上局

離陸

着陸

地上からの距離は  
最長で約420[m]

国土地理院

(2018.10.3 Flight No.7)



# UAV飛行実証実績(2)

-飛行映像-



# 遠隔監視制御用無線通信への要求事項

## ● 必要性

- UAVからの位置情報やセンシングデータの伝送
- 地上からの指令データの伝送

## ● 無線通信システムとして以下の検討が必要

- 周波数、伝送距離、伝搬特性、アンテナ
- 通信速度、通信品質
- データ送信のペイロード長、誤り訂正

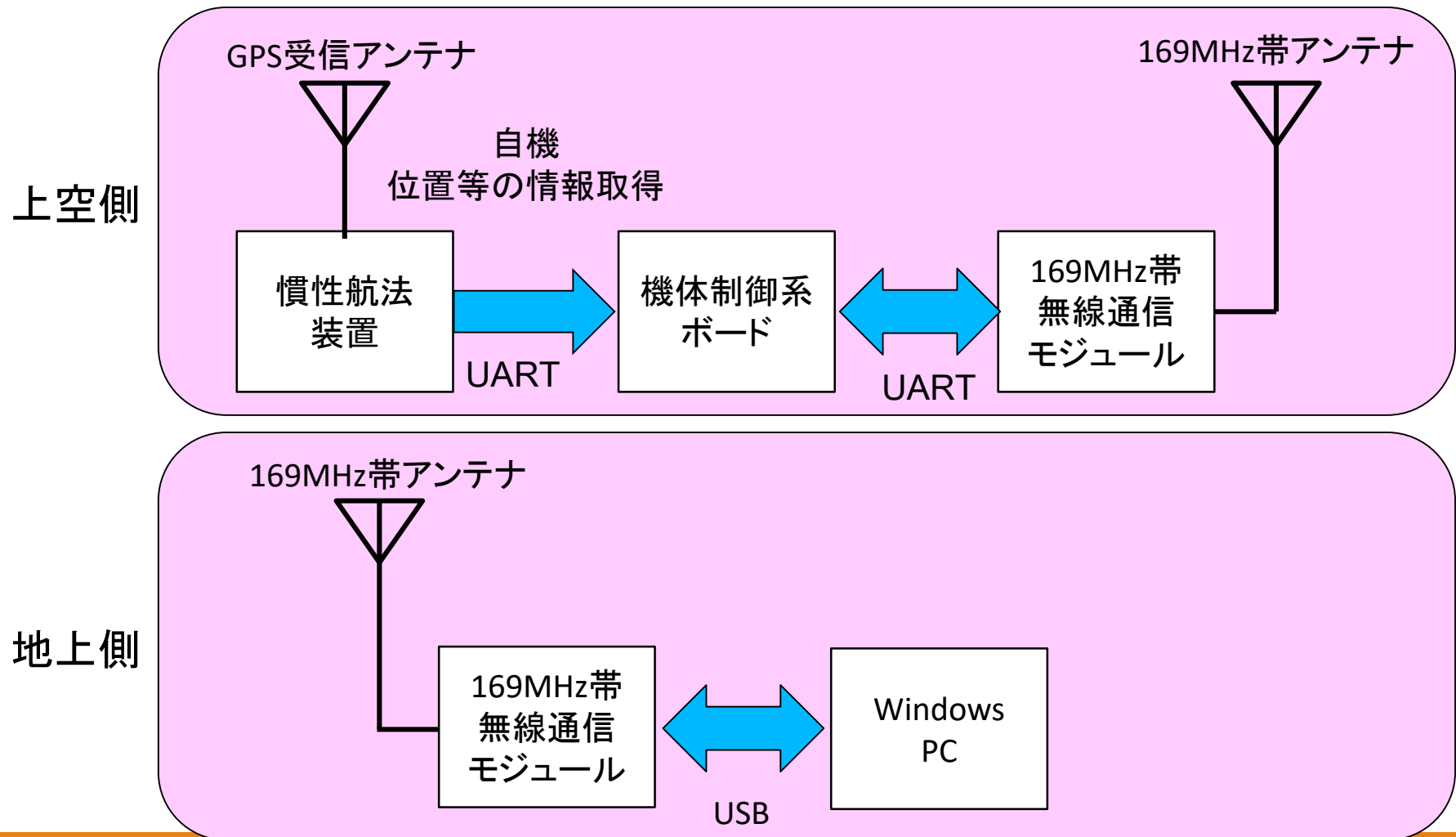
# 使用周波数帯

2016年8月に制度整備された無人移動体画像伝送システム用の周波数を使用

周波数帯	占有周波数帯幅	送信出力	利用形態	無線局免許
169MHz帯	300 kHz以下	上空10mW 地上1W	操縦用 画像伝送用 データ伝送用	必要
2.4GHz帯	10MHzシステム： 9MHz以下 5MHzシステム： 4.5MHz以下	最大1W		
5.7GHz帯	20MHzシステム： 19.7MHz以下 10MHzシステム： 9MHz以下 5MHzシステム： 4.5MHz以下	最大1W		

# テレメトリ・コマンド系

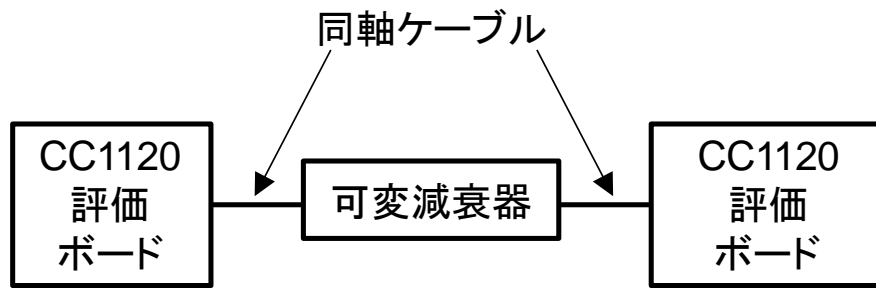
上空からの位置情報等の送受と地上からの指令を送受信



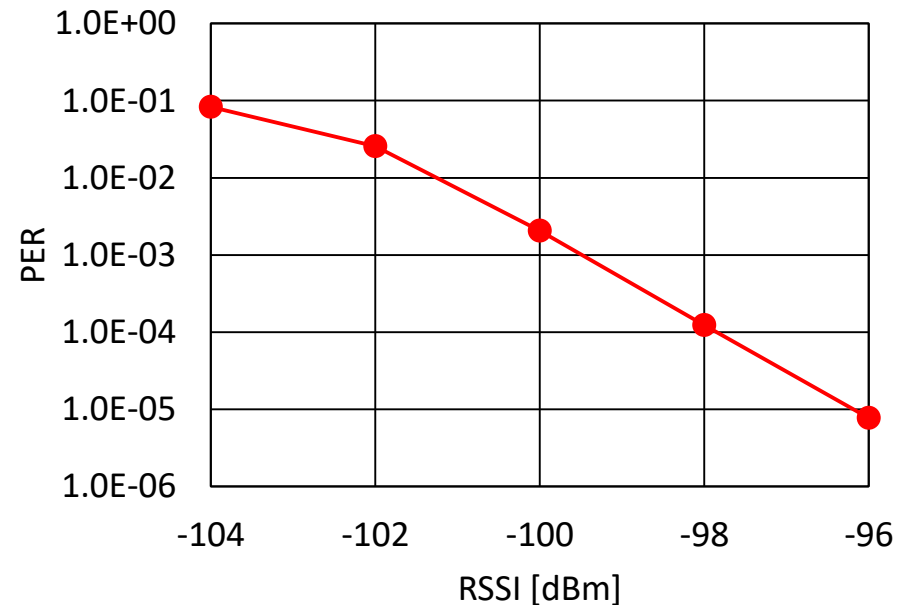
# 選定した無線ICでのPER評価

評価ボードにて受信電力  $-100$  dBm で  $PER=10^{-2}$  以下を確認

- 選定した無線ICで受信電力を変え、PER (Packet Error Rate) を評価



評価系

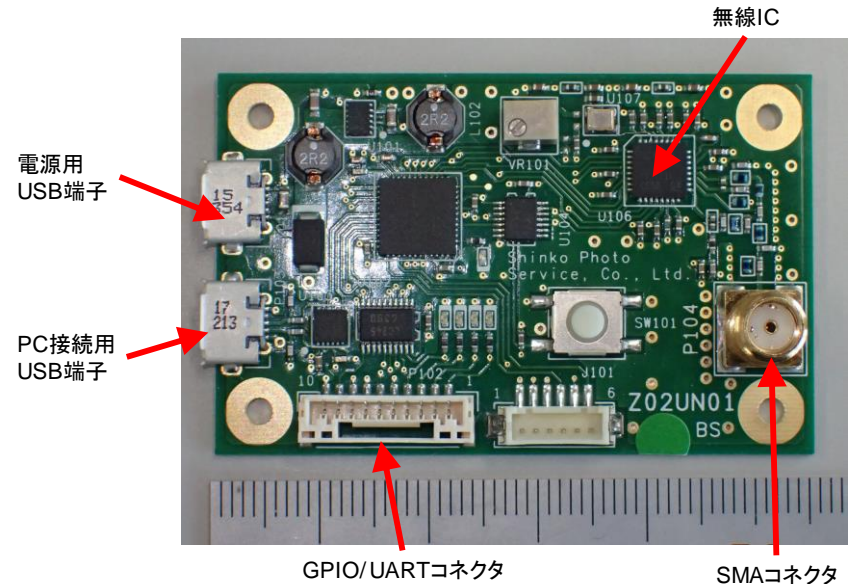


PER特性

# 無線器 諸元

## 小型の169MHz帯無線通信モジュールを開発

項目	諸元
種別	実験試験局
電波の型式	300KF1D
中心周波数	169.224 MHz
送信電力	10 mW
送信空中線利得	0 dBi、2.1 dBi
送信給電線損失	1 dB
変調信号	2値及び4値のFSK、GFSK

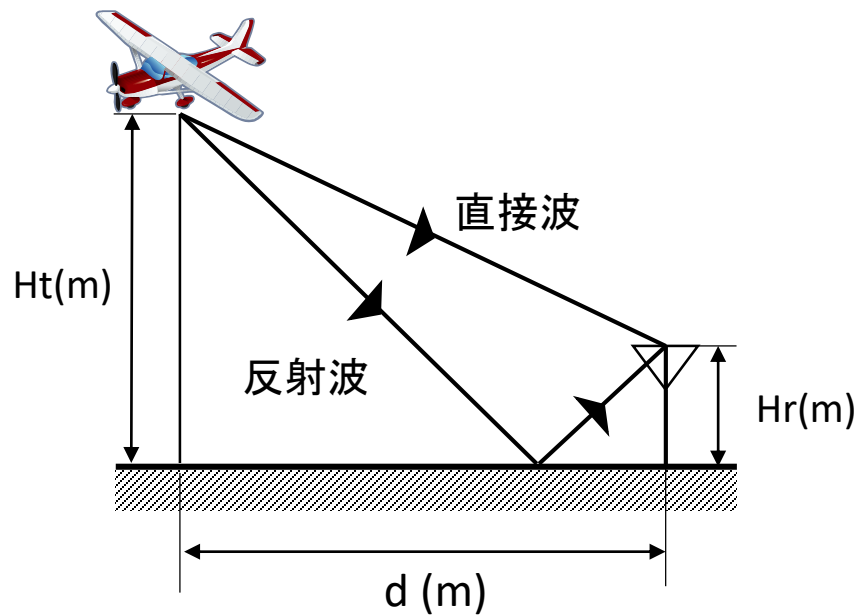


基板サイズ: 35mm × 55 mm × 11.5 mm  
重量: 本体8.4g  
外部電源: モバイルバッテリー



# 2波モデルでの伝搬シミュレーション

## 直接波と大地反射波の2波モデルで伝搬特性を検討

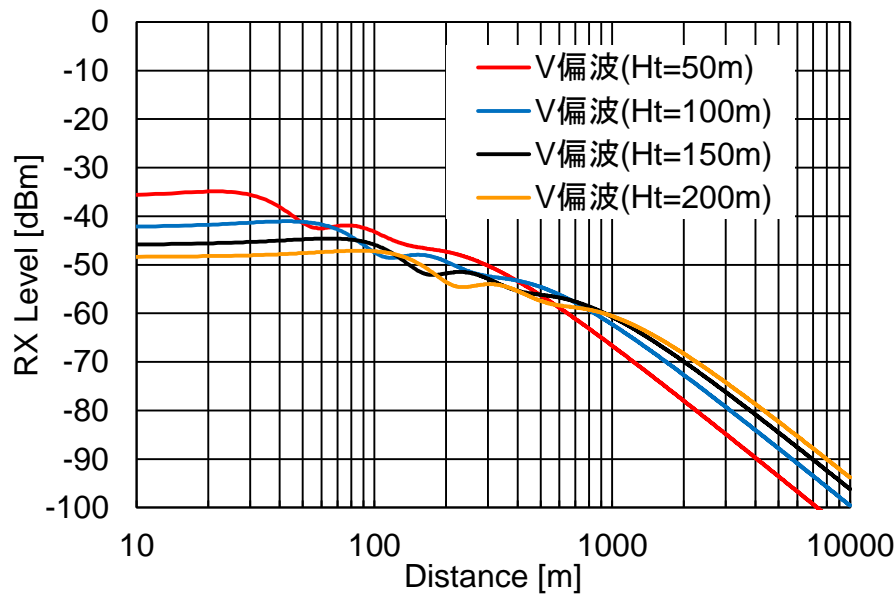


項目	値
送信周波数 $f$	169 MHz
伝送距離 $d$	最大10,000 m
送信アンテナ高さ $H_t$	50, 100, 150, 200 m
受信アンテナ高さ $H_r$	2 m
送信電力 $P_{out}$	10 dBm

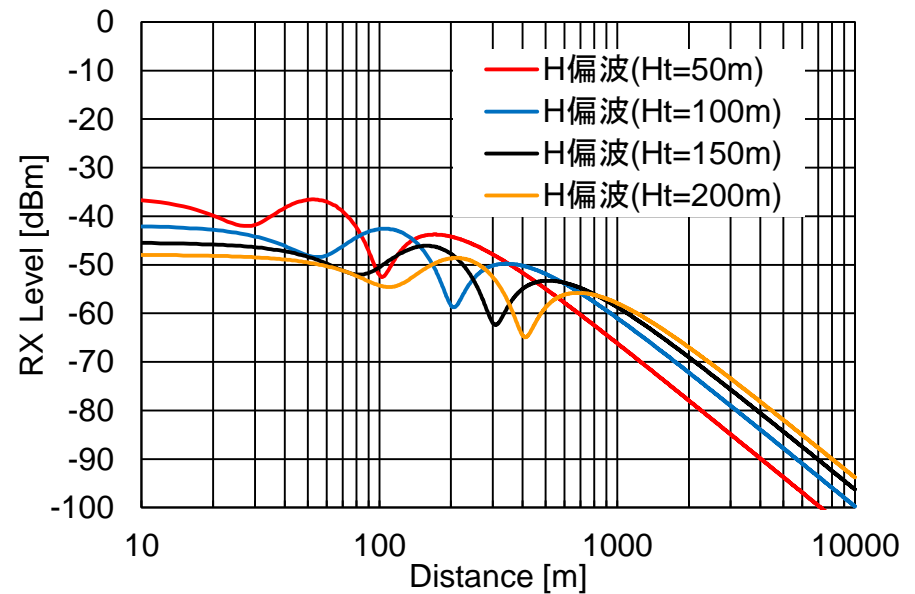
# シミュレーション結果

## 直接波と大地反射波の2波モデルで検討

- 理想的な平面大地でのシミュレーション結果
- 実環境では平坦度や土壌、植生等の影響を受けるため、受信レベルの低下が発生



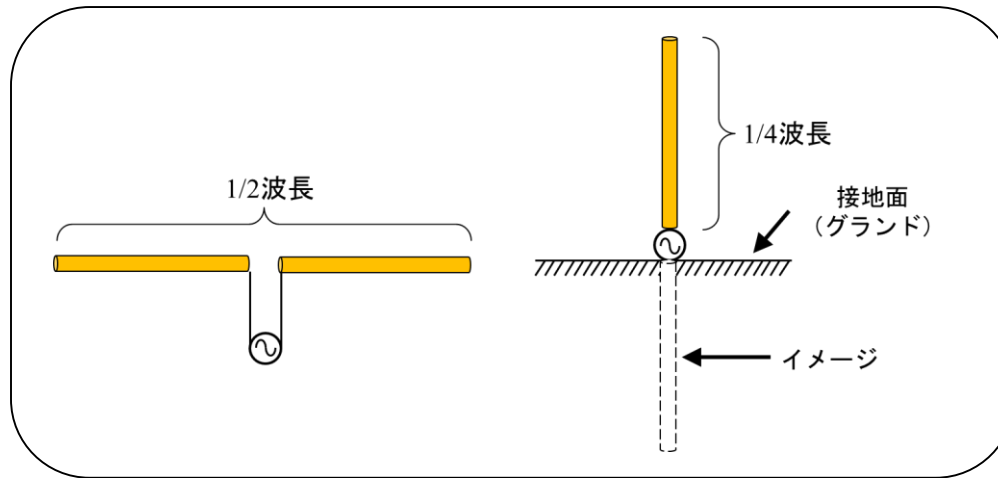
垂直偏波での受信レベル



水平偏波での受信レベル

# UAV搭載アンテナの検討

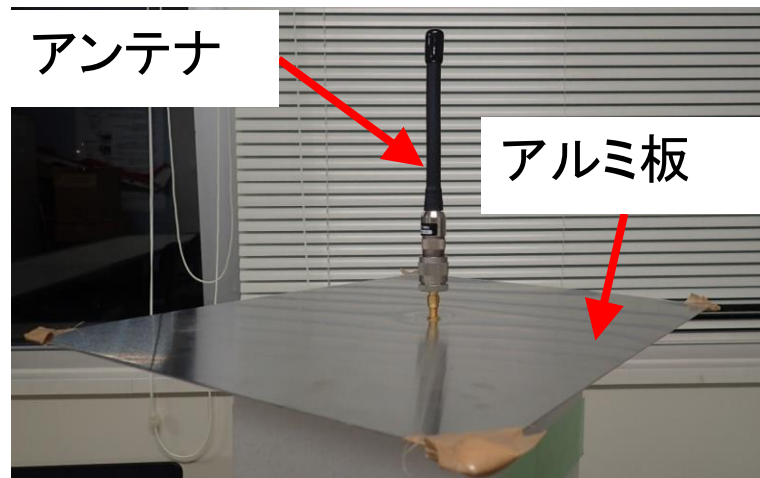
169MHzの波長が約1.7m → アンテナのサイズが課題



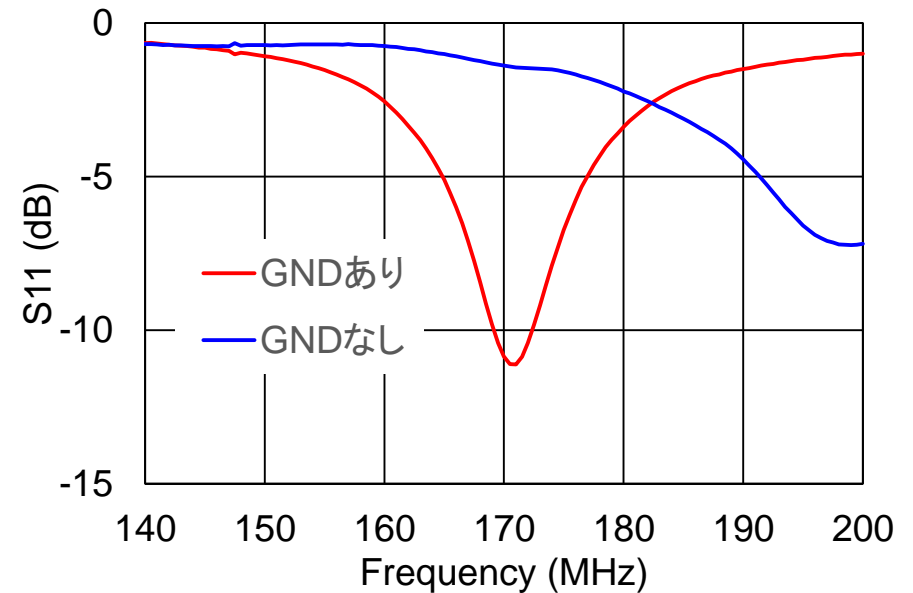
# 短縮ヘリカルアンテナの評価

UAV搭載にはアンテナが共振するグランド板の確保が課題

- 169MHz帯用の短縮ヘリカルアンテナを評価
  - 全長 145mm
  - グランド板として300 mm × 400 mmのアルミ板を使用



セットアップ状況



アンテナの共振特性

# まとめ

室工大での実施中の固定翼UAVに関する制御・通信技術として

- ・ 模型飛行機をベースにして固定翼UAVの制御実証例
  - ・ UAV用に制度整備された無線通信周波数での検討状況
- を紹介した。