

平成 29 年 12 月 1 日

「小型無人機の飛行位置把握に係る無線システムの調査検討会」

作業グループ 3 中間報告資料

検討テーマ 3: 実フィールドにおける検証

検討メンバー ◎姉齒委員、北島委員、中村委員、三浦委員

(◎はとりまとめ担当)

1. 実フィールドにおける検証。

小型無人機の飛行位置等を地上でリアルタイムに把握するための無線システム、「飛行位置把握システム」(以下、「システム」という。)の動作確認等の実証試験を行う際の測定項目及び公開実証試験の実施内容について検討する。

2 検討項目(案)

検討に当たっては、異なるユーザーの複数の小型無人機が同一の飛行エリアを同時に飛行することを想定する。

(1)測定項目の検討

①小型無人機の高度毎の伝搬特性、②電界強度、③BER等を調査し、高度毎の伝送可能距離を把握する。

(2)公開実証試験の検討

○公開実証試験会場

福島県内(福島浜通りロボット実証区域(予定地含む。))

○実施方法、手順

システム構成等の説明等を行う。小型無人機5機程度を同時に飛行させ、その飛行位置をシステムの表示器及びディスプレイ等に表示させる。

3. 技術試験

3.1 電波伝搬特性試験

【目的と概要】

伝搬損試験としては過去奥村・秦氏により

自動車電話の電波伝搬特性、開放地、郊外、中小都市、大都市の各エリアで実際に試験を行い、伝搬特性近似式としたものです。電波伝搬特性の貴重な基礎データとして活用されている。

市街地 基本 $L_p = 69.55 + 6.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} r$ dB

中小都市 $a(h_m) = (1.1 \log_{10} f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f_c - 0.8)$

大都市 $a(h_m) = 8.29 (\log_{10} 1.54 h_m)^2 - 1.1$; $f_c \leq 200$ MHz

$= 3.2 (\log_{10} 11.75 h_m)^2 - 4.97$; $f_c \geq 400$ MHz

郊 外
$$L_{PS} = 69.55 + 6.16\log_{10}f_C - 13.82\log_{10}h_b - (1.1\log_{10}f_C - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}f_C - 0.8) + (44.9 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}r - 2(\log_{10}f_C/28)^2 - 5.4 \quad \text{dB}$$

開放値
$$L_{PO} = 69.55 + 6.16\log_{10}f_C - 13.82\log_{10}h_b - (1.1\log_{10}f_C - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}f_C - 0.8) + (44.9 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}r - 4.78(\log_{10}f_C)^2 + 18.33\log_{10}f_C - 40.94 \quad \text{dB}$$

f_C ; 周波数 150～1500MHz r ; 距離 1～20km

h_b ; 基地局アンテナ高 30～200m h_m ; 移動機アンテナ高 1～10m

となっており本調査検討に用いるシステムの周波数及びアンテナ高について網羅されている。

本伝搬特性は、奥村・秦カーブのどの近似ラインにあるのかを実証実験するものである。

【試験系統図】

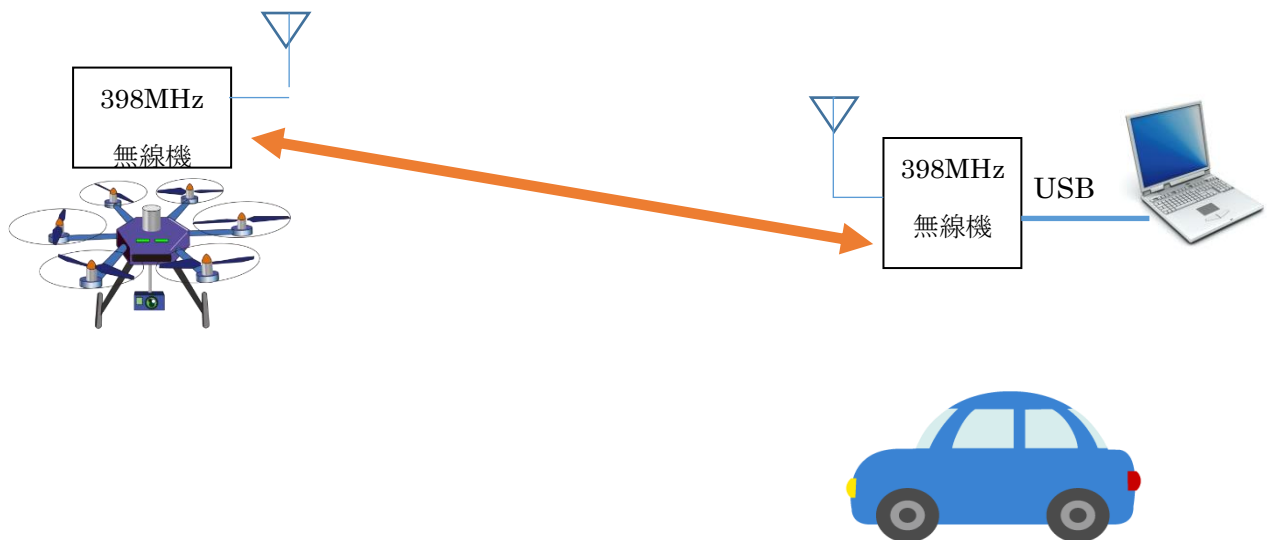


図 1 電波伝搬実験の系統図

【無線機】

利用周波数	: 347.7MHz～420MHz の範囲において選定
占有周波数帯幅の許容値	: 20KHz 以下
変調形式	: 2GFSK
変調速度	: 19.2kbps
空中線電力	: 200mW
送信周期	: 1 秒間の中でのランダム送信

【使用機材】

- ① 位置情報システム用無線機 2台
- ② ノートパソコン(GPS 評価ソフト) 1台
- ③ 398MHzアンテナ 1/4 λ1本(無人機側)
- ④ 398MHzアンテナ 1/2 λ1本
- ⑤ 無人機(マルチコプター) 1機
- ⑥ ラジコンシステム(高度センサー付) 1式
- ⑦ 自動車 1台
- ⑧ トランシーバ 2台
- ⑨ その他 電源、配線材、など

【試験手順】

(1)観測場所

電波発射場所:宮城県仙台市宮城野区 海岸公園駐車場付近等

(ドローンを当該地域でホバリングにて最大149mまで上下飛行が可能な場所)

・測定ポイント:電波発射地点から仙台空港方面へ直線距離 20km までの任意の地点で発射地点が見通

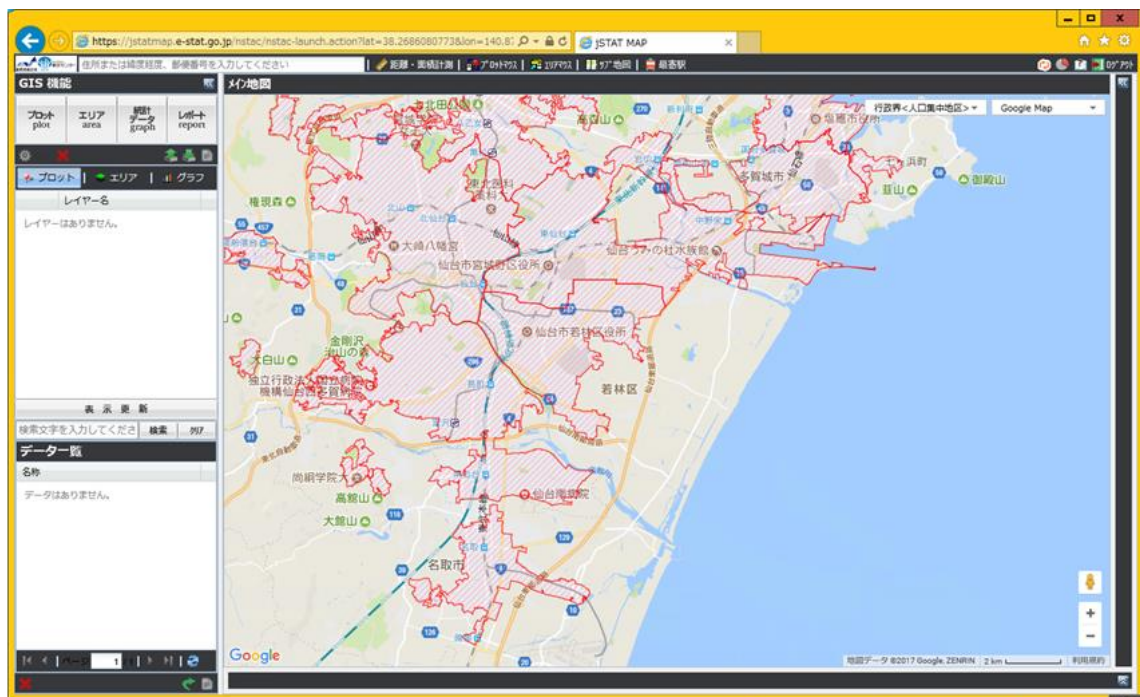


図 2 宮城県仙台市宮城野区

(2)実験手順

- ① ドローンは一定の場所で飛行させる。
高度 0、10、20、50、100、149m (6 ポイント)でホバーリングする。
高度はラジコンテレメトリーの高度センサー(精度約1m)で調整する。
- ② ノートパソコンで双葉タームを起動して TS2(無線機テストコマンド)を打ち込む
- ③ 移地上局は 0.5、1、2、5、10、15、20km (7 ポイント)に移動して観測。
- ④ 移地上局は各地点でアンテナ高 1m、2m にして測定
- ⑤ 6×7×2の合計 84 点の測定を行う。

注意事項:

無人機飛行に関しては、補助者を付け、周辺の監視(特に低空飛行する可能性のある有人ヘリコプターに注意する。発見したなら無人機は着陸させる。また、有人ヘリコプターが 200m 近傍を通過した場合は、30 分程気流が収まる迄飛行はしないようにする。

※測定例 TS2 コマンド

【レスポンス】

P0	:コマンド受理
Connect	:回線接続、測定開始
ooxxooooxo 003 -064dBm	:測定結果
Disconnect	:回線切断
N0	:コマンドエラー

【機能】

- ・1 パケット 127 バイトのデータを送受信し、10 パケット単位でパケットエラーレートを測定し、結果をシリアルに出力。
- ・受信パケットの 1 パケット毎にエラーがなければ「o」、エラーがあれば「x」を表示。
- ・10 個の「o」、「x」の後の数字 3 桁は、エラーパケット「x」の個数、
次の 3 桁は最終パケットの電界強度 dBm を示す。
- ・20 パケット連続して受信失敗した場合は回線が切断される。

3.2 公開実証試験

【目的と概要】

- 目視外飛行する機体の位置把握・表示機能の有効性確認
 - ✓ 操縦者等に対する複数機の位置表示の有効性確認（運航管理への適用性確認）
例えば、位置表示結果を基にした飛行経路設定、飛行経路変更等の操作のデモ、など。
 - ✓ 本システムの技術的検証（①送信～位置表示までの総遅延時間、②飛行位置・速度の計測能力及び誤差、③同一エリア内での複数機の周波数共用状況の確認）

【試験系統図】

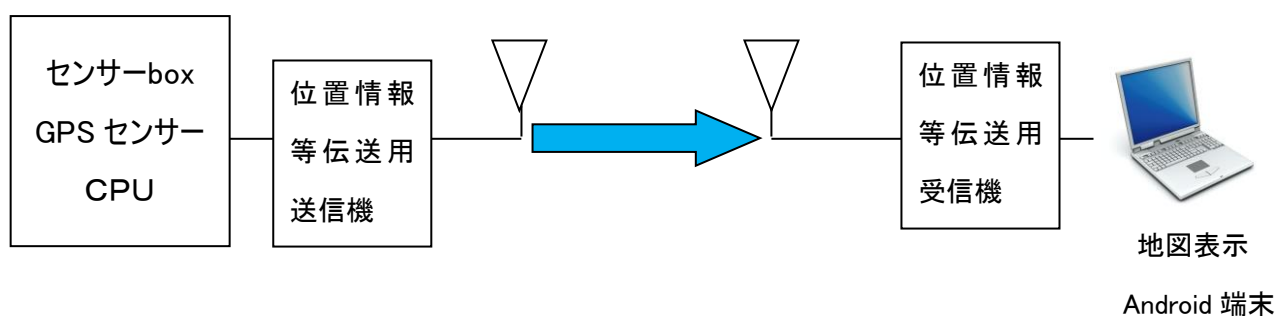


図 3 電波伝搬実験の系統図

【公開実証試験場所】

福島県南相馬市 福島浜通りロボット実証区域（予定地含む。）

【使用機材】

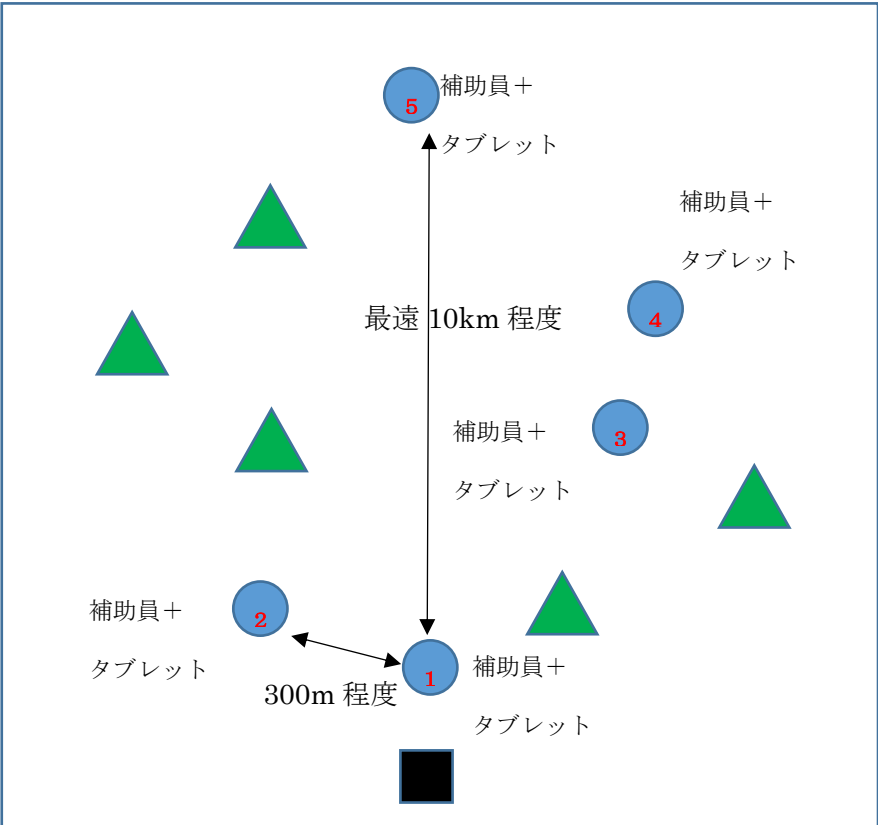
- | | |
|--------------------|-------|
| ① 飛行可能ドローン | 5 機 |
| ② (ダミードローン | 5 機) |
| ③ 位置情報送信システム | 10 台 |
| ④ 位置情報受信システム | 5 台 |
| ⑤ アンドロイド 6.0 タブレット | 5 台 |
| ⑥ 連絡用簡易無線機 | 6 台 |
| ⑦ モニター | 1 台 |
| ⑧ 5GHz画像伝送器 | 1 セット |
| ⑨ その他 | |

ドローン用電池・充電器、位置情報システム用電池・充電器

位置情報受信システムータブレット接続 USB ケーブル

位置情報受信システム — モニター接続 HDMI ケーブル

【機器配置】



	基地局・公開実証試験の参加者観覧地点(モニター設置場所) 1 地点。天候不調時も想定し建屋。送信局タブレット No.1 から HDMI 及び 5GHz画像伝送器経由で、基地局のディスプレイまたはプロジェクタに無人機配置画面を投影。
	送信局・ドローン運行地点 計 5 地点。操縦者を配置し(基本、位置確認のため受信局タブレットも保持)、操縦者は各地点から見通し内で滞空・飛行等ドローン運行を行う。 ・1 地点(No.5)については、基地局から最遠 10km 程度を予定 ・2 地点(No.1,2)については、基地局から近傍を想定。当該地点のドローン同士が飛行近接し、各操縦者が認識、互いに飛行経路変更する様子を見せることを想定。 (基地局では画面及び目視での状況観覧できるよう、基地局近傍を想定)
	ダミー送信局・地上等固定設置 計 5 地点。送信機は地上等に固定設置。

【実験手順】

- ① : 小型無人機 10 機(内5台はダミー送信局)をテストフィールドに点在させる。
- ② : ①の内、5 機(送信局)を同時に飛行させる。No.1 送信局は上空 100m等で滞空。
- ③ : ダミー送信機は地上通信可能エリアに配置する。
- ④ : 基地局モニターに、送信局タブレット No.1 から HDMI 及び 5GHz画像伝送器経由で、無人機配置を表示する。(以下、各操作による飛行状況を常時確認)
- ⑤ : No.2～5 送信局は有視界飛行で高度 149m以下を自由に飛行する。
- ⑥ : 基地局と No.2 送信局間で連絡用無線機でのやりとりのもと、No.2 送信局を No.1 送信局に接近させる。目視接近 50m位までとする。
- ⑦ : 基地局と No.2 送信局間で連絡用無線機でのやりとりのもと、No.2 送信局は飛行経路変更を行い、No.1 送信局への回避行動をとる。

※留意点

- ✓ プロトタイプ(試作機)等の運用に必要な無線局(実験試験局等)の開設の手続きを行う。
- ✓ プロトタイプ(試作機)の飛行に際しては、航空法及び関係法令を遵守する。
人口集中地区は DID 地区(Densely Inhabited District)対象外と高度 150m未満の飛行での実験を行うので改正航空法における申請は不要となる。
- ✓ 飛行に係る安全対策を十分に施し、安全を十分に確認した上で飛行を開始する。
各無人航空機の飛行時には操縦者と助手の2人構成で安全を確保する。

※参考1:実際の予定機器配置及び手順



市役所からRTF方向を望む



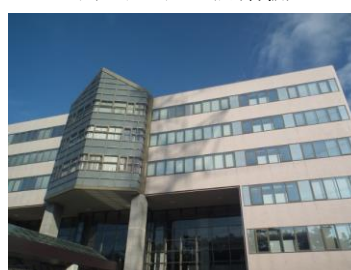
テクノアカデミー浜(看板)



テクノアカデミー浜(第1教室)



南相馬市放射線対策総合センター



東北電力総合研修センター



南相馬市立大甕小学校



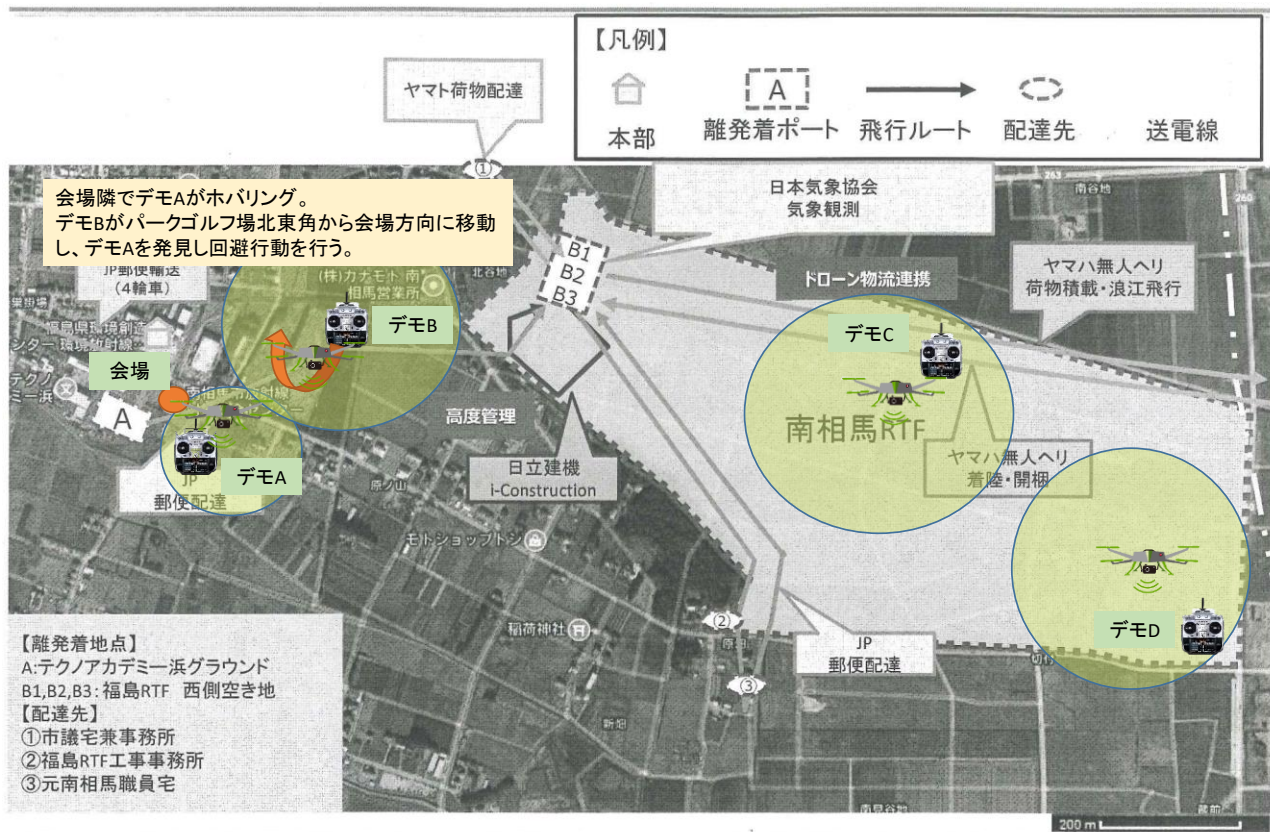
浄化センター



南相馬市立小高病院



馬事公苑近辺からRTF方向



※参考 2：技術的検証事項について

● 送信から飛行位置情報を表示するまでの総遅延時間について

公開実証試験時は、下記試験結果をパワーポイントでモニター表示し説明する。

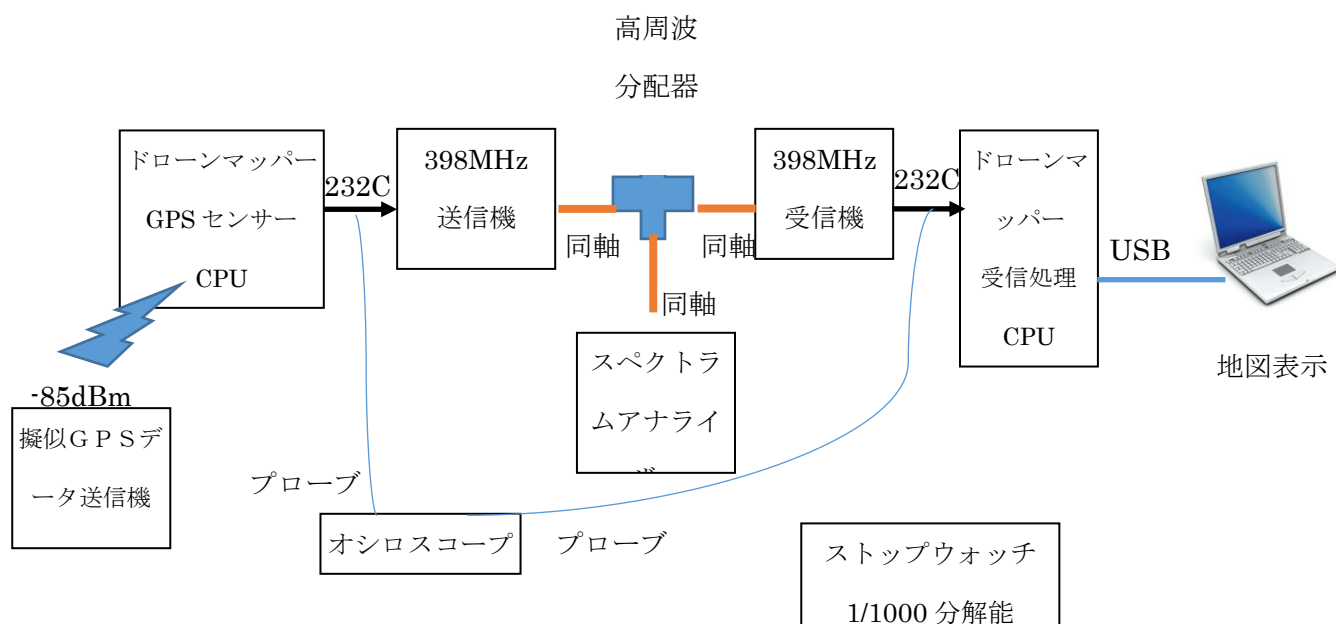
【測定場所】

双葉電子工業（株）長生工場内

【使用機材】

- ⑩ 位置情報システム 1 式
- ⑪ GPSシミュレータ（擬似 GPS データ送信機） 1 台
実 GPS のデータを記録して再送信（国内微弱電波出力以下）する機器
- ⑫ リアルタイムスペクトラムアナライザー 1 台
- ⑬ ストップウォッチ 1 台
- ⑭ 高周波分配器 1 台
- ⑮ 記録カメラ 60 フレーム/秒 1 台
- ⑯ その他 電源、配線材、同軸ケーブルなど

【機器設定】



【試験手順】

- ⑥ : GPSシミュレータ（擬似 GPS データ送信機）にはあらかじめ、屋外で 100m 程移動したデータを記録しておく。
- ⑦ : 上記のようにシステムを机上に配置する。
- ⑧ : GPSシミュレータ（擬似 GPS データ送信機）から①の記録内容を再生し電波を出して、地図に表示して移動することを確認する。
- ⑨ : ドローンマッパーGPS センサーCPU の出力データをオシロスコープに入れ、それをトリガーにして 398MHz 受信機の 232C もオシロスコープに入れて、その時間差を観測する。

→無線区間の遅延が計測できる。

- ⑩ : ストップウォッチをスタートさせる。
- ⑪ : 398MHz 送信機が電波発射するごとにスペクトラムアナライザーで観測できるようにする。
- ⑫ : 記録カメラで、スペクトラムアナライザー・ストップウォッチ・地図表示を記録する。
- ⑬ : カメラの記録データを解析してスペクトラムアナライザーが電波を観測した時間と地図表示の位置変化した時間の差を算出する。

● 飛行位置と飛行速度の測能力及びその誤差について

公開実証試験時は、下記試験結果をパワーポイントでモニター表示し説明する。

【測定場所】

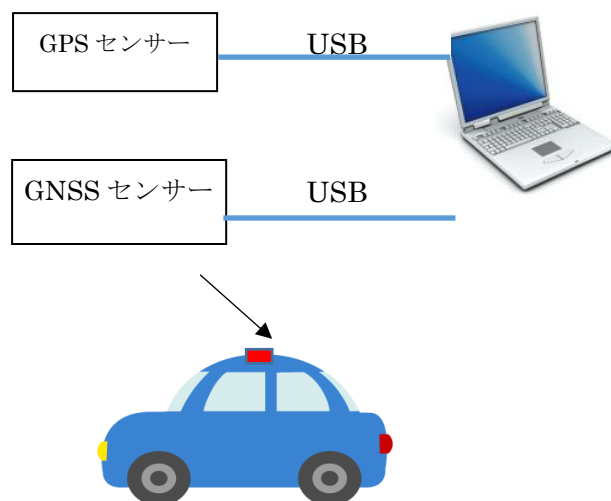
千葉県茂原市近郊

【使用機材】

- ① GPS モジュール 1 台
- ② GNSS モジュール 1 台
- ③ ノートパソコン (GPS 評価ソフト) 1 台
- ④ 車 1 台

測定データが多くセンサーをドローン搭載して無線で送ることは出来ないため車に搭載して記録する。

【機器設定】

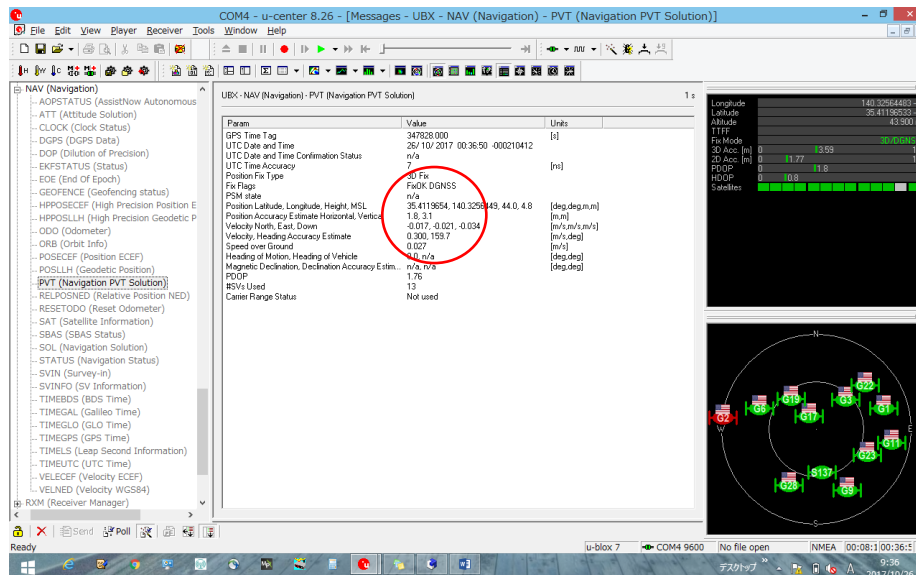


【試験手順】

- ① GPSセンサーおよびGNSSセンサーのアンテナを車のルーフの上にとりつける。
- ② 各センサーUSBケーブルを介してPCに接続する。
- ③ GPS衛星の補足数が8機以上になってから計測を始める。
- ④ 車両速度 10、20、30、40、60Km （メータ読み）で計測
- ⑤ GPS 評価ソフトを起動する。
- ⑥ 各速度毎に評価ソフト計測画面をキャプチャして記録する。
- ⑦ 衛星配置で精度が変わることから、数時間間を空けるか日を変えて測定する。

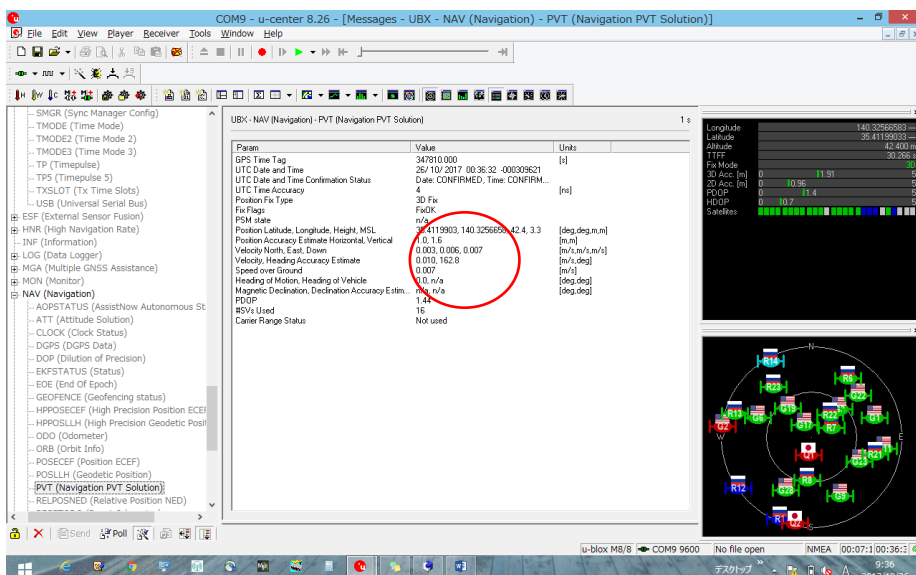
※なお、GPS メーカー様から上記相当のデータ提供頂ける場合にはそちらを採用することとする。

測定例 1 GPS センサーデータ



地面の上に置いた状態で右下GPS配置において：衛星数 11 機 水平誤差 1.8m 垂直誤差 3.1m、速度誤差 0.3m/s (1.08Km/h)

測定例 2 GNSS センサーデータ



地面の上に置いた状態で右下GNSS配置において：衛星数 23 機 水平誤差 1.0m 垂直誤差 1.6m、速度誤差 0.01m/s (0.036Km/h)

- 同一エリア内での複数機による周波数共用状況の確認について

公開実証試験の場にて確認する。

位置情報受信システムに使用しているドローンマッパーのSDカードには通信ログが格納されるため、5分間あたりの受信データを機体IDごとにソートし、受信成功率が算出できる。