

## 5. 実証試験

### 5.1 実証試験の目的

3で検討したシステム要件及び無線機諸元に基づき設計・作成した試作装置を用いて電波伝搬特性の測定や動作確認等を行うことでシステム要件等の妥当性を確認するとともに、技術的条件策定に向けた基礎データを得ることを目的とする。

### 5.2 実証試験の概要

実証試験は、本システムを搭載した小型無人機の高度を変化させながら高度毎の電波伝搬特性を確認し、小型無人機からの伝送可能距離を調査することとした。また技術検証事項として、GPSによる位置特定から位置情報が画面表示されるまでの総遅延時間、小型無人機の移動速度による飛行位置・速度の測定能力、同一エリア内複数機の周波数共用（収容台数）について検討した。

また、公開実証試験を福島県南相馬市にて開催し、システム構成等の説明及び小型無人機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デモンストレーションを行った。

### 5.3 プロトタイプ的设计及び作成

3で検討したシステム要件及び無線機諸元案に基づき、プロトタイプ的设计及び作成を行った。無線設備系統図、システム系統図、及び、全体構成を以下に示す。

### 5.3.1 無線設備系統図

無線設備系統図を図 5-1 に示す。

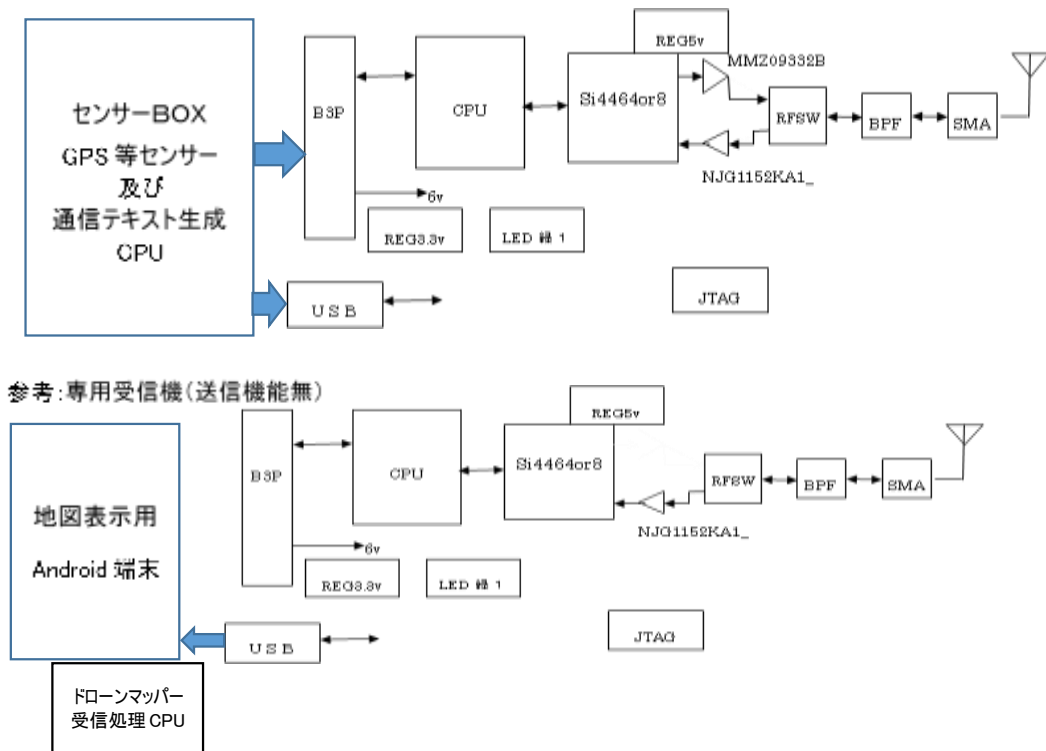


図 5-1 無線設備系統図

### 5.3.2 システム系統図

システム系統図を図 5-2 に示す。

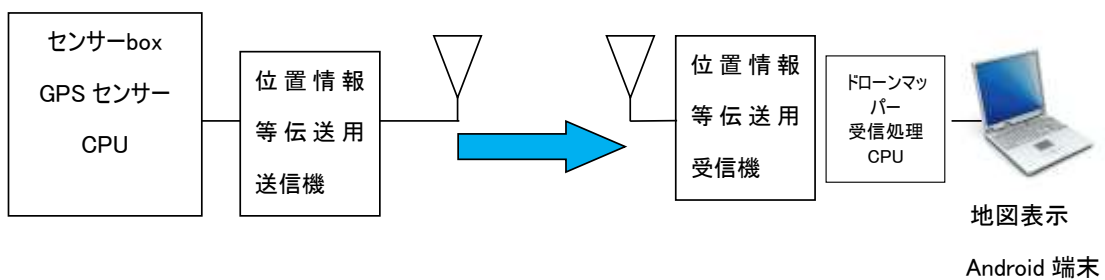


図 5-2 システム系統図

### 5.3.3 全体構成

システムの全体構成を表 5-1 に示す。また、システムの外観写真を図 5-3 及び図 5-4 に示す。

表 5-1 システム構成

	システム要件	設計	備考
1	飛行位置情報等を計測する機能	GPS	
2	計測した情報(信号)を伝送する機能	ドローンマッパー方式 (IEEE802.15.8、分散同報型)	
3	必要な飛行位置情報の内容(運航安全管理に最低限必要な情報)	機体識別符号(ID)、日付時刻、緯度、経度、海拔高度、機体種別 地上局、無人航空機ドローン(マルチロータ、シングルロータ)、無人航空機固定翼機、有人ヘリ 有人固定翼機、地上車両) 等	
4	一機体からの送信情報量	端末 ID(32)、位置情報(8)、時刻(17)、緯度(28)、経度(28)、高度(16)、速度(10)、方向(10)、機体種別(8)、予備(19) : 計 176bit (22B)	バイナリデータ 無線機全体として 352bit 送信時間 18.3ms
5	飛行位置を把握できる範囲(所要の通信距離)	地上受信機から半径 10km 程度まで	火山災害の場合侵入規制ラインが 4~5Km となるため 10Km 程度の通信が確保できることが望ましい
6	飛行位置を把握できる機体数(同時運用機体数)	同一範囲内において同一周波数で 10 機以上 50 機程度までを想定。	火山災害や大規模地震や水害などの場合中に入れないので周辺の数か所から観測する可能性があるため複数機を想定した。
7	飛行位置情報データフォーマット	CSV 形式	
8	飛行位置情報の更新回数	毎秒 1 回	
9	飛行位置を計測できる機体速度	時速 100km 以上	GPS デバイス仕様による
10	飛行位置情報の誤差	10m 以下	
11	飛行位置情報の送信から地上でパソコン等の地図上に表示するまでの遅延時間	遅延時間は 1 秒以下	バースト信号の衝突による遅延は含めない。
12	地上での表示方法等	航空写真画面に重畳して表示	
13	受信電界強度の付加	受信電文の後にそのパケットの受信電界強度を付加する。	CSV ファイルに格納
14	通信断時の表示	任意に設定した通信断時間を経過すると表示アイコンに×を重ねる。	設定時間は 5/10/15/20 秒



図 5-3 送信システム（小型無人機側）



図 5-4 受信システム（地上側）

## 5.4 電波伝搬測定試験

### (1) 目的と概要

本試験は、本システムを搭載した小型無人機の高度を変化させながら高度毎の電波伝搬特性を確認し、小型無人機からの伝送可能距離を調査するとともに、奥村・秦カーブとの対応確認を行う。奥村・秦カーブとは、奥村・秦氏により、自動車電話の電波伝搬特性について、開放地、郊外、中小都市、大都市の各エリアで実際に測定試験を行い、伝搬特性近似式として構成され、電波伝搬特性の基礎データとして活用されているものである。

### (2) 試験系統図

本試験における試験系統図を図 5-5 に示す。

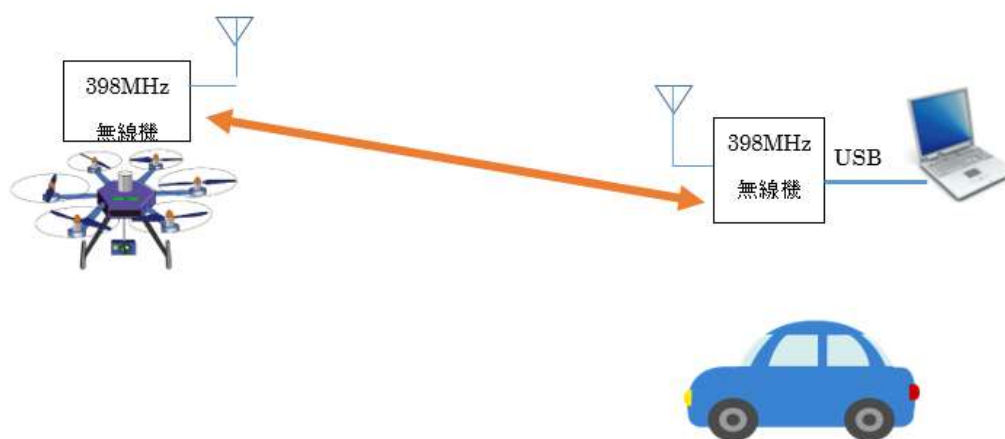


図 5-5 電波伝搬測定試験系統図

無線機の諸元を以下に示す。

- 利用周波数 : 398MHz
  - 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 : 23dBm (200mW)
  - 送信周期 : 1 秒間の中でのランダム送信
  - 送信アンテナ利得 : 0dBi
  - 受信アンテナ利得 : 4dBi
  - 受信側ケーブル損 : 2dBi
- (伝搬損補正值 : 25dB=23dBi-0dBi+4dBi-2dBi)

また、実験使用機材を以下に示す。

- 位置情報システム用無線機 2台
- タブレット (位置表示用) 1台
- 398MHz アンテナ 1/4λ 1本 (無人機側)
- 398MHz アンテナ 1/2λ 1本
- 小型無人機 (マルチコプター) 1機
- ラジコンシステム (高度センサー付) 1式
- 自動車 1台
- トランシーバ 2台
- その他 電源、配線材、など



図 5-6 無線機設置状況

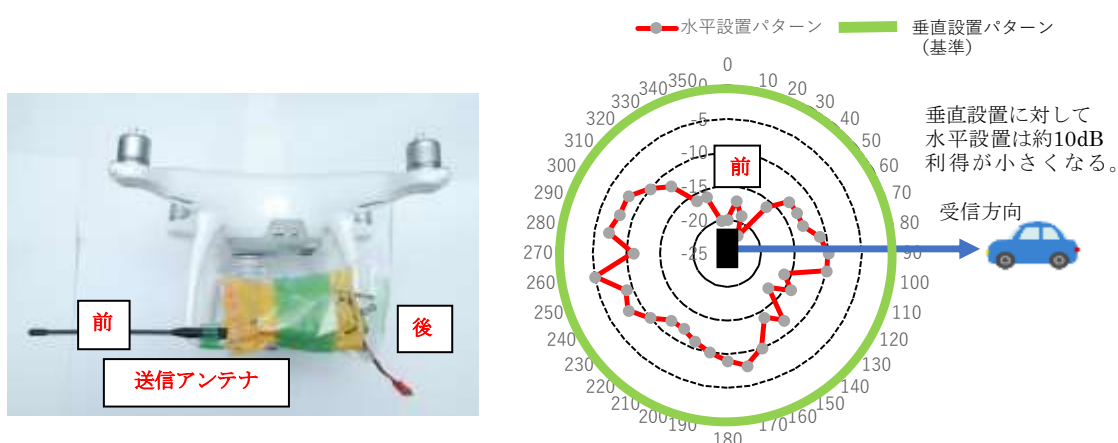


図 5-7 小型無人機へのアンテナ設置状況とアンテナ指向性パターン

### (3) 試験場所及び手順

#### 1) 試験場所

電波の発射場所は、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）とした。

また、測定ポイントは、電波発射地点から仙台空港方面へ直線距離 10km 程度までの任意の地点とした。測定代表地点の配置を図 5-8 に示す。測定地点はマルチパスや遮蔽の大きな影響を回避するよう、基本的に周囲に土盛りや建造物がない場所を選定した。

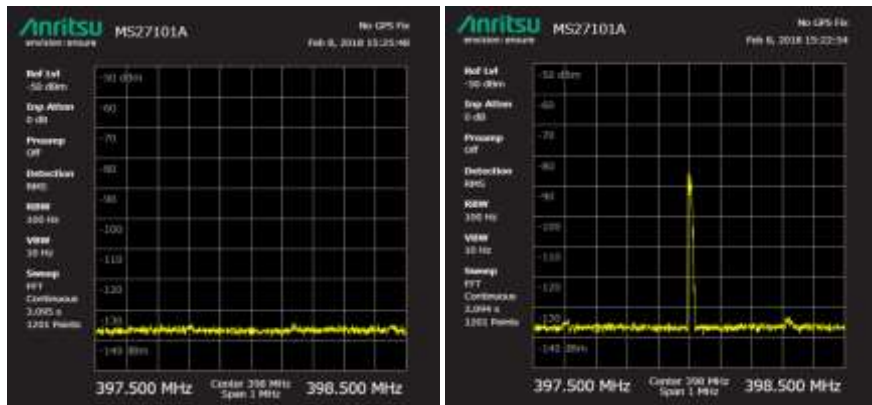


図 5-8 宮城県仙台市宮城野区における測定代表地点

出所) 地理院地図

また小型無人機発着場付近の電波環境測定結果を図 5-9 に示す。ノイズフロア付近であり自波以外の特に顕著な波は観測されていない。





Anritsu MS27101A Center:398MHz/Span:1MHz  
RBW=100Hz/ATT=0dB/Preamp=off

(送信機からの発射時)

図 5-9 電波環境測定結果

## 2) 試験手順

試験手順を以下に示す。実験に際し、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し、発見時には無人機を着陸させる。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）に注意を払った。

- ① 小型無人機は一定の場所で飛行。  
 やや強風のため、基本、高度 80m でホバリングさせ計測を行った。  
 高度はラジコンテレメトリーの高度センサー（精度約 1m）で調整した。
  - ・ 6.6km 地点で受信エラーが発生し微風であったため高度 149m に設定した。
  - ・ 10km 地点で 149m から高度を下げて受信エラーする高度を観測した。
 なお、地上受信局（自動車）の空中線高は 2m とした。
- ② 自動車で小型無人機発着場から距離を離れていき、図 5-8 の各測定ポイント (400m、500m、5km、6.6km、10km) において、タブレットの位置情報システムによる位置情報取得可否と RSSI を確認した。

## (4) 試験結果と考察

各測定代表地点における測定結果を表 5-2 に、すべての測定結果に関する奥村・秦カーブとの対応を図 5-10 に示す。

表 5-2 測定代表地点における測定結果

	地点名	北緯	東経	海拔高 (m)	小型無人機高 (m)	受信電力 (dBm)
基点	小型無人機発着場	38° 13' 34.8"	140° 58' 56.6"	5	—	—



①	400m 地点 荒浜小学校裏	38° 13' 22.5"	140° 58' 49.3"	5	80	-75
②	500m 地点	38° 13' 22.7"	140° 59' 08.5"	5	80	-65
③	5km 地点	38° 11' 04.6"	140° 57' 48.5"	15	80	-96
④	6.6km 地点	38° 10' 50.1"	140° 56' 42.0"	14	149	-99
⑤	10km 地点	38° 08' 56.7"	140° 55' 18.4"	10	149/100	-101/-105

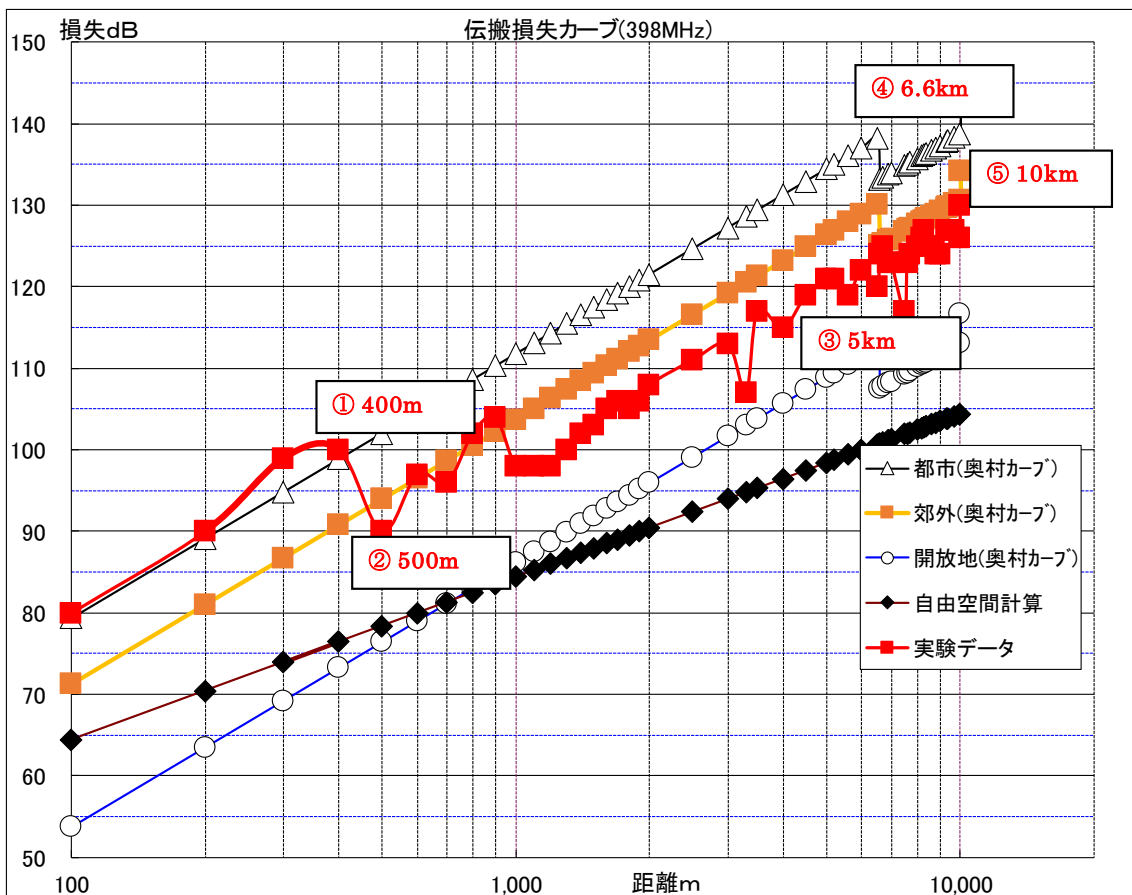


図 5-10 測定結果と奥村・秦カーブとの対応

- ① 400m 地点までは、ドローンと計測点間に 10m 高の土盛りがあり、電力損が大きい結果となった。
- ② 500m 地点は、通信路に障害物がない見通しが良い地域で計測できた。
- ③ 500m～5km 程度まで約 7m 高防潮堤の脇での計測となった。見通しは良いが横からのマルチパスの発生が推測される。(図 5-11)
- ④ 6.6km 地点で受信エラーが発生したため、小型無人機の高度を 80m から 149m に上げ、奥村・秦近似値と同じ 5dB の改善が見られた。(図 5-11)
- ⑤ 10km 地点では小型無人機高度 100m で位置検出ができた。(図 5-11)

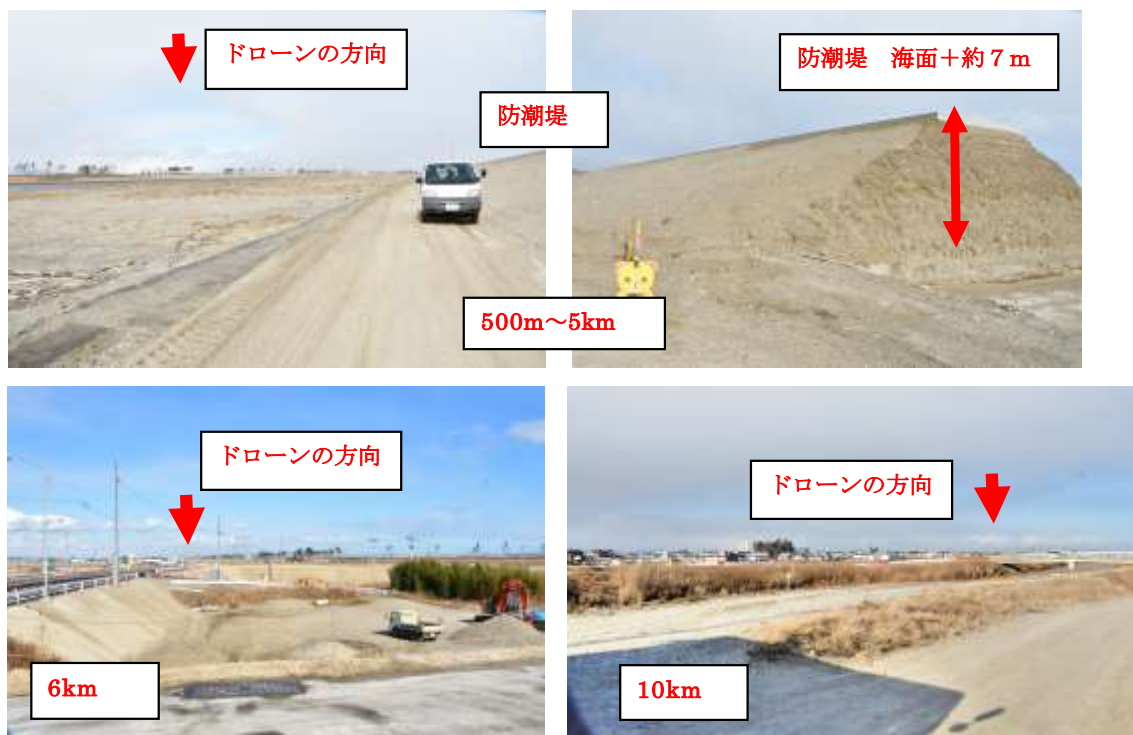


図 5-11 測定地点の状況

小型無人機高度 100m で 10km の離隔で位置情報検出できることが確認できた。測定を行った仙台港沿岸部の環境においては奥村・秦カーブの郊外モデルが近似しており、防潮堤等の周囲環境からも結果は適当と考えられる。

また、図 5-10 の奥村・秦カーブ (郊外タイプ) における高度 149m と高度 80m の差は 5dB 程度であるため (6.6km 地点)、もし小型無人機が高度 149m である場合には 15km 程度の検出が可能であることが推測される。

なお、今回の小型無人機においては、構造上、図 5-7 のようにアンテナを横設置して測定を行ったが、フライトに支障無くアンテナを垂直設置できる小型無人機であれば 10dB 程度改善される。上記の 5dB とあわせると 15dB となり、高度 149m であれば計算上は 20km の離隔においても位置検出の可能性が想定されるが、実際は 20km 程度となると山や建築物等の影響もあり、概ね 15km 程度の通信可能距離が推察される。

## 5.5 技術検証試験

### 5.5.1 総遅延時間

#### (1) 目的と概要

5.3 のプロトタイプ的设计及び作成において設定したシステム要件の 1 つである「飛行位置情報の送信から地上でパソコン等の地図上に表示するまでの遅延時間」について、「遅延時間は 1 秒以下」という要件への適合を検証する。

## (2) 試験系統図

総遅延時間試験における試験系統図を図 5-12 に示す。

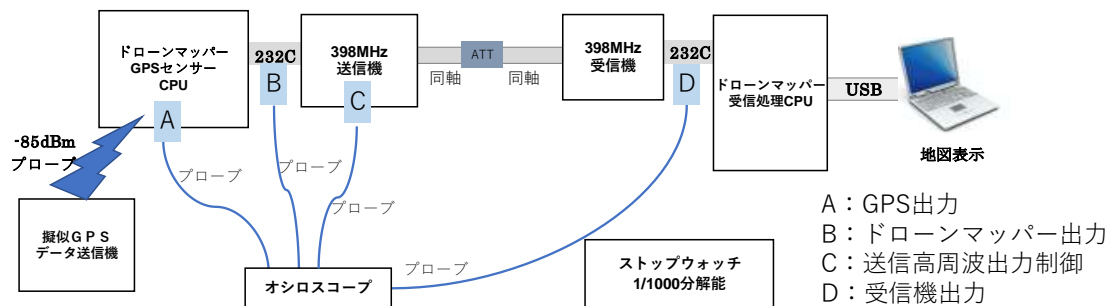


図 5-12 総遅延時間試験における試験系統図

また、試験には以下の使用機材を用いた。

- 位置情報システム 1 式
- 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
- オシロスコープ 1 台
- ストップウォッチ 1 台
- 記録カメラ 60 フレーム/秒 1 台
- その他 電源、配線材、同軸ケーブルなど

## (3) 試験場所及び手順

### 1) 試験場所

試験は、双葉電子工業 (株) の長生工場内にて実施した。

### 2) 試験手順

試験手順を以下に示す。

- ① GPS シミュレータ (擬似 GPS データ送信機) にはあらかじめ、屋外で移動したデータを記録しておく。

- ② 図 5-12 のようにシステムを机上に配置する。
- ③ 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。
- ④ 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）
- ⑤ ストップウォッチをスタートさせる。
- ⑥ 398MHz 送信機が電波発射するごとにオシロスコープで観測できるようにする。送信無線機の送信制御ポートにオシロスコープをつなぎ、記録カメラで、オシロスコープ・ストップウォッチ・地図表示を記録する。
- ⑦ カメラの記録データを解析してオシロスコープ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。

#### (4) 試験結果と考察

試験結果を図 5-13 に示す。

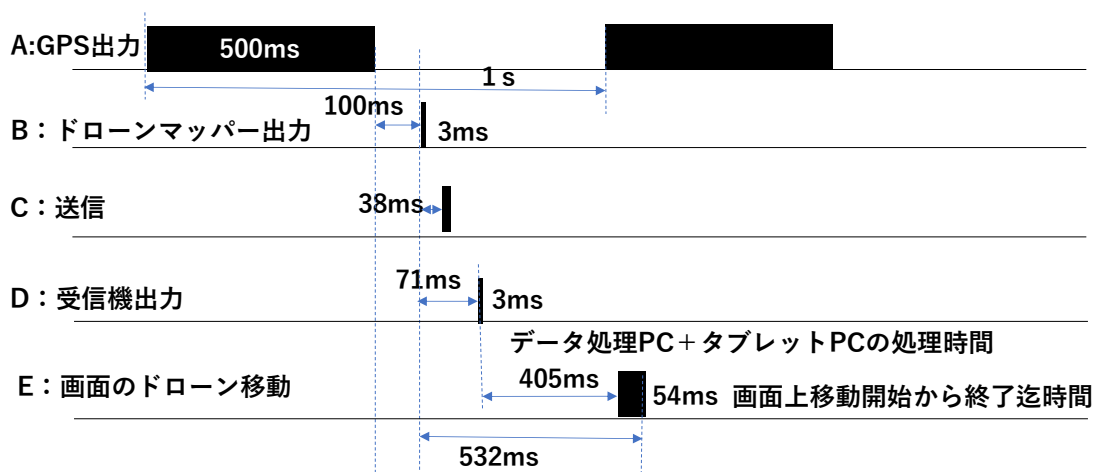


図 5-13 総遅延時間試験結果

GPS がデータを出してから画面のドローン移動が完了するまでの時間は、1132ms (A:500ms+B:100ms+E:532ms)、GPS のデータ出力から計上すれば632ms (B:100ms+E:532ms) となった。

また、無線機自体の遅延時間は 74ms (D:71ms+3ms) であるが、GPS のデータ出力時間 (A:500ms) と、データ処理 PC 及びタブレット PC での処理と描画の時間 (E:405ms+54ms) が、総遅延時間の大きな構成要素となっていることが分かった。

本システムの作成範囲である GPS のデータ出力以降の時間 (632ms) で見れば、「遅延時間は 1 秒以下」という要件に適合しているといえる。

なお、GPS センサーのデータレートを 9600bps から 115.2kbps に設定変更することで、GPS 出力からの総遅延時間は 1132ms から 574ms に改善するが、GPS 出力のサイクルが 1 秒であることは変わらないので、最短でも 1 秒おき (574ms の遅延) の画面更新となる。

## 5.5.2 飛行位置・速度の測定能力及び誤差

### (1) 目的と概要

5.3 のプロトタイプ的设计及び作成において設定したシステム要件である、「飛行位置を計測できる機体速度」及び「飛行位置情報の誤差」について、それぞれの要件である、「時速 100km 以上」及び「10m 以下」への適合を検証する。

### (2) 試験系統図

飛行位置と飛行速度の測定能力及びその誤差の試験における試験系統図を図 5-14 に示す。

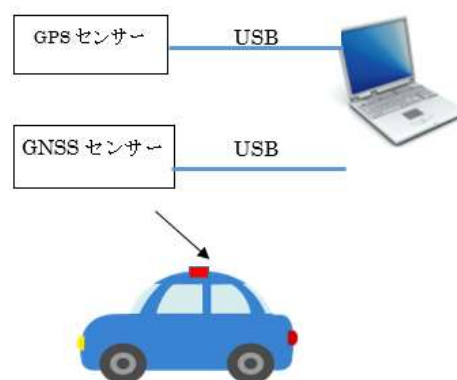


図 5-14 飛行位置・速度の測定能力及び誤差試験における試験系統図

また、試験には以下の使用機材を用いた。

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

### (3) 試験場所及び手順

#### 1) 試験場所

本試験は、千葉県茂原市近郊の公道及び千葉県内高速道にて実施した。

#### 2) 試験手順

試験手順を以下に示す。また、GPS センサーデータの測定例を図 5-15 に、GNSS センサーデータの測定例を図 5-16 に示す。

- 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 車両速度を変更して計測する。
- ⑤ GPS 評価ソフトを起動する。
- ⑥ 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。

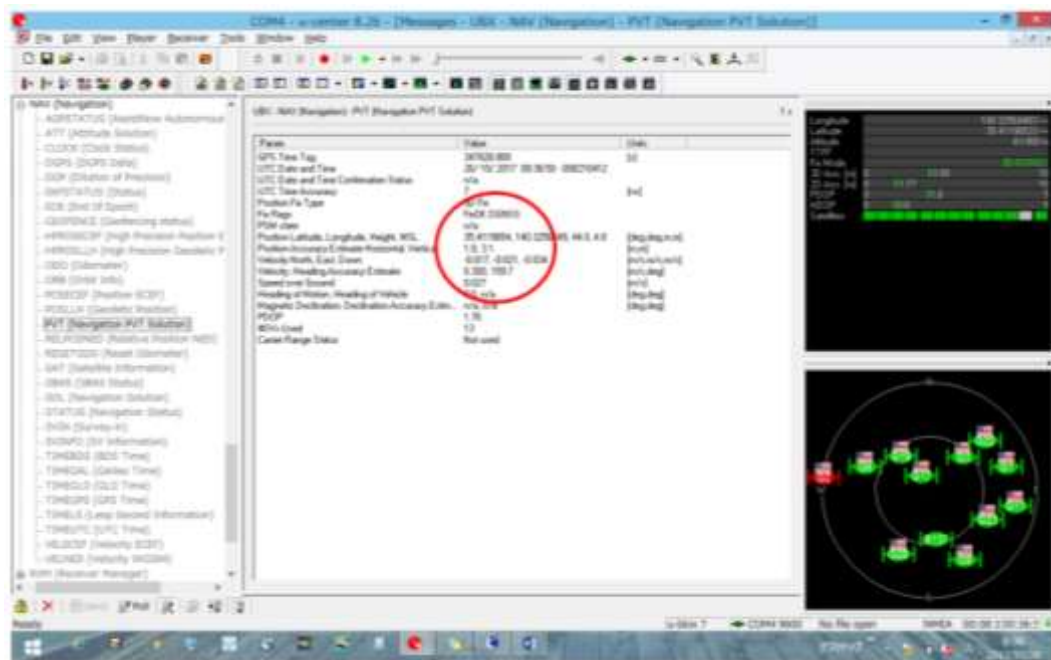


図 5-15 GPS センサーデータの測定例  
 (地面の上に置いた状態で右下GPS配置において: 衛星数 11 機 水平誤差 1.8m 垂直誤差 3.1m、速度誤差 0.3m/s (1.08Km/h) )

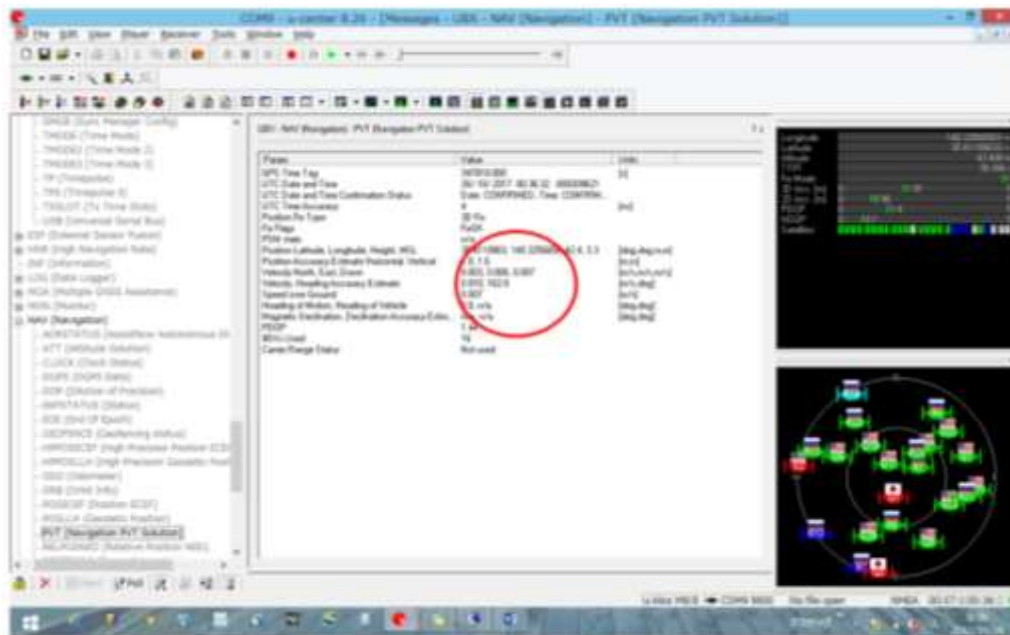


図 5-16 GNSS センサーデータの測定例  
 (地面の上に置いた状態で右下 GNSS 配置において：衛星数 23 機 水平誤差 1.0m 垂直誤差 1.6m、速度誤差 0.01m/s (0.036Km/h) )



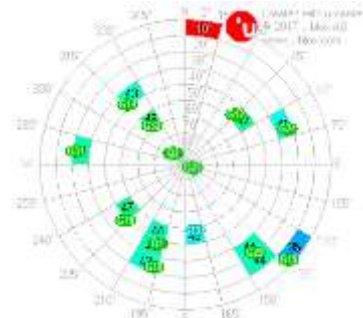
#### (4) 試験結果と考察

速度毎の測定結果を図 5-17、図 5-18 に示す。

#### GPS

GPS精度は1σ(確立68.26%)

Index	UTC	PACCH	PACCV	SoG		SVs Used
	協定世界時	水平位置精度	垂直位置精度	対地速度		使用衛星数
	time date	m	m	m/s	km/h	機
1	11:19:44.000 11/08/2017	0.747	1.235	0.00	0.00	7
2	11:13:55.000 11/08/2017	1.197	1.964	2.79	10.04	7
3	11:14:20.000 11/08/2017	0.953	1.524	5.84	20.30	7
4	11:14:56.000 11/08/2017	0.826	1.320	8.35	30.06	7
5	11:16:07.000 11/08/2017	0.810	1.299	11.12	40.03	7
6	11:15:57.000 11/08/2017	0.797	1.285	13.89	50.00	7



#### GNSS

GNSS精度は1σ(確立68.26%)

Index	UTC	PACCH	PACCV	SoG		SVs Used
	協定世界時	水平位置精度	垂直位置精度	対地速度		使用衛星数
	time date	m	m	m/s	km/h	機
1	11:19:44.000 11/08/2017	0.855	1.273	0.00	0.00	9
2	11:13:55.000 11/08/2017	1.098	1.645	2.79	10.04	10
3	11:14:20.000 11/08/2017	0.914	1.381	5.82	20.23	10
4	11:14:56.000 11/08/2017	0.846	1.279	8.34	30.02	10
5	11:16:07.000 11/08/2017	0.819	1.246	11.13	40.07	9
6	11:15:57.000 11/08/2017	0.813	1.289	13.88	49.97	9

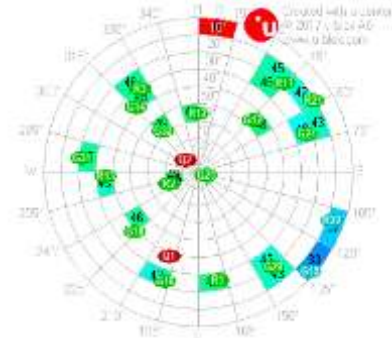
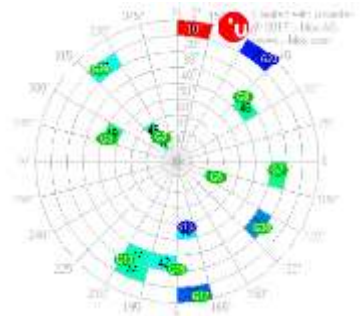


図 5-17 飛行位置・速度の測定能力及び誤差試験結果(時速 50km まで)

#### GPS

GPS精度は1σ(確立68.26%)

Index	UTC	PACCH	PACCV	SoG		SVs Used
	協定世界時	水平位置精度	垂直位置精度	対地速度		使用衛星数
	time date	m	m	m/s	km/h	機
1	02:30:16.000 11/17/2017	1.227	1.680	21.75	78.30	10
2	02:30:09.000 11/17/2017	1.266	1.754	22.32	80.35	10
3	02:29:56.000 11/17/2017	1.148	1.525	25.00	90.00	10
4	02:29:40.000 11/17/2017	1.122	1.495	26.43	95.15	10
5	02:29:27.000 11/17/2017	1.116	1.504	27.75	99.90	10



#### GNSS

GNSS精度は1σ(確立68.26%)

Index	UTC	PACCH	PACCV	SoG		SVs Used
	協定世界時	水平位置精度	垂直位置精度	対地速度		使用衛星数
	time date	m	m	m/s	km/h	機
1	02:30:16.000 11/17/2017	1.017	1.441	21.74	78.26	15
2	02:30:09.000 11/17/2017	1.036	1.462	22.33	80.39	15
3	02:29:56.000 11/17/2017	0.955	1.374	25.01	90.04	15
4	02:29:40.000 11/17/2017	0.950	1.380	26.42	95.11	15
5	02:29:27.000 11/17/2017	0.955	1.392	27.76	99.94	15

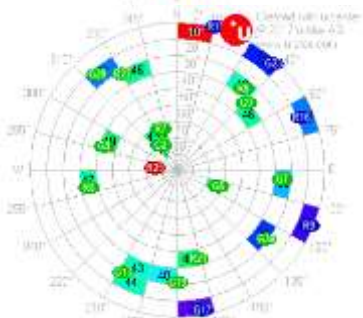


図 5-18 飛行位置・速度の測定能力及び誤差試験結果(時速 100km まで)

時速 50km までにおいては、GPS・GNSS とともに水平方向誤差 1m 程度、垂直方向誤差 1.3m 程度となっている。また、時速 80～100km までにおいては、GPS・GNSS とともに水平方向誤差 1m 程度、垂直方向誤差 1.4m 程度となっており、GNSS の方が誤差は若干小さい。

「飛行位置を計測できる機体速度」に関する要件である「時速 100km 以上」、及び、「飛行位置情報の誤差」に関する要件である「10m 以下」の双方について適合することが確認できた。

### 5.5.3 同一エリア内複数機の周波数共用

#### (1) 目的と概要

5.3 のプロトタイプ的设计及び作成において設定したシステム要件の 1 つである「飛行位置を把握できる機体数（同時運用機体数）」について、「同一範囲内において同一周波数で 10 機以上 50 機程度までを想定」という要件への適合を机上検討により検証する。

#### (2) 検討結果と考察

1 機体からの 1 通信あたりの送信情報量（352bit）の内訳は以下の通りである。

##### 【1 機体からの送信情報量（計 352bit）】

- バイナリデータ（小計 176bit（22B））
  - 端末 ID : 32
  - 位置情報 : 8
  - 時刻 : 17
  - 緯度 : 28
  - 経度 : 28
  - 高度 : 16
  - 速度 : 10
  - 方向 : 10
  - 機体種別 : 8
  - 予備 : 19
- 無線機：通信に必要なデータ（プリアンブル、同期コード、識別符号、CRC など）  
（小計 176bit）

3.3 で設定の無線機諸元案における送信時間 20ms 以下に対して、所要通信速度を 19.2kbps とすれば、1 機体からの 1 通信あたりの所要時間は約 18.3ms、

$$19.2\text{kbps}(\text{情報速度})=0.052\text{ms/bit}(1 \text{ ビットの送信時間：周期})$$

$$0.052\text{ms/bit} \times 352\text{bit} = 18.3\text{ms}$$

また、同時運用期間数 50 機の場合の合計時間は 915.2ms（18.3ms×50 機）となり、送信時間制御値を満足し、同一周波数での同時運用機体数は理論的には 50 機以上が確保可能となる。

一方、本システムの実装では通信にスロットドアロハ方式を用いており、スロット内でラ

ランダムにデータを出すことで各機体送信データ間の衝突の可能性は低減されているものの、台数が増えてきた場合には衝突確率は上がること、また、3.3の無線局諸元案で言及のように位置情報データの鮮度を保つために古いデータは廃棄で再送制御は行わないため、送信データが衝突した場合には毎秒1回の飛行位置情報の更新履歴に歯抜けの状態が発生しうることには留意が必要である。

現時点ではランダムに様々な機体が参加・離脱することを想定し、このような実装となっているが、今後、システム上で集中管理できるのであれば、予めスロットを区切って効率化を図れる可能性や、無線局諸元案で言及のようにキャリアセンスの実装等は想定され、今後の課題である。

なお本システムでは、表 5-3 に示すように、位置情報の取得や受信電力の状況を確認できるログ記録の機能を備えており、毎秒1回の飛行位置情報の更新に対して、実際の同時運用機体数や送信データ衝突の考察が出来るようになっている。

表 5-3 本システムの出力ログ

id	datetime	nodeid	type	time	latitude	longitude	velocity	bearing	altitude	bitdata	msgtype	rsi
計測番号	日時(PCがデータを受け取った時間)	機器識別番号	機器タイプ	GPS時間	緯度	経度	速度 Km/h	移動方向北を0度	高度 m	オプションビット(24bit)	中継数(-1)	無線受信電力-dBm
8229	2017/12/26 14:36:01		15d	14:36:00	37.833482	140.995097	0	0	1	000000010011001000110001	1	77
8230	2017/12/26 14:36:01		11d	14:36:00	37.833024	140.994881	0	0	1	000000010011001000110001	1	64
8231	2017/12/26 14:36:01		12d	14:36:00	37.833170	140.994569	0	0	3	000000010011001000110001	1	60
8232	2017/12/26 14:36:01		13d	14:36:00	37.833389	140.994719	0	0	0	000000010011001000110001	1	79
8233	2017/12/26 14:36:01		14d	14:36:00	37.833348	140.994893	0	0	7	000000010011001000110001	1	65
8234	2017/12/26 14:36:02		15d	14:36:01	37.833489	140.995091	0	0	1	000000010011001000110001	1	77
8235	2017/12/26 14:36:02		11d	14:36:01	37.833029	140.994888	0	0	1	000000010011001000110001	1	64
8236	2017/12/26 14:36:02		12d	14:36:01	37.833170	140.994560	0	0	3	000000010011001000110001	1	60
8237	2017/12/26 14:36:02		13d	14:36:01	37.833380	140.994718	0	0	0	000000010011001000110001	1	79
8238	2017/12/26 14:36:02		14d	14:36:01	37.833341	140.994898	0	0	9	000000010011001000110001	1	65
8239	2017/12/26 14:36:03		15d	14:36:02	37.833482	140.995097	0	0	1	000000010011001000110001	1	77
8236	2017/12/26 14:36:03		12d	14:36:02	37.833170	140.994569	0	0	3	000000010011001000110001	1	60

## 5.6 公開実証試験

### (1) 目的と概要

公開実証試験では、目視外飛行する機体の位置表示結果を基にした飛行経路設定や飛行経路変更等の操作のデモなど、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）を行った。

### (2) 試験系統図

公開実証試験における試験系統図を図 5-19 に示す。

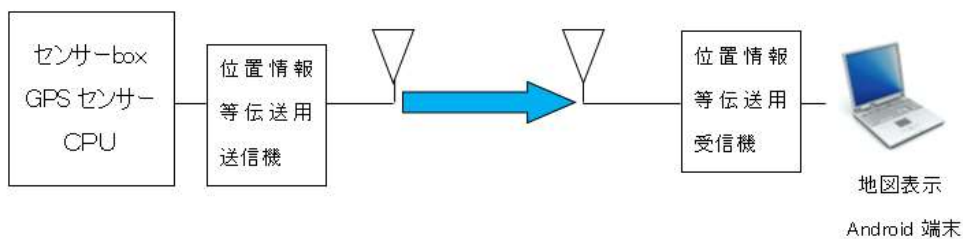


図 5-19 公開実証試験の系統図

### (3) 試験場所・機器配置及び試験手順

#### 1) 試験場所

福島県南相馬市

「南相馬市放射線対策総合センター」（福島県南相馬市原町区萱浜巣掛場 45-76）を試験会場として（図 5-20）、ロボットテストフィールドを含む周囲 10km 程度範囲内の地点 10 か所において、送信機搭載ドローン飛行（4 か所）及び送信機配置（ダミー6 か所）を行った。



出所) 地理院地図

図 5-20 試験会場

## 2) 試験日時

平成30年2月7日(水) 11時30分から12時50分まで

## 3) 参加人数

75名 (スタッフ、一般申込、及び、メディア関係者を含む)

## 4) 機器配置

以下の機器を用い (詳細は図 5-21)、図 5-22 及び表 5-4 に示す機器配置とした。

- 飛行可能ドローン 4機
- 位置情報送信システム 10台
- 位置情報受信システム 5台
- アンドロイド 6.0 タブレット 5台
- 連絡用簡易無線機 6台
- モニター 3台
- 画像伝送器 (2.4GHz,5GHz) 2セット
- 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ーモニター接続 HDMI ケーブル

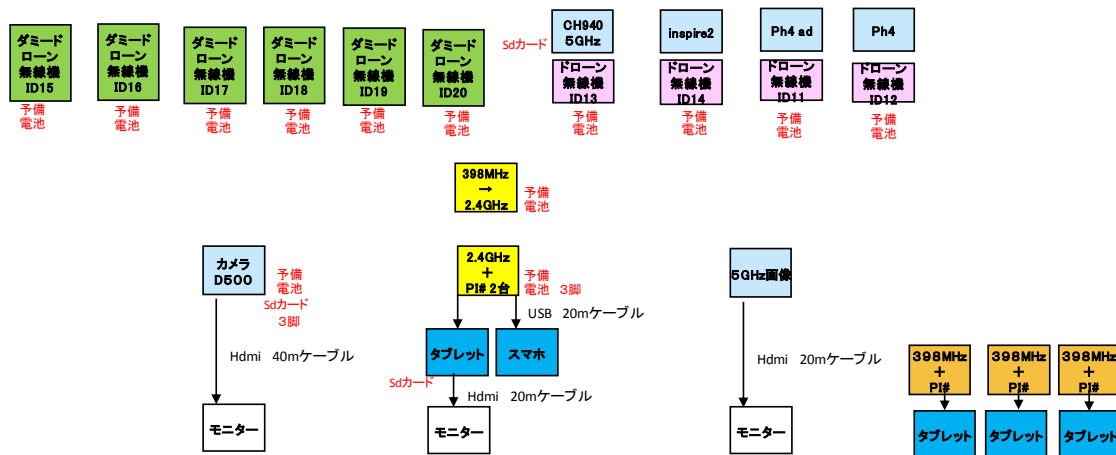


図 5-21 使用機器一覧



図 5-22 機器配置

表 5-4 機器配置の詳細

■	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基地局 (テクノアカデミー浜屋上)</li> <li>・ 試験会場 (参加者観覧地点: 南相馬市放射線対策総合センター)</li> </ul> <p>基地局では以下の計 3 台の映像モニター表示を行った。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 各送信局からの送信を基地局で受信し、2.4GHz 画像伝送器で伝送</li> <li>(2) ドローン運行地点 B (ゴルフ場) のドローンからの映像を 5GHz 画像伝送器で伝送</li> <li>(3) 試験会場前のカメラでドローン運行地点 A (試験会場前) ・ B (ゴルフ場) のドローンが近接飛行する様子を HDMI ケーブルで伝送</li> </ol>
▲	<p>送信局・ドローン運行地点</p> <p>計 4 地点。操縦者を配置し、操縦者は各地点付近での滞空・飛行等ドローン運行を行った。</p>
●	<p>ダミー送信局・地上等固定設置</p> <p>計 6 地点。送信機は建物屋内や屋上等に固定設置した。</p>



## 5) 試験手順

試験手順を以下に示す。

- ① 送信局及びドローンを試験会場周囲 10km 程度内に点在させる。
- ② ①の内、4機のドローン送信局を同時に飛行させる。
- ③ 試験会場モニターに、基地局で受信した各送信局からの位置情報等を 2.4GHz 画像伝送器経由で表示する。
- ④ 試験会場とドローン運行地点 B（ゴルフ場）間で連絡用無線機でのやりとりのもと、地点 B（ゴルフ場）のドローンを地点 A（試験会場前）のドローンに目視接近 50m 程度に接近させる。（図 5-23）
- ⑤ 試験会場と地点 B（ゴルフ場）間で連絡用無線機でのやりとりのもと、地点 B（ゴルフ場）のドローンは飛行経路変更を行い、地点 A（試験会場前）のドローンへの回避行動をとる。（図 5-23）

試験場所及び実施風景写真を図 5-24 に示す。

なお、試験に際しては、以下の点について留意した。

- プロトタイプの運用に必要な無線局（実験試験局）の開設手続きを行った。
- ドローンの飛行に際しては、航空法及び関係法令を遵守し、人口集中地区（DID：Densely Inhabited District）は対象外とし、高度 150m 未満の飛行を行った。
- 各ドローン飛行時には操縦者と助手の 2 人構成で安全を確保した。

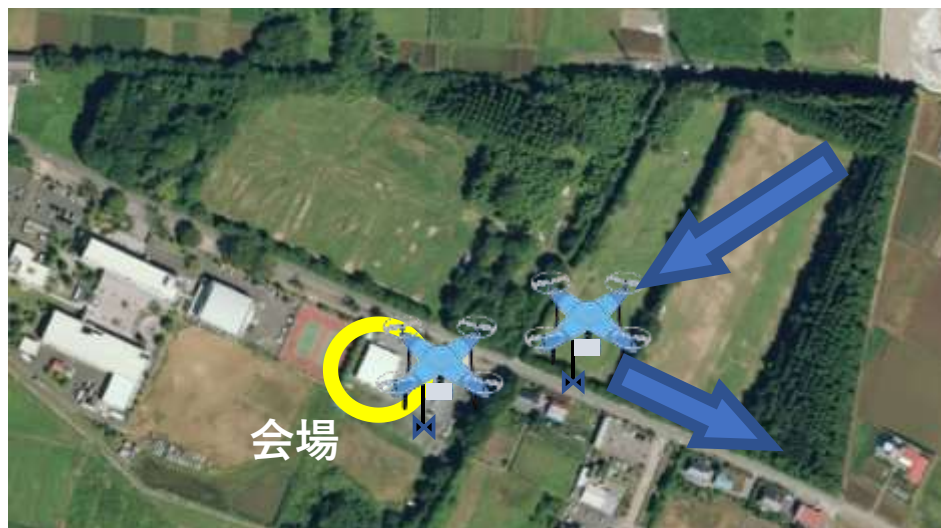


図 5-23 試験（近接飛行）手順概要

出所) 国土地理院地図





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



南相馬市役所からRTF方向



浄化センター



南相馬市立大甕小学校



はらまちフラワーランドからRTF方向



試験会場(南相馬市放射線対策総合センター)



送信局・ドローン運行地点B  
(エンルートM's)



送信局・ドローン運行地点A  
(スペースワン)



ダミー送信局  
(東北電力総合研修センター)

図 5-24 試験場所及び実施風景写真

## 5.7 実証試験まとめ

3で検討したシステム要件及び無線諸元に基づきプロトタイプ的设计及び作成を行い、飛行位置把握システムの電波伝搬特性や動作確認等の実証を行うことで要件の適切性を確認し、技術的条件の策定につなげることを目的として、電波伝搬測定試験及び技術検証試験を行うとともに、公開実証試験により一般参加者への公開のもとでの検証を行った。

「電波伝搬試験」については、屋外実機検証により、小型無人機高度 100m で 10km の離隔で位置情報検出でき要件に適合していることが確認できた。

「技術検証試験」については、

- 「総遅延時間」は、屋内実機検証により、「遅延時間は 1 秒以下」という要件に適合すること、
  - 「飛行位置・速度の測定能力及び誤差」は、屋外実機検証により、「飛行位置を計測できる機体速度」に関する要件である「時速 100km 以上」、及び、「飛行位置情報の誤差」に関する要件である「10m 以下」の双方について適合すること、
  - 「同一エリア内複数機の周波数共用」は、机上計算により、同一周波数での同時運用機体数は理論的には要件である「50 機」以上が確保可能となること、
- が確認できた。

なお、本システムの社会実装にあたっては、無人航空機からのノイズ対策への留意（HDMI 端子からのノイズ等）、アンテナの実装方法、及び、無人航空機への実装方法（例えば電源供給の方法については、通常時は機体のバッテリーから流用し、緊急時や墜落時には予備バッテリーを使用するといった実装は想定される）の具体化が求められる。

「公開実証試験」においては、目視外飛行する機体の位置表示結果を基にした飛行経路設定や飛行経路変更等の操作のデモなど、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）を行い、予定人数上限の参加者のもと、新聞・テレビ等メディアにも多数取り上げられ、本検討の意義を周知することができた。