

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報告書

概要版

平成30年3月

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

目次

1. 調査検討の概要
2. 小型無人機の利用形態と通信ニーズ等の把握
3. システム要件の検討
4. 周波数共用検討
5. 実証試験
6. 技術的条件の策定
7. 飛行位置把握システムの利用方法等の提言

資料

- ・ 公開実証試験（福島県南相馬市）
- ・ 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 委員構成

1. 調査検討の概要

調査検討の背景と目的

近年、災害対応や物流分野(宅配)等においてドローン・ラジコン機等の小型無人航空機(ドローン)の利活用に向けた実証試験が行われており、今後、自律飛行による見通し外での長距離飛行のニーズが高まるものと考えられる。

このため、見通し外において小型無人機の飛行位置等をリアルタイムに把握するための飛行位置表示システムが求められおり、長距離伝送に適した400MHz帯周波数を利用した新たな無線システムについて、その導入に向けた基本的なシステム構成や技術的条件等の検討を行った。



調査検討項目

- 小型無人機の利用形態と通信ニーズ等の把握
- システム要件の検討
- 周波数共用検討
- 実証試験
- 技術的条件の策定
- 飛行位置把握システムの利用方法等の提言

2. 小型無人機の利用形態と通信ニーズ等の把握

ヒアリング調査等

小型無人機の飛行位置把握システムの利用シーンやニーズを整理することを目的として、国内事業者の取組みと飛行位置把握のニーズについて、文献・インターネット調査等に基づく調査を実施した。加えて、国内事業者に対するヒアリング調査を実施した。

ヒアリング対象	小型無人航空機の利用概要
スカイマティクス	農業(画像取得と生育状況等の解析、農薬散布)、インフラ点検、建設現場測量等
エアロセンス	建設現場測量、物流等
アマゾン	物流
楽天	物流
かもめや	物流
東京電力ホールディングス	小型無人航空機の専用空域提供(ドローンハイウェイ)、インフラ点検(送電線等)

飛行位置把握システムの利用形態とニーズ

(1) 周辺を飛行する無人航空機・有人航空機等の位置把握

周辺を飛行する他事業者の無人航空機や有人ヘリの位置情報を把握し、飛行計画策定や運航中の安全対策に使用

(2) 小型無人機の識別

飛行中の小型無人機の識別に利用

(3) 制御・テレメトリ通信のバックアップ

バックアップとして、主の制御・テレメトリ通信装置(LTE、特定小電力等)との併用。

主通信途絶時・品質低下時やカバレッジ外において、機体位置等を把握する手段として利用。

(4) 運航管理システムへのアクセス

制御・テレメトリ通信のカバレッジ外でもアクセス可能な通信手段として、機体位置や運航状況を集約するシステムへのアクセス手段として使用。

- 通信距離10km以上
- 毎秒1回の安定した通信頻度
- 収容数50機程度以上

類似システムとの比較

- 同報系(機体側の送信装置から同報送信により実現): 小型無人機の制御用通信利用、LPWA、ADS-B
- ネットワーク系(既設のネットワークを介することで実現): 携帯電話網、衛星通信網

上記類似システムとの比較による本システム(400MHz帯)の利点としては、以下が挙げられる。

- ✓ ドローンから10kmという比較的広域をカバーすることが可能
- ✓ スタンドアローン型システムであり耐災害性に優れる
- ✓ 商用網を使用せず通信料金等の運用コストは不要、装置の初期コストを比較的安価に抑えることが可能
- ✓ 専用の送信装置・受信装置を用いるため運航者・本装置メーカー間の互換性が確保

3. システム要件の検討

「2. 小型無人機の利用形態と通信ニーズ等の把握」の結果を踏まえ、本システムに適した、システム要件及び無線機諸元案を検討した。

主なシステム要件案

システム要件	設計	備考
飛行位置情報等を計測する機能	GPS	
計測した情報(信号)を送送する機能	ドローンマッパ方式 (IEEE802.15.8、分散同報型)	
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	
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
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
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ので複数機を想定した。
飛行位置情報データフォーマット	CSV形式	
飛行位置情報の更新回数	毎秒1回	
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
飛行位置情報の誤差	10m以下	
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。

4. 周波数共用検討

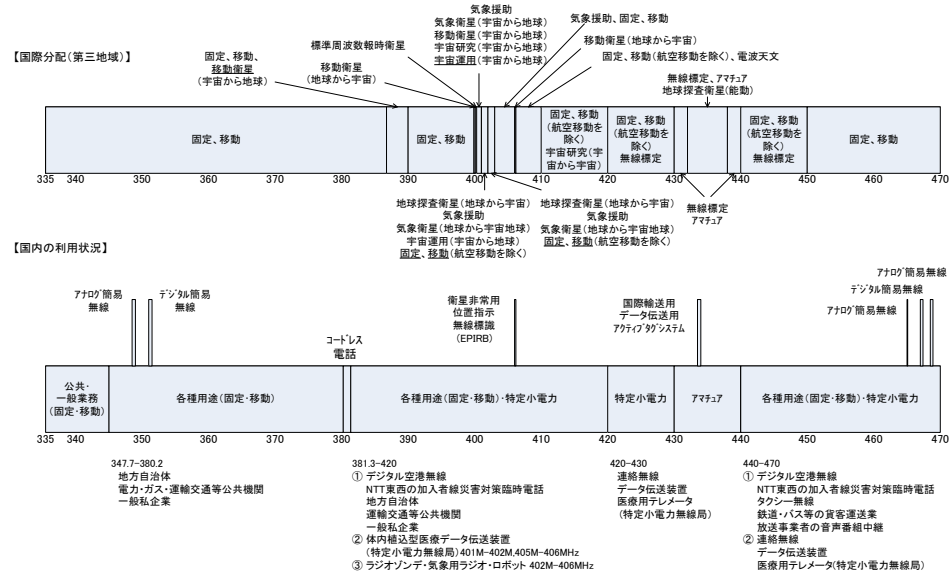
「3. システム要件の検討」で定めた無線機諸元案をもとに、400MHz帯を用いる本飛行位置把握システムと、同一または隣接する周波数を使用する既存の無線システムと共用するために必要な離隔距離を計算した。

共用検討対象無線システム

項番	主な用途	主な規格(無線通信方式)	
1	地方自治体 公共業務用無線 一般業務用無線	狭帯域デジタル通信方式(TDMA)	RCR STD-39
		狭帯域デジタル通信方式(SCPC/FDMA)	ARIB STD-T61
		狭帯域デジタル通信方式(SCPC/4値FSK)	ARIB STD-T102
		アナログ無線設備	
2	アナログ簡易無線	小エリア無線通信システム(単信/単行 周波数変調)	RCR STD-44
3	デジタル簡易無線	デジタル簡易無線局の無線設備 ($\pi/4$ シフトQPSK) (RZ SSB:実数零点単側波帯) (4値FSK)	ARIB STD-T98
		地域振興用無線	地域振興用無線局の無線設備
5	コードレス電話	コードレス電話の無線局の無線設備	RCR STD-13
6	移動衛星・標準周波数報時衛星	地球から宇宙(オープン軌道衛星)	国際調整結果遵守
7	気象衛星	電波法関係審査基準 宇宙から地球(アルゴシステム)	国際調整結果遵守
8	体内挿込型医療用データ伝送用【NICS】	TELEC 特定無線設備の技術基準 特定小電力機器(12)	
9	体内挿込型医療用データ伝送用【MEDS】	TELEC 特定無線設備の技術基準 特定小電力機器(12)	
10	体内挿込型医療用遠隔計測用【MITS】	TELEC 特定無線設備の技術基準 特定小電力機器(12)	
11	ラジオゾンデ	電波法関係審査基準	
12	気象用ラジオ・ロボット	電波法関係審査基準	
13	気象衛星	宇宙から地球(ひまわり)	国際調整結果遵守
14	衛星非常用位置指示無線標識(EPIRB)	COSPAS-SARSAT規格	T.001(技術要件)
15	デジタル空港無線	空港内デジタル移動通信システム(TDMA/ $\pi/4$ シフトQPSK)	ARIB STD-T87
		空港内デジタル移動通信システムTYPE2(TDMA/ $\pi/4$ シフトQPSK)	ARIB STD-T114
16	連絡無線	空中線電力1mW以下の陸上移動業務の無線局(作業連絡用)の無線設備	RCR STD-31
17	データ伝送装置医療用テレメータ	特定小電力無線局 医療用テレメータ用無線設備	RCR STD-21
18	テレメータ、テレコントロール、	400MHz帯テレメータテレコントロール用無線設備	ARIB STD-T67
19	小電力セキュリティシステム無線(防犯・非常通報)	小電力セキュリティシステムの無線局の無線設備	RCR STD-30
20	無線電話(特定小電力トランシーバ)	特定小電力無線局 無線電話用無線設備	RCR STD-20
21	無線呼出(ポケベル)	特定小電力無線局 無線呼出用無線設備	RCR STD-19
22	アマチュア	電波法関係審査基準	
23	国際輸送用データ伝送用アクティブタグシステム	特定小電力無線局 433MHz帯国際輸送用データ伝送用設備	ARIB STD-T92
24	アナログ簡易無線	400MHz帯簡易無線局の無線設備	RCR STD-10

本飛行位置把握システムを400MHz帯で利用するにあたっては、

- ・既存システムと同一の周波数を用いることは共用困難であることが分かった。
- ・既存システムの隣接周波数においては、そのシステムの運用状況に配慮しつつ必要に応じて調整を行う事により、共用することが可能と評価した。



※干渉種別

- 同一波干渉
- 隣接波干渉1 (スプリアス干渉)
- 隣接波干渉2 (帯域外干渉・感度抑圧干渉)

※電波伝搬損失計算

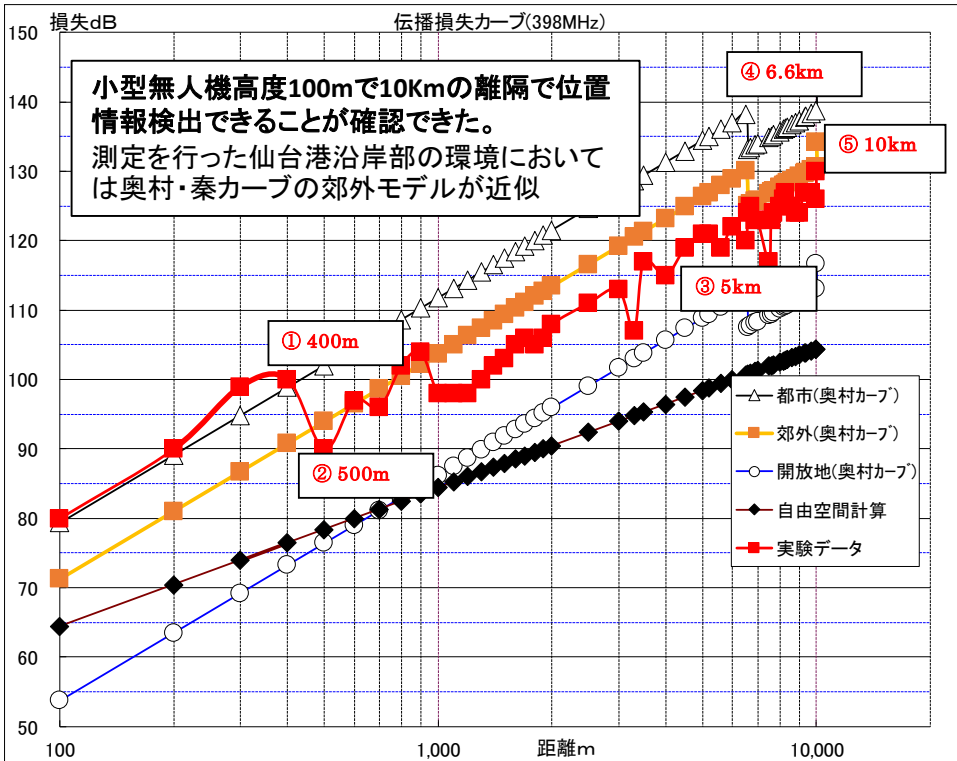
- 自由空間モデル
 - 奥村一秦モデル
- 無人機高度は最悪ケースを想定し150mを想定

5. 実証試験(1/2)

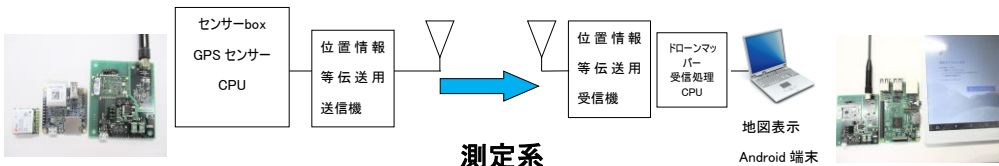
「3. システム要件の検討」で定めたシステム要件及び無線機諸元に基づきプロトタイプ的设计及び作成を行い、飛行位置把握システムの電波伝搬特性や動作確認等の実証を行うことで要件を充足することが確認できた。

電波伝搬測定試験

測定結果と奥村カーブとの対応



測定地点: 宮城県仙台市宮城野区 海岸公園駐車場付近等
電波発射地点(ドローンホバリング地点)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。

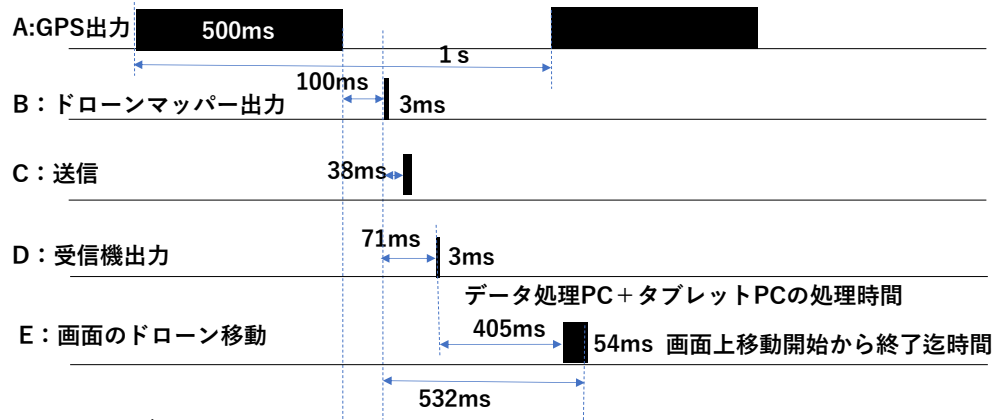


5. 実証試験(2/2)

■ 技術検証試験1: 総遅延時間

「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、屋内実機により検証した。

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、632ms(B:100ms+E:532ms)であり、「遅延時間は1秒以下」という要件への適合が確認できた。



■ 技術検証試験2: 飛行位置・速度の測定能力及び誤差

「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、屋外実機により検証した。

時速100kmまでにおいて、GPS・GNSS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、「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が確認できた。

GPS

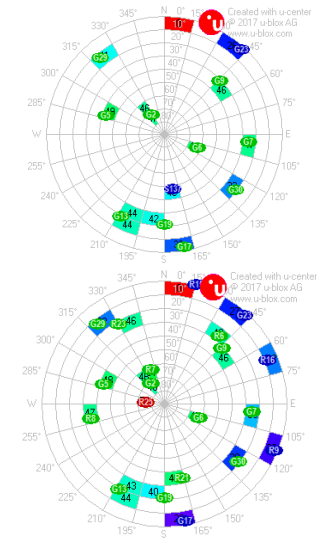
GPS精度は1σ(確立68.26%)

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	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	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	1.482	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



■ 技術検証試験3:

同一エリア内複数機の周波数共有

「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し、理論的には50機以上が確保可能であることが確認できた。

- …所用通信速度を19.2kbpsに対して、1機体からの1通信あたりの所要時間は約18.3msであり、
 $19.2\text{kbps(情報速度)} = 0.052\text{ms/bit(1ビットの送信時間: 周期)}$
 $0.052\text{ms/bit} \times 352\text{bit} = 18.3\text{ms}$
 ⇒ 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1秒以内

6. 技術的条件の策定

「5. 実証試験」により無線機諸元案の妥当性が確認されたことを受け、飛行位置把握システムの技術的条件案として以下を取り纏めた。

技術的条件の項目	内 容	備 考
周波数帯	347.7MHz～420MHz の範囲において選定	
通信方式	同報	
周波数の許容偏差	±100万分の4以内	(無線設備規則 第5条、別表第1号)
占有周波数帯幅の許容値	20kHz以内	(無線設備規則 第6条、別表第2号)
スプリアス発射又は 不要発射の強度の許容値	帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値： 25μW以下 スプリアス領域における不要発射の強度の許容値： 25μW以下	(無線設備規則 第7条、別表第3号)
空中線電力及びその許容偏差	空中線電力：200mW以下	許容偏差：上限20%、下限50% (無線設備規則 第14条)
隣接チャネル漏えい電力	変調信号の送信速度が每秒8キロビットを超えるものにあつては、搬送波の周波数から25kHz 離れた周波数の(±)8kHzの帯域内に輻射される電力が、搬送波電力より60dB以上低い値であること。	(無線設備規則 第57条の3)
送信空中線利得	3dBi以下	搭載アンテナは0dBi
変調方式	2値FSK	汎用性の高い2GFSK方式を採用
送信時間	20ms以下	
休止時間	980ms以上	
電気通信回線設備に接続可能	位置情報送信装置がもつ小型PCのLANインターフェースにより、接続可能とする。	
キャリアセンスの必要性	あり	送信パケットのスロット管理を併用した自律分散システムによりパケット衝突確率低減を図るため。
再送制御	なし	位置情報データの鮮度を保つために古いデータは廃棄。

7. 飛行位置把握システムの利用方法等の提言

「2. 小型無人機の利用形態と通信ニーズ等の把握」を踏まえ、飛行位置把握システムの利用方法を以下で提言した。

用途	利用シーン	想定ユーザー
①周辺を飛行する無人航空機・有人航空機等の位置把握	<ul style="list-style-type: none"> 目視外飛行時に周辺を飛行する無人航空機・有人航空機の接近を把握、必要に応じ警告 災害時に被災エリアで使用される無人航空機・有人航空機の位置把握や空域調整 都市部／遠隔地に依らず使用 	<ul style="list-style-type: none"> 無人航空機の運航者 官公庁、自治体等※1
②周辺を飛行する無人航空機の識別	<ul style="list-style-type: none"> 飛行中の無人航空機の識別情報(所有者、認証情報等)を取得 目視内／目視外に依らず使用 	<ul style="list-style-type: none"> 官公庁、自治体等
③テレメトリ通信のバックアップ	<ul style="list-style-type: none"> テレメトリ通信が届かない距離の目視外飛行時の代替 山間部や海上等、携帯電話網のカバレッジ外での飛行時のテレメトリ代替 	<ul style="list-style-type: none"> 無人航空機の運航者
④運航管理システムへのアクセス	<ul style="list-style-type: none"> GCS経由でのアクセスに代わり、本システムから必要情報等を取得 無人航空機専用空域を提供するサービス等における空域管理者へのアクセス(対GCSとは別の通信手段) 都市部／遠隔地等に依らず使用 目視内／目視外に依らず使用 	<ul style="list-style-type: none"> 無人航空機の運航者 無人航空機の運航管理事業者※2

※1 官公庁や自治体が、関係する空域の無人航空機や有人航空機の飛行情報の収集や共有等を行う場合を想定

※2 運航管理システムにより、複数の無人航空機の運航者が運用する無人航空機の飛行計画や飛行情報等を管理する事業者

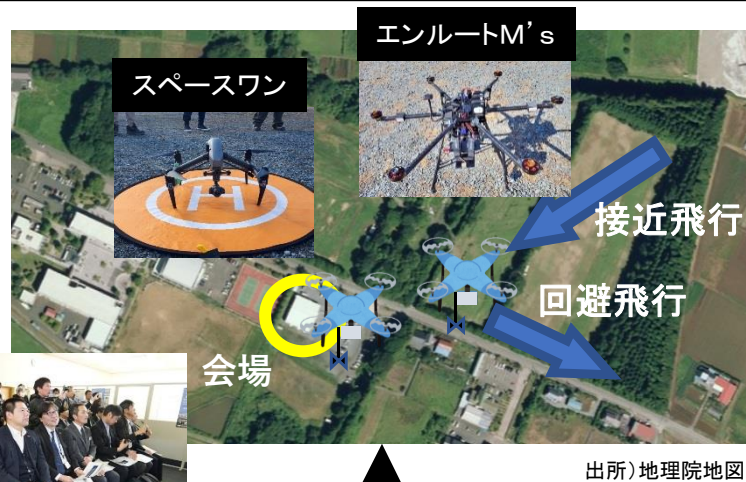
- ①②について： 現在のところ実現可能なシステム等はないことから、本システムの早期の実用化を目指すとともに、他の検討中のシステムや制度設計と連携して普及展開を図ることが期待される。
- ③④について： 無人航空機のテレメトリ通信でも実現可能であり、現在主に使用されている2.4GHz帯や920MHz帯の特定小電力無線システムや、実用化試験局として使用されつつある携帯電話網等による実現も想定される。こうしたテレメトリの通信手段に対し、本システムは、これらのカバレッジ外を運航する場合の使用、あるいはテレメトリ通信手段の冗長・バックアップとして利用されることが想定
- こうした基本的な利用方法を中心に、ニーズ調査の中でも要望された、無人航空機が墜落した場合の位置発信機能等を組み合わせ利用することが想定される。

資料： 公開実証試験（福島県南相馬市）

目視外飛行する機体の位置表示結果の確認による飛行経路変更など、リアルタイムな飛行位置把握の有効性の検証デモンストレーションを行った。

- ① 試験会場周囲10km程度内の地点10か所(ロボットテストフィールドを含む)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)
- ② 試験会場モニターに、全地点の送信機の位置情報を表示するとともに、2台の送信機搭載ドローンの接近飛行⇒接近警報⇒回避飛行のデモンストレーションを実施

試験会場	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)
試験日時	平成30年2月7日(水) 11時30分～12時50分
人数	75名



資料： 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 委員構成

(敬称略・五十音順)

	氏名	所属	役職
座長	加藤 寧	国立大学法人東北大学 電気通信研究機構	機構長
副座長	矢口 勇一	公立大学法人会津大学	准教授
委員	秋本 修	日本無人機運行管理コンソーシアム(JUTM)	事務局長
委員	姉齒 章	双葉電子工業株式会社 システムソリューション事業センター技術部	主管技師
委員	神沢 吉洋	南相馬市商工労政課	ロボット産業推進担当課長
委員	北島 明文	福島県産業創出課	ロボット産業推進室長
委員	小林 康宏	株式会社スペースワン	代表取締役
委員	中村 英樹	日本無線株式会社東北支社	企画推進 課長
委員	辺見 俊彦	株式会社エンルートM's	代表取締役
委員	三浦 龍	国立研究開発法人 情報通信研究機構(NICT)	ワイヤレスネットワーク総合研究 センター 上席研究員