

「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 1 中間報告資料

検討テーマ 1 : システムの基本的な構成及び技術的条件

検討メンバー ◎三浦委員、姉齒委員、中村委員

(◎はとりまとめ担当)

1. 飛行位置把握システム（以下、「システム」）の基本構成と技術的条件（案）

(1) 飛行位置情報等を計測する機能

【実現方法】

① GPS 利用（通常 GPS あるいは RTK）

- ・市販品多数（ドローン用には Ublox 製が一般的）だが、誤差数 m 程度、かつ衛星数が少ない時間・場所あり。高度方向の誤差が比較的大。

- ・RTK は誤差数 cm 可能だが、高速移動では性能低下（？）、コスト増。

※ RTK:リアルタイム・キネマティック

② マルチ GNSS 利用

- ・衛星数が多くとれる。今後一般化見込み。

※ GNSS : グローバル・ナビゲーション・サテライトシステム

③ 準天頂衛星利用

- ・精度高い（誤差数 cm）、今後衛星数増加見込み。

【暫定案】

当面、①（通常 GPS）を採用。地面近くでは、周囲環境によって誤差増える可能性あるが、ドローンが上空に上がればその影響は減少すること、ドローンの位置管理用としては、当面十分な精度であるものと想定。高度方向の誤差は、気圧センサと併用すれば改善できるが、当面は対応しないものとする。将来、より高精度かつ低コストかつ小型軽量な手段が利用可能になれば、そちらに移行することも想定。

(2) 計測した情報（信号）を伝送する機能

【実現方法】

① Wi-Fi 方式（コネクション型）

- ・安価、手軽だが、伝搬距離が短い。

② ZigBee あるいは Wi-SUN 方式（ツリー or メッシュ）

- ・安価、手軽だが、移動体への適用が難しい可能性あり（経路変更等）

③ ドローンマッパー方式（IEEE802.15.8、分散同報型）

- ・インフラ不要、マルチホップ可、未市販だが、基本機能実証済み

【暫定案】

③を採用。すでに 920MHz 帯で機能実証済みのため、新規に開発するよりも、開発コストと開発期間を短縮可能。400MHz 帯無線モジュールのみ新規に試作し、上記小型 PC に接続する構成。(図 1 参照)

複数ドローンからの位置情報を、できるだけパケット衝突を避けつつ受信するための同期信号は、GPS 受信信号から得る。

(3) (2) の情報を地上で受信する機能

【実現方法】

① 集中型 (アクセスポイント or 基地局型)

- ・集中管理が容易かつ効率が高いが、インフラとその管理と維持必要・コスト大。
- ・ドローンやヘリなどローカルで受信するためには別の通信手段が必要

② 分散型

- ・インフラ不要、全ての端末が同じ機能で構成。集中管理と維持不要。コスト小。
- ・ドローン等ローカルでも受信可。ヘリのパイロットも周辺ドローン位置把握可能。

【暫定案】

②を採用。

(4) (3) で受信した情報をパソコン等の地図上に表示する機能

【実現方法】

① 国土地理院地図・航空写真利用

- ・国産・公共地図、無料。航空写真は解像度低い(?)。機能も限定(?)。
- ・API は提供されていないため、新規開発が必要(?)。
- ※ API : アプリケーション・プログラム・インターフェース

② Google Earth 航空写真利用

- ・海外製だが、Android タブレットを表示端末に使用すれば、API 経由でフリーで使用可。
- ・航空写真は解像度高い。
- ・世界共通に使用可。世界で最も普及、多機能だが、情報の鮮度に課題。

【暫定案】

当面、②を採用。考慮すべき表示項目としては、周辺ドローンの位置の他、機体間の相対位置、相対速度、機体種別 (アイコン表現等)、衝突リスク表示など想定。将来、地図メーカー等によりドローン用の地図や航空写真の提供サービスが利用可能になれば、そちらに移行することも想定。

2. 検討項目 (案)

【前提】

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。また、無線機器の製造の容易さ（低廉化・小型化・省消費電力化等）を勘案する。

（１）システム要件の検討

①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（マルチロータ、シングルロータ、固定翼、有人ヘリ） 等

※ データ量削減のため、対地速度、進行方向、昇降度、警報等は、表示端末（タブレット PC を想定）にて GPS 情報を元に計算して出力する。

※ ID は無線局独自のものを付与し、機体の製造番号、フライトコンピュータのシリアル番号、MAC アドレス、IP アドレス、航空局登録番号等はそこから紐づけることを想定。

②一機体からの送信情報量

アスキー形式を想定した場合（ドローンマッパーで現在採用）、

ヘッダ(3byte)、端末 ID(4byte)、時刻(10byte)、緯度(10byte)、経度(11byte)、高度(7byte)、機体種別(1byte)、予備(2byte) : 計 48byte (384bit)

※ 端末 ID は 4byte で約 43 億台収容可。(3byte だと 1677 万台)

※ バイナリ形式にしてデータサイズを圧縮することも可能。

③飛行位置を把握できる範囲（所要の通信距離）

地上から半径 10km 程度まで。

※ 樹木、地形、建物等の遮蔽により、近距離でもデッドゾーンが発生（機体が消える）。これを完全に解決するには、地上にギャップフィルタとなる中継モジュール（機能は通常のドローンマッパーモジュールと同等）を配置する必要あるが、コストと手間が大。ドローン間でマルチホップする機能を活用すれば、デッドゾーンは減少が期待。その代わりに、収容台数は減少。

④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。

毎秒 50 機の収容を想定すると、19.2kbps (=384bit x 50 機) 必要。4 値 FSK であれば、帯域 25kHz で収容可（チャンネルフィルタの帯域幅による）。ただしこの場合、シングルホップのみ。

毎秒 25 機まで条件を緩和すれば、マルチホップ可能（ドローンマッパー方式）。

⑤飛行位置情報データフォーマットの在り方

小型無人機から送信される飛行位置情報は、地上端末で受信され、地上端末に含まれる小型 PC のイーサポートより任意の地上ルータを経由して UTM（小型無人機運航管理）システムに出力する構成とする。なお、JUTM（日本無人機運行管理コンソーシアム）が実証実験に用いているデータ交換用フォーマットは、CSV 形式なので、当面、それに合わせる。

⑥飛行位置情報の更新回数

毎秒 1 回を想定。

⑦飛行位置を計測できる機体速度

水平・垂直方向とも時速 100km 以上の移動時でも計測可能とする。ただし、ドローンの位置管理のみを目的とし、緊急時の衝突回避は想定しない。この時、時速 100 kmでの 1 秒間の移動距離は約 28m、時速 40 kmでも約 11mの誤差。また、400MHz 帯の場合の時速 100 kmでのドップラ周波数偏移は、約 70Hz。

⑧飛行位置情報の誤差

通常 GPS の想定で、反射物に囲まれた環境でなければ、10m以下は可能と想定（当面、補正信号は不要）。

※ 高いビル等に囲まれた都市部等での低高度運用では、10m 以上の誤差が発生する可能性あり。（準天頂衛星の利用に期待。）

⑨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

把握したすべての小型無人機の飛行位置をパソコン等（タブレット PC の利用を想定）の地図上に表示可能とする。

この場合の遅延時間は 1 秒以下（バースト信号の衝突による遅延は含めない。）が可能。ただし、ドローン台数が増えてくると、パケット衝突の確率が増えることにより、個別のケースで 1 秒を超える場合もある。

⑩地上での表示方法等

地図では情報量が少ないため、航空写真の表示を想定。

API が提供され、Andoroid タブレットとの親和性がよい Google Earth の利用を想定（現状のドローンマッパーで使用中）。

画面デザインとしては、航空写真上にドローンやヘリの位置（アイコン表示）、ID、進行方向、飛行速度、相対距離、相対方位、相対高度差（オプション）、着陸中か飛行中かの区別（オプション）等を表示することを検討。

⑪ドローンから降りてくる情報の扱い（プロトコル）

※ 第 1 回会合において、矢口副座長より「ドローンから降りてくる情報は、例えば、DJI 社、ArduPilot 系（エンルート社が使用）、それぞれ別の API を使っているのでプロトコルが合わないと実際に使えず、これは実証試験の際に影響がでるのでは。」とのご発言があったことを受け、事務局としてはこのことについてシステムの検討の際に考慮すべきと考えています。

【対応案】

ドローンの位置情報は、フライトコンピュータからではなく、位置情報送信装置が別途もつ GPS 受信装置より独自に得ることにより、製造メーカーによって異なるフライトコンピュータに依存しない位置把握システムとなります（ドローンマッパー方式）。この場合、GPS 受信機を各ドローンが複数台もつこととなりますが、万一、GPS が不時着あるいは墜落し、ドローン飛行システ

ムが停止した場合でも、位置情報送信装置のみ生き残る確率が増え、ドローンの捜索に役立つことも考えられます。(バッテリーも、飛行システムとは独立した小型バッテリーにより位置情報送信装置を動作させます。)

(2) 技術的条件の検討 (電波法令に根拠を有するものは括弧で関連規定を記載)

技術的条件の項目	内 容
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	25kHz 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 25 μW 以下 スプリアス領域における不要発射の強度の許容値 25 μW 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	チャンネル間隔が 25kHz のものにあつては、搬送波の周波数から 25kHz 離れた周波数の (±) 2kHz の帯域内に輻射される電力が、搬送波電力より 45dB 以上低い値であること。 (無線設備規則 第 57 条の 3 の 2)
送信空中線利得	3dBi 以下
変調方式	4 値 FSK
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 (自律分散システムでのパケット衝突確率低減のため)
再送制御	なし (位置情報データの鮮度を保つため。古いデータは廃棄。)

(3) 全体構成 (案)

新規試作する 400MHz 帯無線モジュールにドローンマッパー方式の既存 MAC (若干のカスタマイズは必要) を実装した小型 PC を USB で接続し、小型 PC に GPS アンテナ及び表示用のタブレット PC を USB 接続する構成とする (図 1)。

なおドローンに搭載する装置については、タブレット PC および外部ネット出力の接続は行わない。

図1 400MHz帯ドローン位置把握システム全体構成（案）

（ドローン搭載用、地上局受信用、有人ヘリ搭載用：全て同一モジュールで構成可能）

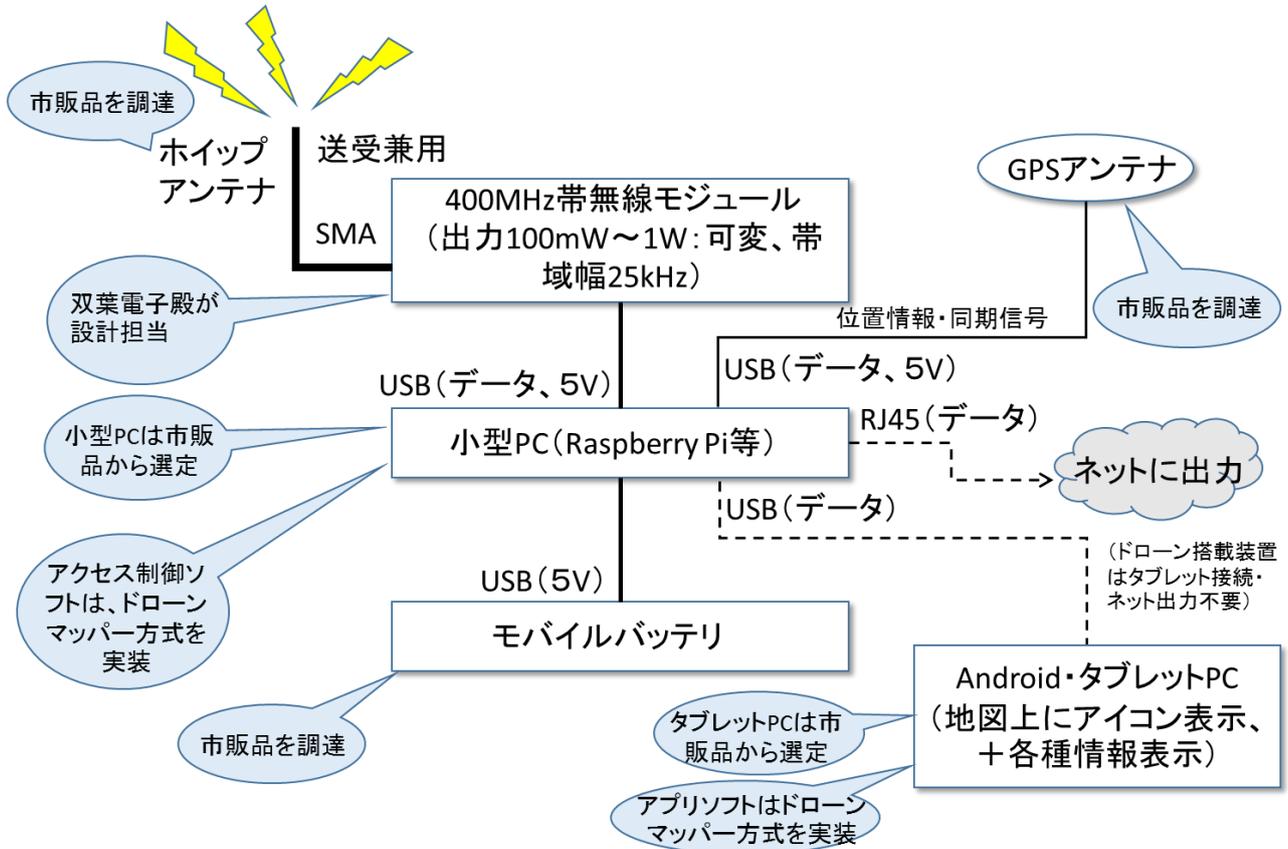


図2 タブレットPC表示画面の例（暫定）

