

送電線自動撮影のための ドローン自律制御技術

Automatic Transmission Line Imaging Technology Using Autonomous Drone

あね ざき たかし
姉 崎 隆*

キーワード：広域自律飛行，Drone統合ナビゲーション，送電線点検，SLAM

1. はじめに

本稿では，筆者らが取り組む，自律制御ドローンによる上空からの自動撮影実現のための視覚誘導システム開発事例^{1), 2)}について記す。ドローン自動撮影の対象は主として，高圧送電線であるが，イノシシ等動物発見・追跡についても対象を拡げつつある。これについても併せ記したい。

図-1は，筆者が想定する，ドローン操縦形態の分類である。一般に用いられているのがFPV(First Person View)である。プロポを用い目視で操縦する。FPV以外の操縦形態を自律制御としている。

自律制御は，GPS経由点制御と非GPS自律制御に分類している。GPS経由点制御とは，指定した経由点のGPS情報を基に自動操縦するもの。このGPS情報を用いず自動操縦するのが非GPS自律制御である。

本稿では，GPS経由点制御³⁾と非GPS自律制御^{1), 2)}のシステム開発事例について記す。

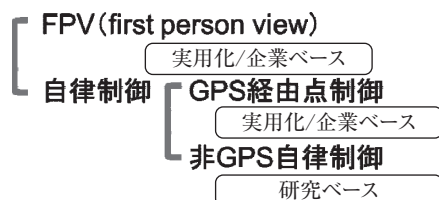


図-1 筆者が想定するドローン操縦形態の分類

* 沖縄工業高等専門学校メディア情報工学科教授

1954年6月生まれ，大阪府出身。1980年大阪大学大学院基礎工学研究科修了，同年松下電器産業㈱入社。2007年沖縄工業高等専門学校メディア情報工学科教授，2008年より電気学会Okinawa型ロボット組み込みシステム協同研究委員会委員長。

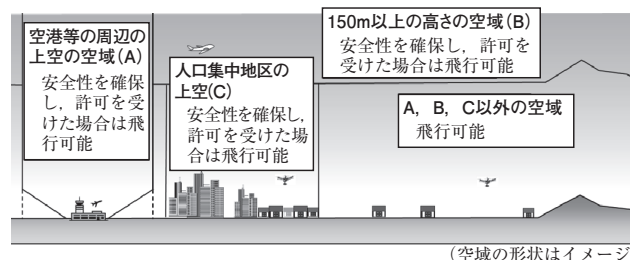
2. ドローン規制と政府動向

ドローン規制は，ドローン操縦の際，常に念頭におくべきものである。ドローン飛行ルールについては国交省Webページ⁴⁾をご覧ください(図-2)。

筆者らは，携帯電話回線を用い，ドローン広域自律制御システムの開発を進めてきた。これに対し，無人航空機における携帯電話等の利用⁵⁾は総務省の規制の下，行ってきた。また，有人地帯での補助者なしドローン目視外飛行⁶⁾は国交省の規制である。具体的には，地上補助者が所持するミヤ・リードロンとドローン開発機をつなぎ，係留装置下でのドローン広域自律制御システム開発を進めた。

経済産業省は，平成30年度新エネルギー等の保安規制高度化事業報告書⁷⁾において，送電線やインフラの点検等における2025年のドローン利用イメージ(図-3)を示した。さらに，無人航空機を用いて送電線点検等を行うに当たり，当面自主的に取り組むべき事項として下記を掲げた。

- ①ドローン自動操縦を行う場合，送電線による電磁界や電波を遮蔽する他物等の影響を考慮し，地磁気センサーや衛星通信等を用いた絶対位置の測位(衛星測

図-2 無人航空機の飛行の許可が必要となる空域⁴⁾

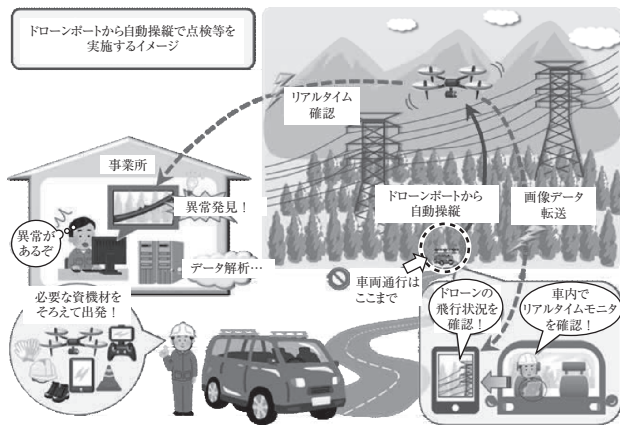


図-3 送電線点検等におけるドローン利用イメージ⁷⁾

位等)が不使用状態となった場合においても飛行を継続し、影響のないエリアまで自動で移動する、又は危機回避機能等により適切に安全確保できること。

- ②ドローン自動操縦を行う場合、事前に樹木等の他物がないと確認できた空域で飛行させる、又は送電線等や樹木等の他物との衝突を回避する機能をもたせること。

3. ドローン規制/政府動向に応じたシステム開発

筆者らは、SCOPE取組み⁸⁾において、宮古島でドローンによる動物発見追跡の現地調査を行った。ここにおいて知り得た知見は、実際に確認した宮古島サトウキビ畑における実環境送電線・電柱・樹木等を含む実環境地図の事前教示が必要と痛感したことである。逃げ惑う動物を高空ないし低空で自動追跡・撮影するには、正確な実環境送電線・電柱・樹木等を含む3次元デジタルマップ及びマップに基づく自己位置検出が不可欠である。また、時々刻々変化する実環境での位置決めをフィードバックしつつ、広域長距離自律飛行する技術が不可欠である。送電線点検などにおいても同様であると考える。

これらに対し、筆者らはSCOPE予算の支援の下、ドローン統合ナビゲーション手法^{1), 2)}の開発を行ってきた。ドローン搭載カメラ地面画像による位置決めを用いた非GPS自律飛行と経路点GPS自律飛行を統合する手法である。文献1)で行った手法は、非GPS領域部分にはORB-SLAMを、GPS-非GPS領域接続部分にはGPS位置情報付き特徴点(ランドマーク)情報を対応付けたものの、接続点で二つの手法を切り換えて使っている。この場合、多数のランドマーク情報に対応していない。経産省報告書の送電線や樹木等の他物を回避するには、多数

のランドマーク情報の対応が必要である。

今回、GPS-非GPS領域の区分を取り払い、全て非GPS領域として、ORB-SLAMを拡張した手法で多数の特徴点(ランドマーク)情報の対応付けに取り組みつつある。さらに、ドローンに搭載した携帯電話公衆回線を用い、時々刻々変化する実環境位置決めをフィードバックし、広域長距離自律飛行する手法の開発を進めている。これについては、開発に成功し基本的な動作検証を行うことができた。

しかしながら、搭載した携帯電話公衆回線を用い、ドローン統合ナビゲーション手法を本格実証するには、前述^{5), 6)}の総務省及び国交省の規制緩和が必要となる。早期の緩和実現を期待する。

以下、ドローンによる上空からの自動撮影実現のためのシステム開発事例について、GPS経路点制御、非GPS自律制御(1)、非GPS自律制御(2)の順に記す。

4. GPS経路点制御の事例

電力中央研究所の中屋らは、Phantom2 vision+(DJI社)を用い、GPS経路点制御にて、送電線と接近樹木の離隔評価を行った³⁾。図-4はドローン飛行時の垂直位置関係説明図である。図-5はドローン飛行時の水平位置

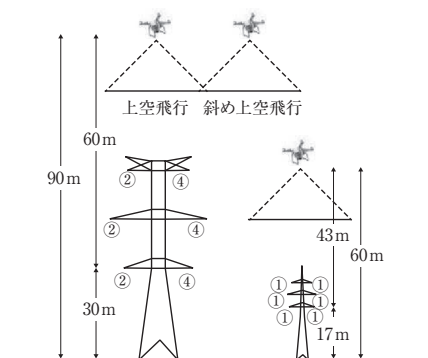
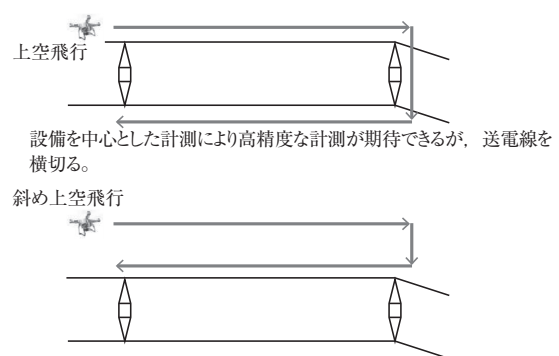


図-4 ドローン飛行時の垂直位置関係説明図³⁾



設備干渉リスクが小さいが、取得データの精度は劣る可能性がある。

図-5 ドローン飛行時の水平位置関係説明図³⁾

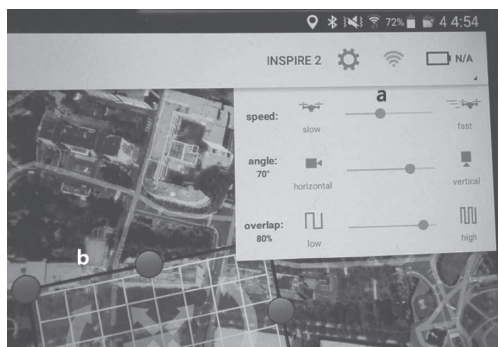


写真-1 Pix4Dの操作画面例

置関係説明図である。

GPS経路点制御及び、撮像した連続画像の貼り合わせ(SfMマッチングと呼ぶ)、をPix4D(Pix4D社ソフトウェア)で行っている。写真-1はPix4Dの操作画面例(文献3)とは異なる)である。Googleマップ上で経路点を指定している。得られた経路点のGPS情報データ列を基に、Pix4DがGPS経路点制御を行う。

5. 非GPS自律制御の事例(1)広域自律制御

筆者らは、第3章に記述のごとく、自律制御ドローンでの送電線点検及び動物発見追跡のために、非GPS自律制御システムの開発を進めてきた^{1) 2)}。以下、システム開発内容について記す(図-6)。

当初、取り組んだ内容は、広域自律制御であった。このため、ドローンのフライトコントローラ(Pixhawk2)とStickPC、スマートフォン(docomo SH-01H)をUSB接続し、docomo SH-01HのUSBテザリング機能により携帯電話公衆回線に接続した。それらと基地局となるPCとでVPNでネットワークを構築する。基地局のPC上に開発する自律制御ソフトウェアを起動させ、ドローンにTCP又はUDPで接続し制御を行う。基地局-ドローン間通信のプロトコルにMAVLink⁹⁾を用いた。

自律制御ソフトウェア開発のために、次のコマンドを作成した。

- ・connect_vehicle()
ドローンとの接続を開始する。
- ・connect_list()
接続しているドローンのリストを表示する。
- ・disconnect_vehicle()
ドローンとの接続を解除する。
- ・waypoint()
飛行プランを手動で入力する。
- ・read_file()

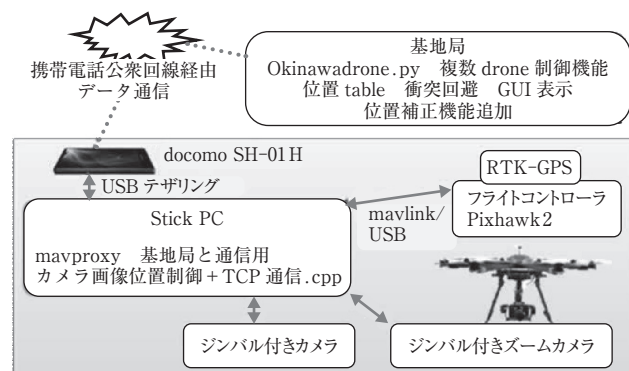


図-6 広域自律制御のためのドローンシステム構成(旧)

飛行プランのファイルを読み込む。

- ・takeoff()
ホバリングをする。
- ・flight_plan()
飛行プランを実行。

上記システムにて、複数ドローンの広域制御及び衝突回避を実現できた¹⁾。

6. 非GPS自律制御の事例(2)ランドマークSLAM

第3章に記述のごとく、自律制御ドローンでの送電線点検及び動物発見追跡のために、正確な実環境送電線・電柱・樹木等を含む3次元デジタルマップ及びマップに基づく自己位置検出が不可欠である。

筆者らが文献1)で行った手法は、非GPS領域部分にはORB-SLAMを、GPS-非GPS領域接続部分にはGPS位置情報付き特徴点(ランドマーク)情報を対応付けたもの、接続点で二つの手法を切り換えて使っている。この場合、多数のランドマーク情報に対応していない。

今回、GPS-非GPS領域の区分を取り払い、全て非GPS領域として、ORB-SLAMを拡張した手法で多数の特徴点(ランドマーク)情報の対応付けに取り組みつつある。この手法をランドマーク付きSLAMと呼んでいる。

現在、広く利用されている高速・高精度な単眼カメラを用いたSLAM手法として、ORB-SLAM¹⁰⁾がある。ORB-SLAMは、静的な環境であれば高い精度を発揮するものの、人がいる場所などの動的な環境では、動いている物体を誤ってランドマークとして認識してしまい、地図構築・自己位置推定に誤りが生じてしまう。これにより実用性が低いことが難点として挙げられる。

そこで筆者らは、ORB-SLAMを動的環境に対応できるように改善を進めつつある。具体的には事前に深度カメラを用いた環境の密点群地図を生成・保持し、ORB-SLAMが点群を生成する際に環境の密点群との点群

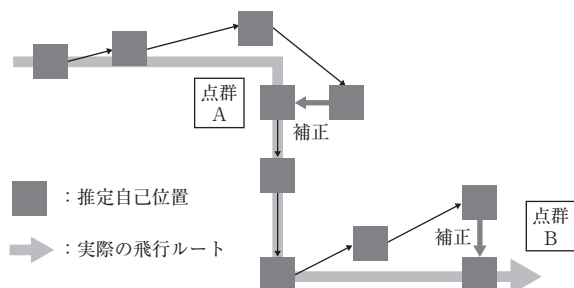


図-7 密点群との点群マッチングを行い点群修正

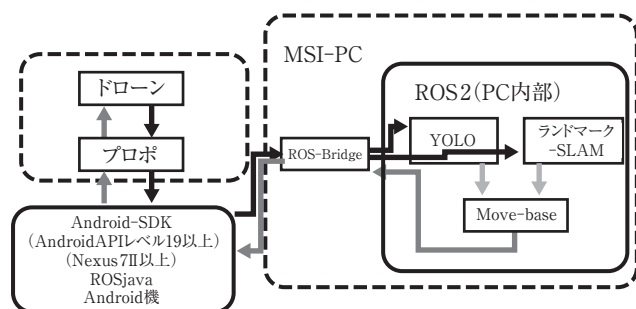


図-8 広域自律制御のためのドローンシステム構成(新)

マッチングを行い、点群を修正する(図-7)。静的物体を事前に密点群地図として保持することで、密点群地図に存在しない人や動物などの動的物体を外れ値として扱うことが可能になる。

ランドマーク付きSLAMに合わせ、汎用な経路生成ソフトに対応したドローンシステム構築を進めつつある(図-8)。ロボットシステム用ミドルウェアとして、多くの実績をもつROSを採用した。ROSのtoolとして動作保証された数多くの既存資産をもつTFやMove-Baseを、自律飛行経路生成のtoolとして活用する。ランドマーク付きSLAMをMove-Baseに対応可能な仕様で開発を進めている。さらに、ドローン-基地局(MSI-PC)間に通信手段としてROS-Bridgeを実装した。

7. おわりに

本稿では、筆者らが取り組む、自律制御ドローンによる上空からの自動撮影実現のための視覚誘導システム開発事例について記した。ドローン自動撮影の対象は主として、高圧送電線であるが、動物発見追跡についても対象を拡げつつある。これについても併記した。

自律制御ドローンでの送電線点検及び動物発見追跡のために、正確な実環境送電線・電柱・樹木等を含む3次元デジタルマップ及びマップに基づく自己位置検出が不

可欠である。このため、ランドマーク付きSLAMの開発を進めつつある。これに合わせROSベースのドローンシステムの構築を進めつつある。

しかしながら、開発した広域自律制御のためのドローンシステム及びランドマーク付きSLAMを本格実証するには、第2章に記した総務省及び国交省のドローン規制緩和が必要となる。早期の緩和実現を期待する。

謝 辭

本稿取組み内容の一部は、総務省SCOPE予算(課題no.152311004及び191611002)によるものである。ここに感謝いたします。

送電線点検については、沖縄電力(株)及び(株)沖縄エネテックの協力を得ました。また、ドローン搭載携帯電話端末については、(株)NTTドコモ沖縄振興推進室の協力を得ました。ここに深謝いたします。

参考文献

- 1) 宮里勇也, 姉崎 隆, 古謝秀人, 森田道成, 金城大海翔, 佐藤志土, 伊礼恭士, 奥 颯斗, 柏木拓海, タンスリヤボン スリヨン: 「GPS-非GPS領域を含む広域自律飛行可能なドローンシステムの提案」, 電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌), Vol.139, No.9, pp.980-985, 2019年9月
- 2) 荻堂修太, 喜屋武愛理, 高里俊裕, 前里理世, タンスリヤボン スリヨン, 姉崎 隆: 「インフラ構造物空中点検・監視用途に適用可能なdrone統合ナビゲーション手法の提案」, 電気学会論文誌D(産業応用部門誌), Vol.136, No.10, pp.753-759, 2016年10月
- 3) 中屋 耕, 大石祐嗣, 鈴木準平: 「送電線と樹木の離隔計測への小型無人飛行機の適用性評価」, 電力中央研究所報告, 研究報告, 電力中央研究所環境科学研究所所編(15004), 巻頭1-3, 1-16, 2016-02, 2016年2月
- 4) 無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html
- 5) 「ドローンに携帯電波活用 広域利用可能に 総務省が来年後半から」, 2019年6月21日, 産経新聞電子版
<https://www.sankei.com/politics/news/190621/pl1906210025-n1.html>
- 6) 「ドローンによる有人地帯での目視外飛行(レベル4)の実現に向けて」, 小型無人機に関する関係府省庁連絡会議(第9回), 2019年12月18日
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/dai9/siryoul.pdf>
- 7) 経済産業省 平成30年度新エネルギー等の保安規制高度化事業(送電線点検等におけるドローン等技術活用可能性検討事業)報告書
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2019/3/310322.html
- 8) 平成31年度総務省戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)「ドローンによる保護動物/害獣動物の発見/追跡システムの研究開発(191611002)」
- 9) Dronecode: 「MAVProxy」,
<http://ardupilot.github.io/MAVProxy/html/index.html>
- 10) R.Mur-Artal, J.M.M.Montiel, J.D.Tardos, “ORB-SLAM: A versatile and accurate monocular SLAM system”, IEEE Trans.Robot., vol.31, no.5, pp.1147-1163, Aug.2015