

14. 200 g 未満の超軽量UAVの開発

石黒聡士・中村栄治

1. はじめに

近年の小型無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)の爆発的な普及に伴い、運用に関する法律が整備され、安全に配慮した適切な運用環境が整いつつある。UAVはデジタルカメラを搭載することにより、解析対象の地形や地物を、研究者個人が必要な時に必要な範囲で繰り返し撮影できるため、極めて強力な調査手法である。さらに、UAVによる空撮画像から、極めて詳細な地形モデルを生成することが可能である。

しかし一方で、いわゆる「官邸ドローン事件」に端を発したUAVの悪用に対応するため、航空法が改正され、UAVの飛行は空間的・時間的に規制されることとなった。規制の対象となるUAVは200 g以上の機体であり、従来、地形計測に使用してきた機体はほぼ例外なく該当する。平成28年熊本地震時には、益城町において甚大な被害が発生し、地表地震断層との関連が疑われたものの、飛行が制限される人口密集地(DID)の範囲であったために、従来型のUAVを自由に飛行させることができなかった。

そこで本研究は、地形計測に供することができ、かつ、改正航空法に規制されることのない200 g未満のUAVを開発することを目的とする。機体が軽量であることは、万一墜落した際の安全性の面でも重要である。

2. 既存のUAVの分類と長所・短所

現在、広く一般に普及しているUAVは、DJI社のPhantomシリーズをはじめとする回転翼機型のUAV(図1)で、リチウムポリマーバッテリー、ブラシレスモーター、制御系の目覚ましい技術的進展の結果、操縦技術に特別な訓練を要することなく、誰もが直観的に操縦することができる。高解像度のカメラも標準で搭載されており、地上解像度数cmの画像を得ることができる。また、障害物センサーや対地高度を計測するソナーを搭載するなど、他の物体への衝突や墜落に対し安全性が高められている。また、固定翼型のUAVの開発も進んでいる。

固定翼型UAVは、回転翼と異なり、揚力を翼で稼ぎ、動力は推進力のみで費やされるため、消費電力が回転翼に比較して少なく済む。さらに、航行速度が速いために、広範囲を対象とする場合に有利である。現状では、1時間程度の飛行が可能な機体もあり、数キロメートル四方の範囲を対象とする実力がある。また、機体の構造上、プロペラが機体後方に位置し、万一墜落する場合であっても、滑空しつつ、発泡スチロール様の機体前面から飛来するため、衝突する相手へのダメージを和らげることができる。



図1 熊本地震の地震断層調査で実働する回転翼機



図2 熊本地震の被害調査で実働する固定翼機

一方で、それぞれのUAVには短所もある。回転翼機は現状では航続時間が30分程度と短く、広範囲を対象とできない。また、安全装置があるとはいえ、動力の停止が起こった際は揚力を完全に喪失し、直ちに落下する。高速で回転するプロペラが複数あって、露出していることも、万一の際に怪我の原因となる。固定翼機は原理上ホバリングすることができない。このため、着陸時に高度な操縦技術が要求される。速度が速いため、操縦ミスによる人や物への衝突等のリスクが高い。

さらに、2017年に施行された改正航空法により、人口密集地等における飛行が禁止され、厳格な運用が義務付けられることとなった。これにより、人口密集地において未熟な操縦による事故は減ることが予想されるものの、一般的な地形調査等において機動性が大きく損なわれることとなった。

以上のように、既存のUAVは対象とする範囲等によって使い分けをすることが要求される。さらに、回転翼、固定翼の違いにかかわらず、改正航空法の規制の影響を受ける。

3. 200 g 未満機を構成する部品と軽量化の工夫

改正航空法の規制対象は、飛行に必要なバッテリー等が装着された状態で、200 g 以上の機体である。これまでも200 g に満たないUAVは存在していたが、玩具としての性質が強く、地形等の調査に供することができる精度での空撮や自動航行が不可能であった。本研究では、機体を極力軽くしつつ、GPS、気圧計その他のセンサー類を搭載し、自動航行が可能な機体を作成することを試みた。様々な情報源から前述の目的を達成するために必要な物品をリストアップした(表1)。

なお、航空法で規制されるのは離陸に必要な装備を装着した状態で200 g 以上であるから、離陸および飛行そのものには必要がないカメラ部分は規制重量に含まれない。とはいえ、200 g 未満の機体に対し、100 g を超えるようなカメラは揚力の制約上、現実的ではない。

表1 200 g 未満機の作成のために収集した部品

部品名	特徴等	重量
フレーム	カーボンファイバー製	54 g
ブラシレスモーター	3100 RPM/V 4個	48 g (@12 g)
ESC	10A 1-3S LiPo用	4.5 g
配電盤	2-6S LiPo用	6 g
フライトコントローラー	Mini-APM	14 g
コンパス付きGSP	Mini-APM用	9 g
レーザー	2.4 GHz帯 8ch	9.3 g
プロペラ	正逆回転 2対	4.1 g
リチウムポリマーバッテリー	2S 7.4V 35C - 70C	68 g

・フレーム

フレームは当初は自作も検討したものの、十分な強度を確保する必要と重量の制約から既製品を使用することとした。フルカーボンファイバー製のクワッドコプター用のキットで、モーターを取り付ける穴やセンサー類を搭載するために必要な穴が開けられている。

・ブラシレスモーター

モーターは使用するリチウムポリマーバッテリーの電圧と容量(セル数)に応じたタイプを選ぶ必要がある。

今回は重量の制約等から3セルのリチウムポリマーバッテリーを使用するため、2セルから4セルのバッテリーに対応可能なブラシレスモーターのうち、重量と出力のバランスを考慮して、3100kv (RPM/V) のブラシレスモーターを採用した。

・ESC

UAVの姿勢を制御するためには、ブラシレスモーターの回転数を制御して回転させる必要がある。このモーターに制御されたパルス電圧を送る装置がESC (スピードコントローラー) である。使用する電圧と最大電流を許容するタイプを選ぶ必要がある。今回は10A、1セルから3セルのリチウムポリマーバッテリーに対応した部品を採用した。

・配電盤

バッテリーから各部品に制御された電力を供給するために配電盤が必要である。バッテリー今回使用するバッテリーは3セル (7.4V) であるが、適宜降圧等が必要である。本研究で採用した配電盤は、4つのESCへの電源供給が可能なタイプである。

・フライトコントローラー

自動航行を実現するためには、フライトコントローラーが必須である。本研究においては、すでに通常サイズのUAVの政策と運用において実績のあるAPMフライトコントローラーを採用した。ただし、重量を極力軽くするために通常サイズのAPMではなく、Mini-APMを採用した。なお、両者に機能の差はない。APMフライトコントローラーにインストールできるファームウェアは、固定翼機、回転翼機、地上の車両等を制御するためのものが用意されており、用途に応じてインストールをする。その他、自動帰還機能、許容電圧やコントローラーとの通信断等の非常時の挙動を設定可能な各種のフェイルセーフ、ウェイポイント飛行、自動着陸等の多くの機能を備えている。これらの機能は、基本的にはパソコンにインストールされた制御ソフトウェアにより設定する。APMの場合、制御ソフトウェアはフリーソフトである「Mission Planner」である。これにより、調査地点を事前にAPMに転送しておくことで、自動航行が可能となる。また、飛行中に何らかの原因でコントローラーとの通信が切断され、手動操縦が不可能になった際は、十分な高度を保ちつつ離陸地点まで戻り、自動で着陸するように設定することが可能である。

・コンパス付きGPS

フライトコントローラーとセットで、方位および位置を計測するためにコンパス付きのGPSが必要である。方位およびGPSの位置情報は、自動航行と自動帰還の際に用いられる。APMの場合、これに適合した機種があるため、合わせて入手する必要がある。今回は、Mini-APM用のコンパス付きGPSを用意した。

・レシーバー

操縦者が持つコントローラー (プロポと呼ぶ) は、UAVに搭載するレシーバーと通信を行い、プロポでの操作をレシーバー経由で電気信号に変換し、プロペラの回転数の昇降 (スロットル) 等を実現する。また、自動帰還の信号や、自動航行および手動操縦の切り替え等を行う。今回は、すでに入手済みであったFutaba社製の6Kプロポを活用することとし、これに適合する (通信が可能な) レシーバーを入手した。通常のUAVを作成する際には、UAVに供給されている電圧や位置情報、バッテリーの温度などを監視するテレメトリー機能を搭載することが多い。今回は重量を極力削減するために、テレメトリーを使用しない。このため、スロットル、前後進、左右、左右回転、オート切り替え、自動帰還の6チャンネル以上が使用できる機種であれば良いことになる。

・プロペラ

機体の自重が軽いために、小型のプロペラで十分揚力を得ることができる。クワッドコプター (プロペラが4枚) におけるプロペラの配置は、2枚ずつ、時計回りと反時計回りで揚力を得られる方向のプロペラを使用する。すべて同じ方向に回転させると、トルクの関係で機体自体が空中で回転してしまう。これを相殺するための工夫

である。

・リチウムポリマーバッテリー

機体の重量のうち、その大部分を占めるのがバッテリーである。4つのブラシレスモーターを同時に高速で回転させるため、大電流を長時間放出できるバッテリーが必要である。現在のところ、これを実現できるのはリチウムポリマーバッテリーのみである。リチウムポリマーバッテリーは1セルにつき3.7Vの電圧を生じ、セル数に応じて、7.4V（2セル）、11.1V（3セル）というように電圧が変わる。また、蓄電できる電流量と、電流の放出量が定められており、いわば細く長く放電するタイプと、太く短く放電できるタイプがある。これらは40Cなどの数値で表され、容量の値との乗算結果が流せる電流の値となる。例えば、今回使用するリチウムポリマーバッテリーは2セル7.4V、1300mAの35C -70Cであり、これは定常的に45.5A（1.3 x 35）の電流を流すことができ、最大で（瞬間的には）91.0A（1.3 x 70）もの電流を流すことができることを示している。

4. 各部品の組み立てと完成時の外観

前述の部品を正しく組み合わせ、本体を作成した。重量を軽くするため、配線は極力短くし、場合によっては部品のカバーを取り外すなどの工夫を行った。半田付け等は非常に細かい作業であり、かつ、部品同士が接近しており、慎重を期す必要があった。このようにして作成された機体の写真を図3に示す。この機体の重量は198gであり、200g未満の機体を作成するという当初の目的は達成された。



図3 200g未満機の完成外観

5. おわりに

本研究では、改正航空法のもとにおいても人口密集地における空撮による調査を可能とするため、従来のUAVが備える基本的な機能を搭載した、200g未満の機体を作成した。今後は搭載するカメラの選定等を行う必要があるが、一方で改正航空法をにらみ、民生品でも200g未満の完成機体を販売する会社も現れた。これらのUAVを用いて、我々が必要とする空撮が可能であるかの検証を行う必要がある。