本局各関係課長 各事務所長 各管理所長 殿

企 画 部 長 (公印省略)

UAVを用いた測量を行う上での技術マニュアル及び安全基準について

標記について、国土地理院企画部長から別紙のとおり通知があったので、通知する。

(担当 技術管理課 基準第二係)

国 地 企 指 第 53 号 平成 28 年 4 月 1 日

測量計画機関の長 殿



UAV を用いた測量を行う上での技術マニュアル及び安全基準について

日頃より国土地理院の測量行政の推進に御理解、御協力を頂きありがとうご ざいます。

近年、様々な新たな測量技術の開発や導入が進められており、測量作業の効率 化等に寄与しているところです。特に、小型無人航空機(UAV)については、測 量分野においても利用する試みが増えつつあります。UAV を公共測量において 利用することで、作業の効率化や迅速化、機動的な作業の実施が可能となること から、今後利用される機会や場面が増えることが想定されます。

今後、我が国において生産年齢人口が減少することが予想される中、建設分野において生産性向上は避けられない課題です。こうした状況の下、国土交通省においては、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す新しい取組である i-Construction を進めることとしています。これに関し、UAV を利用した測量を行うことで、効率的な作業を行うことができ、生産性の向上にも寄与することが期待されるところです。

こうした中で、UAVを用いた測量を円滑に実施できるよう、国土地理院では、UAVを用いた測量作業を行う上での技術的な基準となる「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」と、UAVを公共測量において安全に活用する際の標準的なルールを示した「公共測量における UAV の使用に関する安全基準(案)」を本年3月に作成し、公表しました。

貴測量計画機関において、UAVを用いた公共測量を実施する際には、適切な精度を確保した測量作業を安全かつ適切に実施できるよう、これらのマニュアル(案)及び安全基準(案)の有効活用をお願いします。

なお、貴機関の関係部署にも御周知下さいますよう、よろしくお願い致します。



UAV を用いた公共測量マニュアル(案)

平成 28 年 3 月

国土交通省国土地理院

目 次

【序】概説	1
1. はじめに	1
2. UAV を用いた測量 とは	2
1) UAV を用いた空中写真測量	2
2) UAV を用いた空中写真による三次元点群測量	3
3. UAV を用いた公共測量マニュアル	4
1) 本マニュアルの目的	4
2) 本マニュアルの構成	4
3) 本マニュアルの適用範囲と利用上の注意点	5
第 1 編 総則	7
第 2 編 UAV を用いた地形測量及び写真測量	10
第 1 章 概説	10
第2章 UAV を用いた空中写真測量	12
第1節 要旨	12
第2節 作業計画	12
第3節 標定点の設置	12
第4節 対空標識の設置	15
第 5 節 撮影	17
第6節 空中三角測量	27
第7節 現地調査	29
第3編 UAV を用いた応用測量	31
第 1 章 概説	31
第2章 UAV を用いた空中写真による三次元点群測量	33
第1節 要旨	33
第2節 作業計画	33
第3節 標定点及び検証点の設置	33
第4節 対空標識の設置	38
第 5 節 撮影	39
第6節 三次元形状復元	45
第7節 数值編集	47
第8節 三次元点群データファイルの作成	48
第9節 成果等の整理	48
第 4 編 資料	50
標準様式等	50
参考資料	50

【序】概説

1. はじめに

昨今の UAV(Unmanned Aerial Vehicle、無人航空機)を取り巻く状況は、局地的な範囲で、 土木工事現場のような UAV の落下に対する安全の確保が可能な場所では、低高度からの空 中写真の撮影が実用的に行えるようになっている。

また、コンピュータの発達によるデジタル化の進展により、劣化の問題から地図が解放され、経年変化部の修正測量のみにより地図を更新することができるようになった。つまり、従来の地図はポリエステルフィルム等のアナログ媒体に線画で記録されていたため、アナログ媒体の劣化に伴って地図も劣化していた。現在の地図は、電子記録媒体に座標値で記録されているため、経年により座標値が変わるといった劣化は生じない。そのため地形・地物の経年変化が生じた地図は、その部分の座標値を入れ替えていくという局地的な修正によって使い続けることが可能となる。また、地図として表現する地形・地物の経年変化は、工事や災害等によって局地的に発生する。このような局地的な範囲の地図作成は UAV の得意とするところである。

公共事業においては、社会環境の変化により企画から測量・調査、設計、施工、維持管理といった事業全体を最適化することが進められており、その一環として三次元データの活用も試行されている。現在、土木工事における土量管理は、平均断面法や地上レーザ測量による三次元データ等が利用されている。平均断面法は、地形の形状が複雑だと実際の土量との差異が大きくなる可能性が高い。地上レーザ測量では、レーザスキャナを設置する適当な場所がなければ、必要な箇所を計測できない可能性が生じる。また、作業員が危険な場所に入らなければならなかったり、現場での作業に時間を要したりしている。このような場所においては、UAVを用いることにより工事現場全体を危険な場所に立ち入ることなく短時間で撮影し、撮影した空中写真から三次元点群測量を行うことにより土量管理が行えるようになる。

このような社会的状況を踏まえ、国土地理院では、数値地形図データを作成するための測量手法である「UAV を用いた空中写真測量」及び三次元点群データを作成するための測量手法である「UAV を用いた空中写真による三次元点群測量」を規定した『UAV を用いた公共測量マニュアル(案)』(以下「本マニュアル」という。)を整備した。

UAV や空中写真の撮影に用いるデジタルカメラのほか、空中写真から高密度に特徴点を抽出し、三次元点群を作成するソフトウェアを測量に用いる本マニュアルでは、現在の技術を勘案した手法や許容範囲を設定している。

今後、本マニュアルを使用した測量が行われることで検証データが蓄積されていき、また、機器や処理ソフトウェアの性能も向上していくことが見込まれることから、本マニュアルはより適切な内容へと改善されることが期待できる。また、「UAV を用いた空中写真による三次元点群測量」の裸地以外への適用も検討されることになると考えられる。

なお、UAV を利用するにあたっては安全面への配慮が重要となるが、安全面への配慮は本

マニュアルでは別途、国土地理院が作成した「公共測量における UAV の使用に関する安全 基準 (案)」に準拠することとしている。

2. UAV を用いた測量 とは

1) UAV を用いた空中写真測量

UAV を用いた空中写真測量による数値地形図データ作成の工程別作業区分及び順序は、 有人機を用いた場合(「作業規程の準則」(以下「準則」という。)第3編第3章「空中写真測量」)とほぼ同じである(図1)。

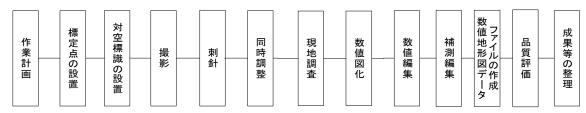


図 1 準則第3編第3章空中写真測量における工程別作業区分及び順序

しかしながら各工程の技術内容においては、次のとおり大きな違いがあるところもある。 撮影においては、有人機に装備されている GNSS/IMU 装置と同等の仕組みが、UAV で実 用化するには少し時間を有するものと思われる。したがって UAV による空中写真の撮影は、 GNSS/IMU が装備される前の有人機による撮影と同等の規定としている。

刺針は、対空標識の設置後、撮影が行われるまでの間に、何らかの原因により対空標識がなくなったり、空中写真に写っていなかったりした場合に、標定点の位置を現地で調査して空中写真に明示する作業であるが、UAVによる空中写真撮影では、撮影直前に対空標識の有無を確認できるために規定していない。

同時調整は、GNSS/IMU 装置で得られたデータも含めて空中三角測量を行う工程であるが、UAV では GNSS/IMU 装置で得られるデータと同等のデータが実用的に得られるようになるには時間を要するとの判断から、GNSS/IMU 装置を用いない空中三角測量を、空中三角測量という名称で規定している。

現地調査は、UAV を用いた空中写真測量の適用範囲が局地的であることから、調査内容は限定されると判断し、簡略化した内容で規定している。

この他、民生用デジタルカメラを使用すること、1枚の空中写真が捉える範囲も狭くなること、建物などの立体構造を持つ地物の対地高度に対する高さの割合が大きくなることなどから、細部においては有人機を用いた空中写真測量とは異なる場合も多い。これらの相違において精度や経済性の確保に重要となるところは精一杯配慮した。実績も少なく、機器やソフトの発達も急速で十分な配慮となっていない可能性があるため、情勢に応じた今後の本マニュアルの見直しを注視することが必要である。

2) UAV を用いた空中写真による三次元点群測量

UAV を用いた空中写真による三次元点群測量は、準則第 3 編第 6 章に規定する写真地図作成と同類の技術で、どちらも空中写真測量に分類される技術であるが、処理の仕方は大きく異なる。図 2 は、本マニュアルで規定した UAV を用いた空中写真測量による三次元点群測量における工程別作業区分及び順序である。

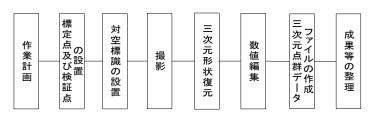


図 2 UAV を用いた空中写真による三次元点群測量における工程別作業区分及び順序

写真地図作成で規定されている同時調整、数値地形モデルの作成、正射変換、モザイクといった一連の工程は、三次元形状復元という一工程に集約され、かつ三次元形状復元は自動処理により行うことを前提としている。また、写真地図作成では、数値地形モデルと写真地図データファイルが成果として作成されるが、UAVを用いた空中写真による三次元点群測量では、数値地形モデルと写真地図データが一体となったともいえる空中写真の色を属性とする三次元の座標、いわゆる三次元点群データを成果とし、必要に応じて三次元点群データからグリッド形式、テクスチャー付きの不整三角網(TIN; Triangulated Irregular Network)、写真地図を作成することも規定している。

三次元形状復元では、最初に同時調整に相当する処理が行われる。つまり、パスポイント・タイポイントに変わるものとして、地形・地物の特徴的な場所が特徴点として自動抽出され、重複する空中写真間で同一となる特徴点の対応付けが行われ、空中写真の外部標定要素が計算される。次に、外部標定要素によって明確になった空中写真間の関係を利用し、特徴的な場所以外でも重複する空中写真間で同一となる場所の対応付けが行われ、外部標定要素を用いて三次元座標に変換されるとともに、その場所の空中写真の色が属性として付与される。さらに、三次元座標を何らかの基準に従って品質を評価し、誤対応しているものを除去するいわゆるフィルタリングを行うソフトもあると思われる。

このように重複する空中写真間で同一場所を自動的に対応付けするには、地形・地物の写り込み方の違いが少ない接近して撮影された空中写真、つまり重複度が大きい空中写真ほど容易となる。従って撮影では、空中写真測量でオーバーラップと呼ばれる UAV の進行方向(以下「コース」という。)に撮影された空中写真間の重複、サイドラップと呼ばれる隣接する UAV の撮影コース間の重複は、空中写真測量に較べて非常に大きくしている。

また、自動処理によって同一場所が対応付けられた空中写真を地上と関係付けるために、水平位置と標高を持つ標定点を設置するとともに、その位置が分かるように対空標識が設置

される。このとき同一場所の対応付けがどのくらい堅ろうに行われているかの判断が困難なため、堅ろうさに欠ける場所における空中写真の連結度合の弱さを補うためにも標定点を設置することを規定している。

同一場所の対応付けの弱さは、異常な三次元点群データを生成することにもなるため、異常な三次元点群データを除去するための数値編集を規定している。

この他、民生用デジタルカメラを使用すること、空中写真測量では分割されている工程を 自動処理で一挙に処理してくれるソフトを使用することから、これらに精一杯配慮した規定 としているが、実績も少なく、機器やソフトの発達も急速で、十分な配慮となっていない可 能性があるため、本マニュアルを利用する際には注意が必要である。

3. UAV を用いた公共測量マニュアル

1) 本マニュアルの目的

本マニュアルは、準則第17条(機器等及び作業方法に関する特例)を適用し、公共測量に おいて UAV とそれに搭載された民生用デジタルカメラで撮影された空中写真を用いて測量 を実施する場合の標準的な作業方法を定め、その規格の統一、成果の標準化及び必要な精度 の確保に資することを目的とする。

① 公共測量を実施する場合

国又は公共団体において、準則を準用している場合、準則第17条(機器等及び作業方法に関する特例)を適用し、測量法第36条(計画書についての助言)に基づく国土地理院の技術的助言により、本マニュアルを準用することができる。

② 基本測量及び公共測量以外の測量を実施する場合

基本測量及び公共測量以外の測量を実施する場合にも、本マニュアルを利用することができる。

2) 本マニュアルの構成

本マニュアルは、UAV を用いた測量を実施する際の標準的な作業方法、使用する機器等の必要な事項について規定している。

また、測量技術としての UAV を用いた測量に対する理解を深め、その利用の普及・促進を図るため、条文、運用基準のほかに解説を加えている。なお、本マニュアルの全体構成は、以下のとおりである。

① 【序】概説

UAV を用いた測量についての概説、マニュアルの構成等について説明している。

② 第1編 総則

本マニュアルの目的、UAV を用いた測量を実施するにあたっての条件及びデータの取り扱い等について規定している。

③ 第2編 UAV を用いた地形測量及び写真測量

準則の第3編「地形測量及び写真測量」に対応するものとして第2編「UAVを用いた地形測量及び写真測量」を設け、この編の中の位置付けとして「UAVを用いた空中写真測量」を規定することとし、その実施するにあたっての工程別作業区分及び順序、作成手法、主な測量記録等の規格について規定している。

④ 第3編 UAV を用いた応用測量

準則の第4編「応用測量」に対応するものとして第3編「UAV を用いた応用測量」を 設け、この編の中の位置付けとして「UAV を用いた空中写真による三次元点群測量」を 規定することとし、その実施にあたっての工程別作業区分及び順序、作成手法、主な測 量記録等の規格について規定している。

なお、タイトルに「空中写真による」を入れたのは、近い将来、マニュアルが作成されると予想されるレーザスキャナによる三次元点群測量との区別を意識したためである。

⑤ 第4編 資料

UAV を用いた測量のための精度管理表の標準様式を規定している。

また、本マニュアルによる測量成果等を「国土交通省測量成果電子納品要領(平成 28 年 3 月)」を準用してデジタルデータとして納品する際の、標準的な格納フォルダ名やファイル命名規則は、巻末の標準様式等に規定している。

3) 本マニュアルの適用範囲と利用上の注意点

本マニュアルでは、UAV を用いた空中写真測量及び UAV を用いた空中写真による三次元 点群測量の二つの測量方法を規定している。

UAV を用いた空中写真測量では、原則として地図情報レベル 250 から 500 の数値地形図 データの整備を目的として実施する公共測量に利用することを前提としている。一般的には、地図情報レベルの大きい数値地形図データの整備は、より広範囲を効率的に測量することが 可能である有人機による方法が優位であり、同等の地図情報レベルの数値地形図データの整備においても、地物が少なかったり、視通がよかったりする場合には、TS による方法が優位 である場合もある。従って、経費、作業効率、精度等を考慮して測量方法を選択する必要が ある。また、UAV を用いた空中写真測量で作成される測量成果は、この測量成果の利用を意図として実施される事業のみならず、社会基盤としてさまざまな事業に利用されることが想定されているため、品質の確保は重要な要素となっている。

UAV を用いた空中写真による三次元点群測量では、原則として土木工事現場での土量管理に用いることを前提としている。一般的には、土木工事の現場はさまざまで、その状況によって土量管理に求められる要求精度は変わってくるが、本マニュアルでは平面位置及び高さの精度ともに最大 0.05m以内とし、必要に応じて変更できるようにしている。現在、土量管理のための測量には TS やレーザスキャナ等が使用されているが、地形の形状によっては TS やレーザスキャナによって行う三次元点群測量の方が優れている場合もある。従って、経費、

作業効率、精度等を考慮して測量方法を選択する必要がある。

一方、本マニュアルで規定する民生用デジタルカメラや、三次元点群測量で規定する三次元形状復元ソフトは、どちらも測量を目的として開発された製品ではない。例えば民生用デジタルカメラにおいては、手振れやピンボケ補正といった機能のために測量用として望まれる堅ろう性が確保されていないところもあるとともに、民生用という性質上、モデルチェンジの期間が短く、常に新たなモデルへの対応を続けていかなければならない。三次元形状復元ソフトにおいては、インターネット上に公開されている写真のような多様な写真に対応できるといった性質のため、測量用として望まれる正確さが確保できるかは不確定な部分もあり、また、重複して撮影された空中写真間における同一点の対応付けを自動的に検出するという方法を採用していることから、点検が困難なほど多量に対応点が検出され、その中に誤検出が含まれることが危惧される。

以上のように民生用デジタルカメラや三次元形状復元ソフトの測量への適用については、これまで国土地理院が整備してきた公共測量マニュアルとは異なり、取扱いには細心の注意が必要である。特に不適切なカメラの使用は空中三角測量の処理が破綻するため、不良品の作成を防げる空中写真測量と異なり、三次元形状復元ソフトでは何らかの成果が作られるものの、そこに生じたカメラや土地被覆状態といった問題から生じた不良を取り除いて改善することは難しいと推測される。従って、写真測量の知識を高め、使用機器や飛行条件、処理方法等が使用目的に応じた測量に適しているかを十分に検証し、測量を行う必要がある。

第1編 総則

(目 的)

第1条 本マニュアルは、公共測量における UAV を用いた数値地形図データ作成及び三次元点群データ作成について、その標準的な作業方法等を定めることにより、その規格の統一、標準化及び必要な精度の確保に資することを目的とする。

<第1条 運用基準>

測量計画機関(以下「計画機関」という。)は、本マニュアルを、保有する公共測量作業規程の条文(準則では第17条「機器等及び作業方法に関する特例」)に基づき使用する場合、使用する民生用デジタルカメラや写真測量ソフトについて、測量作業機関(以下「作業機関」という。)等から精度検証結果を提出させて、本マニュアル及び公共測量作業規程に規定されている精度を確保できていることを確認する。

【解 説】

現行の準則において、UAV を用いた測量の利用について規定されていないが、準則第 17 条において、計画機関は、必要な精度の確保及び作業能率の維持に支障がないと認められる場合には、準則に定めていない機器等及び作業方法を用いることができるとされている。 準則第 17 条を適用するにあたって、計画機関は、使用する資料、機器、測量方法等により、精度が確保できることを作業機関等からの検証結果に基づいて確認する必要がある。 なお、確認にあたっては、あらかじめ国土地理院の長の意見を求めることができるとされている。

また、国土地理院が新しい測量技術による測量方法に関するマニュアルを定めた場合は、 当該マニュアルが前述の確認にあたって、確認のための資料として使用することができる と規定されている。本マニュアルは、これに該当するものであり、計画機関は本マニュア ルにより、この新しい UAV を用いた測量技術を使用することについて判断することにな る。

(準則の準用)

第2条 本マニュアルに定めるもの以外は、準則を準用する。

(安全の確保)

- 第3条 作業機関は、UAV の飛行における安全の確保について適切な措置を講じなければならない。
- 2 作業機関は、UAV を飛行させるにあたり、航空法第 132 条及び第 132 条の 2 に基づき必要な許可もしくは承認を得るとともに、国土交通省航空局が定める無人航空機 (UAV、ラジコン機等)の安全な飛行のためのガイドラインに則って UAV を取り扱うものとする。

<第2条 運用基準>

UAV の飛行は、国土地理院が定める公共測量における UAV の使用に関する安全の基準に従って飛行させなければならないものとする。

【解 説】

本マニュアルでは、準則第 10 条 (安全の確保) に準拠して規定するとともに、航空法及 び航空局が定めるガイドラインにも準拠するように規定している。したがって、本マニュ アル内では機器の点検などで安全に関わるところもあるが、基本的には安全に関する規定 はしていない。

なお、公共測量における UAV の使用に関する安全の基準は、公共測量を対象とし、UAV の性能(最大運航重量、連続航続可能時間、最高運航速度、運航可能最大風速など)、作業員の体制整備(作業班長、操縦者、機体監視者等の役割など)、運航に当たっての留意事項(機体の点検、中止の条件など)等について記載されている。

(作業計画)

第4条 作業機関は、作業着手前に作業の方法、使用する主要な機器、要員、日程等について適切な作業計画を立案し、これを計画機関に提出して、その承認を得なければならない。作業計画を変更しようとする場合も同様とする。

(工程管理)

第5条 作業機関は、前条の作業計画に基づき、適切な工程管理を行わなければならない。 2 作業機関は、測量作業の進捗状況を適宜計画機関に報告しなければならない。

(精度管理)

- 第6条 作業機関は、測量の正確さを確保するため、適切な精度管理を行い、その結果に 基づいて精度管理表を作成し、これを計画機関に提出しなければならない。
- 2 作業機関は、各工程別作業の終了時、その他適切な時期に所要の点検を行わなければ ならない。
- 3 作業機関は、作業の終了後速やかに点検測量を行わなければならない。

(測量成果の検定)

第7条 作業機関は、基盤地図情報に該当する測量成果等の高精度を要する測量成果又は 利用度の高い測量成果で計画機関が指定するものについては、準則付録3に基づく検定 に関する技術を有する第三者機関による検定を受けなければならない。

(成果及び資料等の様式)

第8条 UAV を用いた測量における成果、資料等は、標準的な様式で作成するものとする。ただし、成果等の使用、保存等に支障がないと認めて計画機関が指示し、又は承認した場合に限り、異なる様式により作成することができる。

<第8条 運用基準>

UAV を用いた測量に関連する標準的な様式は、本マニュアルに規定する。

(運用基準)

第9条 本マニュアルの運用に関し必要な事項については、本マニュアルの中に運用基準 として定める。

第2編 UAV を用いた地形測量及び写真測量

第1章 概説

(要 旨)

- 第10条 本編はUAVを用いた地形測量及び写真測量の作業方法等を定める。
- 2 「UAV を用いた地形測量及び写真測量」とは、UAV を用いて数値地形図データを作成する作業をいう。
- 3 「数値地形図データ」とは、地形、地物等に係る地図情報を位置、形状を表す座標データ、内容を表す属性データ等として、計算処理が可能な状態で表現したものをいう。

(工程別作業区分及び順序)

- 第11条 工程別作業区分及び順序は、次のとおりとする。
 - 一 作業計画
 - 二 標定点の設置
 - 三 対空標識の設置
 - 四 撮影
 - 五 空中三角測量
 - 六 現地調査
 - 七 数值図化
 - 八 数值編集
 - 九 補測編集
 - 十 数値地形図データファイルの作成
 - 十一 品質評価
 - 十二 成果等の整理
- 2 第七号から第十二号は、準則第3編第3章第2節、第9節から第14節を準用する。

(数値地形図データの地図情報レベル)

- 第12条 数値地形図データの地図情報レベルは、250及び500を標準とする。
- 2 地図情報レベル 1000 以上に適用する場合は、前条第五号までの工程は地図情報レベル 500 で行い、第六号以降の工程を地図情報レベル 1000 以上で行うものとする。

<第12条 運用基準>

1 数値地形図データの位置精度及び地図情報レベルは、準則第80条(数値地形図データの精度)に準じ次表を標準とする。

地図情報レベル	水平位置の標準偏差	標高点の標準偏差	等高線の標準偏差	
250	0.12m 以内	0.25m 以内	0.5m 以内	
500	0.25m 以内	0.25m 以内	0.5m 以内	

- 2 「地図情報レベル」とは、数値地形図データの地図表現精度を表し、数値地形図にお ける図郭内のデータの平均的な総合精度を示す指標をいう。
- 3 地図情報レベルと地形図縮尺の関係は、次表のとおりである。

地図情報レベル	相当縮尺
250	1/250
500	1/500

【解 説】

UAV の飛行可能高度は航空法で制限されるため、適用できる地図情報レベルは実質的に制限される。

より低い精度の地図情報レベルで数値地形図データを作成する場合でも、UAV の飛行高度を限界よりも上げることができないため、第二項の適用は費用対効果の面から一般に奨められない。

なお、地図情報レベル 250 より高い精度での公共測量が行われるようになれば、それに 応じて本章の見直しを行っていく。

(数値地形図データの図式)

- 第13条 数値地形図データの図式は、目的及び地図情報レベルに応じて適切に定める ものとする。
- 2 地図情報レベル 250 は、準則付録 7 に準拠するものとする。
- 3 地図情報レベル 500 は、準則付録 7 を標準とする。
- 4 地図情報レベルごとの地図項目の取得分類基準、数値地形図データのファイル仕様、 数値地形図データファイル説明書、分類コード等は、準則付録 7 を適用することがで きる。

【解 説】

地図情報レベル 250 は局地的にあらゆる地物を形状で取得しており、地図編集には使い難く、図式は規定されてこなかったため、業務に応じて準則の付録 7 に準拠して定めることとした。

第2章 UAV を用いた空中写真測量

第1節 要旨

(要 旨)

第14条 「UAV を用いた空中写真測量」とは、UAV を用いて撮影した空中写真から空中写真測量により数値地形図データファイルを作成する作業をいう。

【解 説】

本章で規定する UAV を用いた空中写真測量は、GNSS/IMU 装置を搭載した UAV による公共測量の実績がないことから、準則第3章の空中写真測量での規定とは異なっている。しかしながら、近い将来には装備されるものと考えられる。その場合は、準則で規定しているものと同等以上の精度が得られると確認された場合には、準則第3章の空中写真測量と規定と同じ規定で利用可能となる。

修正測量に適用する場合には、既存の数値地形図データとの整合に配慮し、標定点の配置や撮影の方法などを検討する必要がある。

第2節 作業計画

(要 旨)

第15条 作業計画は、第4条の規定によるほか、工程別に作成するものとする。

第3節 標定点の設置

(要 旨)

第16条 標定点設置とは、空中三角測量に必要となる水平位置及び標高の基準となる 点(以下「標定点」という。)を設置する作業をいう。

(標定点の精度)

第17条 標定点の精度は、数値地形図データの地図情報レベルに応じ、次表を標準と する。

精度	水平位置	標高
地図情報レベル	(標準偏差)	(標準偏差)
250	0.05m 以内	0.1m 以内
500	0.1m 以内	0.1m 以内

【解 説】

地図情報レベル 500 における標定点の精度は、準則での規程に準拠している。

地図情報レベル 250 における標定点の精度は、水平位置では地図情報レベル 500 での規定の半分に、標高では地図情報レベル 500 や 1000 での規定と同じにしている。標高が地図情報レベル 500 や 1000 と同じなのは、樹木等の被覆によって空中写真で地形を直接測量することが困難で、精度の向上が図れないという考えに従っている。

(方 法)

- 第18条 標定点の設置は、次の各号のとおりとする。ただし、前条に規定する精度を確保し得る範囲内において、既知点間の距離、標定点間の距離、路線長等は、この限りでない。
 - 一 水平位置は、準則第 2 編第 2 章の基準点測量に準じた観測で行い、単点観測法 を用いることができる。なお、単点観測法の観測は、準則第 94 条の規定を準用す る。
 - 二 標高は、準則第2編第3章で規定する簡易水準測量に準じた観測で行うものと する。
- 2 空中写真上で周辺地物との色調差が明瞭な構造物が測定できる場合は、その構造物 上に標定点の設置を行い対空標識に代えることができる。

【解 説】

既知点間の距離、標定点間の距離、路線長などは、UAV のような低高度から撮影する場合には空中写真測量の精度が非常に高くなることを考慮する必要がある。

(標定点の配置)

第19条 標定点は、作業範囲の形状、撮影コースの設定、作業範囲及びその周辺の土地 被覆を考慮して配置するものとする。

<第19条 運用基準>

- 1 撮影が単コースの場合には、標定点は次の条件を満たすように配置することを原則とする。
 - (1) 標定点の配置は、コースの両端のモデルに上下各 1 点及び両端のモデル以外では、コース内に均等に配置することを標準とする。
 - (2) 水平位置 (NH) 及び標高 (NV) の標定点数は、次の式を標準とする。 NH=NV= [n/2]+2
 - ここで、n はモデル数とし、[]の中の計算終了時の小数部は切り上げるものとする。
- 2 撮影が複数コースの場合には、標定点は次の条件を満たすように配置することを原則

とする。

- (1) 水平位置の標定点の配置は、ブロックの四隅に必ず配置するとともに、両端のコースについては6モデルに1点、その他のコースについては3コースごとの両端のモデルに1点、ブロック内の精度を考慮して30モデルに1点を均等の割合で配置することを標準とする。
- (2) 水平位置の標定点数 (NH) は、次の式を標準とする。

NH = 4+2 ((n-6)/6) +2 ((c-3)/3) + ((n-6)(c-3)/30)

ここで、nは1 コース当たりの平均モデル数、c はコース数、[] の中の計算終了時の小数部は切り上げ、負になる場合は0とする。

標高の標定点の配置は、2 コースごとの両端モデルに 1 点ずつ配置するほか、12 モデルに 1 点の割合で各コースに均一に配置することを標準とする。

標高の標定点数は、次の式を標準とする。

NV = [n/12] c + 2 [c/2]

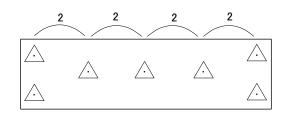
ここで、nは1 コース当たりの平均モデル数、c はコース数、[] の中の計算終了時の小数部は切り上げ、計算されたN V が①で計算されたN H より小さい場合は、N V はN H と同数とする。

3 標定点の配置計画は、撮影計画図の上に作成するものとする。

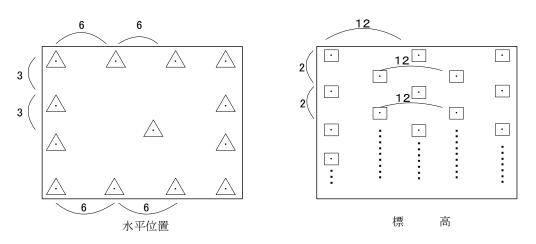
【解 説】

本条文は、昭和 60 年 10 月 5 日付けで建設省国地発 292 号をもって建設大臣の承認を得て、各地方建設局長及び土木研究所長宛てに通知された建設省の公共測量作業規程から引用しているものである(図 3)。本条文が規定された時点と異なり、本マニュアルで規定する民生用デジタルカメラや撮像素子(当時は航空フィルム)の性能、レンズの画面距離や撮影の対地高度等、諸条件が異なっている。これらの諸条件を考慮して、条件に合った配置にする必要がある。過去の研究から、バンドル調整による空中三角測量での標定点の配置は、次のような知見が得られている(秋山、2001)

- (1) 平面位置の精度は平面位置の標定点のみに依存し、標高精度は標高標定点のみに依存する。
- (2) 平面位置標定点は、撮影範囲の周辺部に配置するのが効果的である。
- (3) 標高標定点はコース方向に直交して列状に配置するのが効果的である。この列は、コースの終始端の列及びコース内 5~6 モデル間隔に配置するのが効果的である。



(a) 単コース撮影のための標定点配置(撮影方向:左右)



(b) 複数コース撮影のための標定点配置(撮影方向:左右)

図 3 標定点の配置

(成果等)

- 第20条 成果等は、次の各号のとおりとする。
 - 一 標定点成果表
 - 二標定点配置図及び水準路線図
 - 三 標定点測量簿及び同明細簿
 - 四 精度管理表
 - 五 その他の資料

第4節 対空標識の設置

(要 旨)

第21条 「対空標識の設置」とは、標定点の写真座標を測定するため、標定点に一時標識を設置する作業をいう。

(対空標識の規格及び設置等)

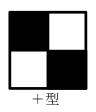
第22条 対空標識は、拡大された空中写真上で確認できるように形状、寸法、色等を選 定するものとする。

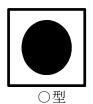
<第22条 運用基準>

1 対空標識の形状は、次を標準とする。









2 対空標識の辺長あるいは円形の直径は5画素以上とする。

- 3 対空標識の色は白黒を標準とし、状況により黄色や黒色とする。
- 4 対空標識の設置に当たっては、次に定める事項に留意する。
 - (1) あらかじめ土地の所有者又は管理者の許可を得る。
 - (2) 天頂からおおむね45度以上の上空視界を確保する。
 - (3) 堅固に設置する。
 - (4) 背景との色調差が明瞭な地点を選ぶか、明瞭となる措置をとる。
 - (5) 一定の期間設置が必要な場合、保全等のために標識板上、あるいは樹上等に設置する場合は標示杭に、標識板1枚の3分の1以下の大きさで、次の事項を標示することを原則とする。
 - ① 公共測量
 - ② 計画機関名
 - ③ 作業機関名
 - ④ 保存期限 (年月日まで)
- 5 設置した対空標識は、撮影作業完了後、速やかに原状を回復するものとする。
- 6 樹上等に設置した対空標識の判読が困難になると思われる箇所では、背景より 50cm 程度高くするものとする。

【解 説】

対空標識の形状は、要求精度以上に高い解像度で撮影されると考えられることから、より標定点位置が明瞭に特定できるもの及び自動処理での計測が可能なもの(円形)が望ましい。

この他、自動抽出のために特殊な形状を用いる場合には、自動抽出を損なわないように地上画素寸法にも配慮する必要がある。

対空標識の辺長は、準則を参考に規定しているが、標定点位置が特定できることを前提 とし、空中写真上で探し出し易いこと、交通の邪魔にならないこと、空中写真の地上画素 寸法等を考慮して決定する必要がある。

標識は、白色の膨張、黒色の収縮、さらには極端な拡大表示によって標定点位置が直接は特定し難くなるため、実際には色の境界線の延長の交点によって特定するよう設計されている。なお、膨張と収縮を抑える色の見直しも考えられるが、コントラストの低下に注意する必要がある。反対に極端に光が反射する素材も、ハレーションを起こして模様を壊してしまうので注意する必要がある。

標識への諸事項の標示は、白部に記載するが、空中写真上では白色が膨張するので判読 に支障を来すことはない。なお、管理された作業範囲等においては、必ずしも標示の必要 はなく、また原状回復の必要もない。

(成果等)

第23条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 対空標識点明細票
- 二 対空標識点一覧図
- 三 精度管理表
- 四 その他の資料

第5節 撮影

(要旨)

第24条 撮影とは、UAVを用いて測量用の空中写真を撮影する作業をいい、後続作業に 必要な写真処理工程を含むものとする。

(撮影計画)

第25条 撮影計画は、撮影地域ごとに、要求精度、使用機器、地形形状、土地被覆、気 象条件等を考慮して立案するものとする。

<第25条 運用基準>

- 1 撮影高度は、対地高度に撮影地域内の撮影基準面高を加えたものとする。
- 2 対地高度は、[(要求精度) × (撮像素子上での基線長) / (読み取り精度)]以下とし、地形や土地被覆、使用デジタルカメラ等を考慮して決定するものとする。なお、要求精度は下表のとおりとする。

地図情報レベル	250	500
要求精度	0.06m	0.12m

- 3 撮影基準面は、原則として、撮影地域に対して一つを定めるが、比高の大きい地域に あっては、数コース単位に設定することができる。
- 4 画面距離は、レンズの特性や地形等の状況によって決定するものとする。決定した画 面距離は、撮影終了まで固定するものとする。
- 5 デジタルカメラは、レンズも含め同じものを使用するものとする。
- 6 巡航速度は、空中写真が記録できる時間以上に露光間隔がとれる速度とする。
- 7 同一コースは、直線かつ等対地高度で撮影することを原則とする。
- 8 同一コース内の隣接空中写真との重複度は 60%、隣接コースの空中写真との重複度は 30%を標準とする。
- 9 コースの位置及び隣接空中写真との重複度は、次の各号に配慮するものとする。
 - (1) 実体空白部を生じさせない
 - (2) 隠蔽部ができる限り少なくなるようにする
 - (3) パスポイント及びタイポイントが選点しがたい土地被覆がない
- 10 コースの始めと終わりの地域外に1モデル以上撮影する。
- 1 1 撮影計画は、撮影時の明るさや風速、風向あるいは地形・地物の経年変化等により、 現場での見直しが生じることを考慮しておく。

【解 説】

読み取り精度とは、空中写真上で地形・地物をどの程度の精度で読み取れるかの指標で、明瞭な形状を持つものは画素の 10 分の 1 程度が期待できる。一般には、空中写真の画質や地形・地物の明瞭さにもよるが、数分の 1 と考えられる。なお、機器の性能や撮影の環境は全く異なるが準則では、デジタル航空カメラで撮影した空中写真の読み取り精度は0.5 画素としている。

対地高度は、写真測量の奥行き(高さ)精度の理論式を対地高度が求まるように変形し、 要求精度は数値地形図データの精度の最小値つまり地図情報レベル 250 の水平位置の標準 偏差の半分とした。本来なら標高点の標準偏差を用いるべきところであるが、空中写真測 量では樹木等の被覆により、撮影高度が低くなっても実質的な精度が向上しないため、標 高点の標準偏差は地図情報レベル 250 と 500 は同じ値としてあり、空中三角測量用の精度 基準としては使用できないためである。

パスポイント及びタイポイントを選点しがたい土地被覆としては、濃淡の少ない砂地や 裸地、実体視を困難とする枝葉の状態にある樹木、風で揺れる丈の草地等がある。

写真測量の精度は、一般には次のように表現される。

水平位置の精度=

ボーベース

ボーベース

<br/

標高の精度= 対地高度 画面距離 本対地高度 本読み取り精度

水平位置と標高の精度の違いは 基線長 、いわゆる基線高度比の逆数の違いであり、空中

写真測量では基線高度比は 1 以下の値を取るため、標高は水平位置より精度が低くなる。 従って、写真測量の諸元を決める際には、標高の精度が基準となる。

また、基線高度比は<u>画面距離</u>と同値であるため、標高の精度は次のようにも 撮像素子上での基線長 書ける。

標高の精度= 対地高度 画面距離 画面距離 撮像素子上の基線長

この式を変形することで、カメラの諸元から対地高度を求める次式が導ける。

(UAV)

第26条 UAVは、所要の性能を有するものを使用しなければならない。

<第26条 運用基準>

UAV の性能は、次のとおりとする。

- (1) 手動飛行機能及び自律飛行機能、異常時の自動帰還機能等を装備しているものとする。
- (2) 航行能力は、利用が想定される飛行域の地表風に耐えることができるものとする。
- (3) 撮影時の飛行姿勢、デジタルカメラの水平規正及び写角が確保できるものとする。

【解 説】

航行能力は機体によって異なり、耐風能力も異なってくる。従って、ここでは具体的な 規定としてはいない。

(デジタルカメラ)

第27条 デジタルカメラを構成する本体、レンズ、撮像素子は、所要の性能を有するものを使用しなければならない。

<第27条 運用基準>

- 1 デジタルカメラ本体の性能は、次のとおりとする。
 - (1) 焦点位置、露光時間、絞り、ISO 感度が手動で設定できる。
 - (2) レンズの焦点を調整したり、レンズのブレ等を補正したりする自動処理機能を解除できる。
 - (3) RAW 画像を記録できる。
 - (4) 画面距離や露光時間等の情報が確認できる。
 - (5) 十分な記録容量を確保できる。
- 2 レンズの性能は、次のとおりとする。
 - (1) 単焦点である。
 - (2) 色収差が補正されている。
 - (3) 歪曲収差は系統的である。
- 3 撮像素子の性能は、次のとおりとする。
 - (1) CCD もしくは CMOS 構造である。
 - (2) 素子(ピクセル)の形状は正方形とみなせる。
 - (3) 素子(ピクセル)の数と設置間隔がわかる。
 - (4) グローバルシャッタもしくは同等の機能を有する。

【解 説】

本章では、共線条件がなりたたないレンズを装備したカメラや歪みが系統的でないカメラは対象としていない。カメラの良否は空中写真測量に大きな影響を与えるため、どのようなカメラを採用するかは実際の測量に従って検証するなど、慎重に行う必要がある。

空中写真の記録形式は、RAW 画像とし、非圧縮で TIF 等の形式に変換して空中三角測量等に利用されることを前提としている。なお、RAW 画像には Exif と呼ばれる露光時間や絞り、ISO 等の情報が格納されており、これらの情報も変換した画像に保持させる必要がある。

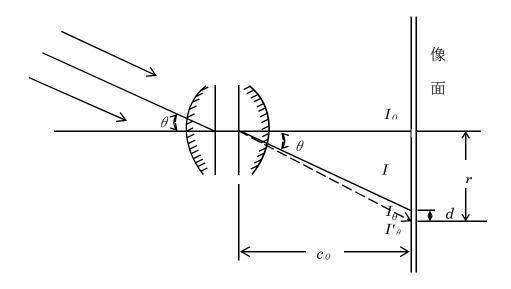


図 4 レンズの構造

理想的なレンズでは、入射角 θ の平行光は、像面上の光軸点 I_0 から c_0 $\tan\theta$ だけ離れた点 I_θ に像を結ぶ。たが、実際のレンズでは、歪曲収差のため点 I_θ から d だけずれた点 I_θ に像を結像される、このズレ d は入射角 θ での平行光の放射方向歪曲収差(ラジアルディストーション)とよばれ、カメラにおける代表的な歪みである。この他、歪みには接線方向歪曲収差(タンジェンシャルディストーション)や画面距離、主点位置のズレ等があり、これらの量が大きく、そのままでは要求精度を得られない場合には、その量を求め(キャリブレーション)、後処理で補正しなければならない。

民生用デジタルカメラであってもキャリブレーションを行って画面距離やレンズ収差、主点のズレ等を解析し、これらの値を使って空中三角測量や空中写真の標定の補正を行うことによって、計測カメラとして使用できるといわれている。その際、カメラのキャリブレーション時の状態で保持する必要があるとともに、レンズや撮像素子等のカメラの内部の機構が動かないようにしておかなければならない。内部機構が動かない対策のひとつとして、レンズは単焦点としている。また、ビニールテープ等でフォーカスリングを固定するなどの対策が必要となる。ズームレンズは、内部の機構を固定できる保証がないため、本章では規定していない。

撮像素子とは CCD や CMOS センサ自体をいい、素子とは撮像素子を構成する光の受光する電極をいう。

本マニュアルでは、現状の UAV の積載量などを考慮して民生用デジタルカメラの利用を想定しているが、産業用などのカメラであっても軽量化や露光制御等の UAV への対応が進んで搭載が可能となるとともに所定の精度が得られれば利用は可能となる。

(空中写真の地上画素寸法)

第28条 空中写真の地上画素寸法は、地図情報レベル等に応じて定める。

<第28条 運用基準>

1 空中写真の地上画素寸法と地図情報レベルとの関連は、次表に掲げるものを標準とする。なお、式中の α は読み取り精度[画素]の逆数、b:撮像素子上の基線長[mm]、c:画面 距離[mm]とし、 α は使用するデジタルカメラと撮影時の設定によって決定するものとする。

地図情報レベル	地上画素寸法[mm]						
250	$90 \times \alpha \times b \div c \sim 120 \times \alpha \times b \div c$						
500	$180 \times \alpha \times b \div c \sim 240 \times \alpha \times b \div c$						

2 読み取り精度は、対地高度、使用機器、土地被覆あるいは測量対象等によって決定するものとする。

【解 説】

空中写真の地上画素寸法は、地図情報レベル毎に規定された数値地形図データの要求精度から決定するのが基本であるが、安全面に配慮する必要もある。

地上画素寸法を求める計算式は、準則の規程に準拠している。ただし、基線高度比(b÷c)はカメラ側で求めるように変形している。

読み取り精度は、対地高度や素子寸法、色の作り方、画像の圧縮率、土地被覆あるいは 測量対象等によって変わり、撮影の対地高度が低くなるほど、素子寸法は小さいほど、色 の作り方は複雑になるほど、画像の圧縮率が高くなるほど、土地被覆の濃淡が少ないある いは測量対象が不明瞭なほど、悪くなる。

(撮影時期)

第29条 撮影は、原則として、撮影に適した時期及び時間で、気象状態が良好なときに 行うものとする。

<第29条 運用基準>

撮影は、次の各号に留意して行うものとする。

- (1) 強風がない
- (2) 明るい
- (3) 陰が濃くない

【解 説】

撮影は飛行しながら行なわれるため、安定して飛行できる環境が求められる。つまり、

風は強くないことが望ましい。

飛行しながらの撮影では、画像のブレをできるだけ少なくするため、露光時間は短くすることが望ましい。露光時間を短くするためには、明るさが必要となる。

十分に明るい状況であっても、太陽の位置が低くて陽の当たる場所と陰になる場所のコントラストが大きいと影が濃くなって、その部分の写りが悪くなる。

この他、撮影が好ましくない条件としては、突風の恐れがある場合、降雨や降雪等がある。

風の強さを確認する方法には、気象庁が出しているビューフォート風力階級表がある。

(カメラキャリブレーション)

- 第30条 デジタルカメラは、カメラキャリブレーションを行ったものでなければならない。
- 2 カメラキャリブレーションは、三次元のターゲットを用いて行うことを原則とする。
- 3 デジタルカメラは撮影が終了するまで、カメラキャリブレーションをした状態を維持 するものとする。
- 4 カメラキャリブレーションで作成する誤差モデルは、これを使用するソフトに適合していなければならない。

<第30条 運用基準>

- 1 カメラキャリブレーションにより求める値は、画面距離、画像中心からの主点位置の ズレ、放射方向の歪み量、接線方向の歪み量を原則とする。
- 2 カメラキャリブレーション結果における画像座標の残差は、0.1 画素以内とする。
- 3 誤差モデルは、バンドル調整プログラムに適したものでなければならない。
- 4 カメラキャリブレーションは、撮影前あるいは撮影後のいずれかに実施する。
- 5 二次元ターゲットを用いてカメラキャリブレーションを行う場合は、三次元ターゲットと同様に異なる方向からターゲットを撮影し、画面距離を正しく補正しなければならない。

【解 説】

民生用デジタルカメラを測量に利用するには、画面距離や画像中心からの主点位置のズレ、レンズの歪みといった内部定位を固定し、これらの値を把握し、後処理で使用されるソフトで利用できるようにしなければならない。これらの値を求めることをカメラキャリブレーションという。

二次元ターゲットを用いてカメラキャリブレーションを行う場合は、二次元ターゲット に歪みを生じさせないなど、二次元ターゲット自体の取扱いにも注意が必要である。

内部定位を固定するには、オートフォーカスや手ぶれ補正等、内部の機構を動かす機能

を解除するとともに、フォーカスリングといったレンズを動かす機構をテープ止めしたり しなければならない。

カメラキャリブレーション結果は、カメラがテープ止め等により内部定位が固定されれば繰り返し撮影に利用できるが、撮影時の振動などの影響も受けたり、誤って内部の機構を動かす操作を行ったりすることも考えられる。従って、カメラキャリブレーション結果の有効期間は規定していない。細心の注意を払って利用する必要がある。

誤差モデルは、Brown が 1971 年に発表したもっとも一般的に使われている式をはじめ、 Ebner、EL-Hakim、村井他等多くの式が存在する。これらは多くが、測量用の航空カメラ を対象として開発されたものである。

(機器の点検と撮影計画の確認)

第31条 飛行させるにあたっては、撮影計画の実際への適合性を確認する飛行を行い、 機器の点検と撮影計画の確認を行うものとする。

<第31条 運用基準>

- 1 機器の点検は、次の各号について行う。
 - (1) バッテリー
 - (2) モータ
 - (3) アンプ
 - (4) ネジの締め付け
 - (5) 機体のバランス
 - (6) 送信機のバッテリー容量
 - (7) デジタルカメラの設定
 - (8) レンズ表面へのゴミの付着
- 2 撮影計画の較正は次の各号について行う。
 - (1) 撮影高度
 - (2) 露光時間
 - (3) 感度
 - (4) 自動機能の解除
 - (5) 画像記録の設定
 - (6) 経年変化による撮影コース、対地高度の見直し

【解 説】

撮影を行うにあたっては、いきなり飛行させるのではなく、機器の調子や設定の状況、 計画と実際の違い等を確認する簡単な飛行を行う。機器は、気温や移動中の振動の影響を 受けたりしている可能性がある。機体や飛行計画やカメラの設定項目は多く存在するとと もに、常に同じ状態とはならない。計画に用いた地図情報が、現地の状況を正確に表しているとは限らない。確認飛行は、バッテリーや風速の状態が逐次変わっていくため、撮影飛行の直前に毎回行うものとした。

バッテリーは見かけ上と実際の蓄電容量が異なることがある。

撮影高度は、標高に対地高度を加えて決定される。標高は、撮影計画に使われる Web 配信の地図では、精度が低いこともあり、適切な撮影高度での飛行とならない場合がある。また、UAV による撮影は低高度からの僅かな範囲の撮影であるため、僅かな高度の違いが重複度に大きく影響を与える。

露光時間は、明るさによって決定する必要がある。また、露光時間の設定によっては、 画像へのブレの混入を防ぐために、飛行速度を調整する必要もある。

感度(ISO 感度の数値)を上げることは、撮像素子から読み出される信号を増幅させることに相当し、増幅させすぎると信号に含まれるノイズも顕著となり、画像にざらつきが生じることとなる。なお、発生するノイズの量はカメラごとに異なるため、事前に実際の撮影条件と同じ条件でテストを行い、ノイズの発生量を確認して感度を決めておくことが望ましい。

(撮影飛行)

- 第32条 撮影飛行は、次の各号に従って行うものとする。
 - 一 計画撮影高度及び計画撮影コースを保持するものとする。
 - 二 離着陸以外は、自律飛行で行うことを原則とする。
 - 三 機体に異常が見られた場合は、ただちに撮影飛行を中止する。
 - 四 他の UAV 等の接近が確認された場合には、ただちに撮影飛行を中止する。

<第32条 運用基準>

撮影した画像は、RAW 画像で記録することを原則とする。

(撮影結果の点検)

- 第33条 撮影の直後に、撮影結果の点検を行うものとする。
- 2 撮影結果の点検は、次の各号について行うものとする。
 - 一 撮影範囲
 - 二 空中写真の画質
 - 三 隣接空中写真間の重複度
 - 四 隣接空中写真間の地上画素寸法較差
 - 五 隠蔽部の範囲
 - 六 対空標識の有無

<第33条 運用基準>

- 1 空中写真の画質は、露光不足、露光過多、ボケ、ブレについて行うものとする。
- 2 空中写真間の重複度は、空中写真を撮影された関係で並べて点検するものとする。
- 3 隠蔽部の有無は、立体図化に障害がないかを点検するものとする。
- 4 光輝暗影は、図化に必要となる項目が判読できるかを点検するものとする。

【解 説】

RAW 画像はメーカ独自の画像形式で記録されるため、点検や空中写真測量に使用するには TIF 等の形式に変換する必要がある。

空中写真間の重複度を点検することにより、空中写真の落ちや立体空白部も明らかになる。また、重複度が満たされていれば、コースや主点位置のズレは許容できることとなる。 立体モデルを構成する空中写真間において地上画素寸法の差が大きいと、図化がしづらくなる。

(再撮影)

- 第34条 立体空白部や現地調査で補えない隠蔽部・暗影光輝が存在する場合には、それ らの箇所を再撮影するものとする。
- 2 再撮影は、次の各号によるものとする。
 - 撮影コースは、隠蔽・暗影光輝が生じない位置とする。
 - 二 撮影範囲は、当該箇所の前後に1モデル以上を加えたものとする。

<第34条 運用基準>

再撮影の撮影方向は、隠蔽部あるいは暗影光輝が最も緩和される方向に設定するものと する。

(成果等)

第35条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- ー カメラキャリブレーションデータファイル
- 二 空中写真
- 三 撮影記録
- 四 撮影標定図
- 五 精度管理表
- 六 その他の資料

<第35条 運用基準>

カメラキャリブレーションデータには、誤差モデルの記述が含まれるものとする。

第6節 空中三角測量

(要 旨)

第36条 空中三角測量とは、標定点、パスポイント及びタイポイントの写真座標、カメ ラキャリブレーションデータを用いて、空中写真の外部標定要素及びパスポイント、タ イポイントの水平位置と標高を決定する作業をいう。

(パスポイント及びタイポイントの選点)

- 第37条 パスポイントは、同一コースで連続する空中写真間を連結する点、タイポイントは隣接コースの空中写真間を連結する点に分けて選定するものとする。
- 2 パスポイント及びタイポイントの選定は、空中写真間の連結が理論的に最も堅ろうとなる配置で、空中写真上で明瞭に認められる位置とすることを原則とする。

<第37条 運用基準>

- 1 パスポイントの配置は、次の各号によるものとする。
 - (1) 主点付近及び主点基線に直角な両方向の3箇所以上を標準とする。
 - (2) 主点基線に直角な方向は、上下端付近の等距離に配置することを標準とする。
- 2 タイポイントの配置は、次の各号によるものとする。
 - (1) 1 モデル毎に等間隔かつジグザグに配置することを標準とする。
 - (2) パスポイントで兼ねることができる。

(標定点とパスポイント及びタイポイントの観測)

第38条 標定点、パスポイント及びタイポイントの写真座標は、立体視で観測すること を原則とする。

<第38条 運用基準>

パスポイント及びタイポイントは、その点が写っている全ての空中写真で観測すること を原則とする。

【解 説】

空中写真を堅固に連結するには、前条に規定する配置でパスポイント及びタイポイントを取得する必要がある。しかしながらパスポイント及びタイポイントを取得する位置に、明瞭な地物が存在するとは限らない。このような状況で取得するには、立体視をしながら手動で観測する必要がある。自動で取得した場合には、立体視による確認や空中三角測量ソフトの異常値検索機能などにより、点検する必要がある。

パスポイント及びタイポイントは、写っている全ての空中写真で観測することによって 自由度をなくし、堅固なモデルを作れることになる。

(調整計算)

第39条 カメラキャリブレーションデータ及び標定点、パスポイント及びタイポイントの写真座標を用い、バンドル法により調整計算を行い、各空中写真の外部標定要素及びパスポイント及びタイポイントの水平位置と標高を求めるものとする。

<第39条 運用基準>

- 1 調整計算を行う前には、多項式法あるいはバンドル調整法の異常値検索機能により過誤を検出し、観測値を点検するものとする。
- 2 調整計算では、原則として、セルフキャリブレーションは行わないことを原則とする。
- 3 標定点の水平位置及び標高の残差は、どちらも標準偏差及び最大値ともに次表の値以内とする。

地図情報レベル	標準偏差[m]	最大値[m]
250	0.06	0. 12
500	0. 12	0.24

- 4 パスポイント及びタイポイントの交会残差は、標準偏差が 1.5 画素以内、最大値が 3.0 画素以内とする。
- 5 大気屈折及び地球曲率の影響の補正は、行わないものとする。
- 6 セルフキャリブレーション付きの調整計算を行った場合には、セルフキャリブレーションデータを更新し、数値図化時のステレオモデル構築に再現できるようにしなければならない。
- 7 調整計算は、原則として、単一ブロックとして行うことを原則とする。

【解 説】

大気屈折及び地球曲率の影響の補正は、撮影範囲が狭いこと、対地高度が低いことから、 必要とはしない。

標定点残差の標準偏差及び最大値は、準則で規定するフィルム航空カメラの規程(対地高度に対し標準偏差は0.02%、最大値は0.04%)としている。これらの結果を踏まえ、空中写真測量で規定されていない地図情報レベル250は、地図情報レベル500の半分としている。

地図情報	撮影絲	撮影縮尺の分母 対地高度		撮影縮尺の分母		対地高度(150mmレンズ)		(0. 029	%	(0.049	%
レベル	最大	\sim	最小	最小 [m]	\sim	最大 [m]	最小 [m]	\sim	最大 [m]	最小 [m]	\sim	最大 [m]	
250	_	\sim	_	_	\sim	_	0.05	\sim	0.06	0.09	\sim	0. 12	
500	3,000	\sim	4,000	450	\sim	600	0.09	\sim	0.12	0.18	\sim	0. 24	

調整計算が収束しない場合には、理由としてはカメラやカメラキャリブレーション、標 定点、パスポイント・タイポイントなどに問題があると考えられる。したがって、例えば パスポイント・タイポイントの観測精度を上げるなどの見直しが必要となる。ただし、調 整計算を収束させるためにセルフキャリブレーションを導入したり、標定点の配置を見直 したりしても、見かけ上の精度が向上だけのこともあるため、注意が必要である。

(成果等)

第40条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 外部標定要素成果表
- 二 パスポイント、タイポイント成果表
- 三 空中三角測量作業計画、実施一覧図
- 四 写真座標測定簿
- 五 調整計算簿
- 六 精度管理表
- 七 その他の資料

第7節 現地調査

(要 旨)

- 第41条 現地調査とは、空中写真で判読が困難な各種表現事項、名称等、他の地物に隠蔽された箇所を、現地にて調査する作業をいう。
- 2 現地調査を行うにあたっては、現地調査の着手前に撮影計画や各種既存資料を元に、 予察を行うものとする。

【解 説】

現地調査には、撮影した空中写真をモザイクしたり正射変換して使用することもできるが、画像が変形して誤判読とならないように作成する必要がある

(現地調査の実施)

- 第42条 現地調査は、予察の結果に基づいて空中写真及び各種資料を活用し、次に掲げるものについて実施するものとする。
 - 一 予察結果
 - 二 空中写真上で判読困難な箇所の地図項目
 - 三 空中写真上で判読不能な地図項目
 - 四 標定点

<第42条 運用基準>

- 1 現地調査を行うにあたっては、次の事項に留意するものとする。
 - (1) コントラストが低い地物間の境界

- (2) 接触する建物の区画
- (3) 空中写真上で不明瞭な植生及び植生界
- (4) 凹地、がけ、岩等の表現上誤り易い地形
- 2 記号や注記は、ステレオモデルの向きに合わせて整理するものとする。
- 3 現地調査を分割して行う場合には、接合のやり取りを予め取り決めておくものとする。

(整 理)

第43条 調査結果は、数値図化及び数値編集作業時に参照しやすいように整理するものとする。

<第43条 運用基準>

現地調査の結果は、相互関係がわかるように整理することを原則とする。

(成果等)

第44条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 現地調査結果を整理した空中写真
- 二 その他の資料

第3編 UAV を用いた応用測量

第1章 概説

(要 旨)

第45条 本編はUAVを用いた応用測量の作業方法等を定める。

- 2 「UAV を用いた応用測量」とは、UAV を用いて三次元点群データ等を作成する作業をいう。
- 3 「三次元点群データ」とは、地形に係わる情報の水平位置、標高に加え、作成された 時点での土地被覆の色を属性として、計算処理が可能な状態として表現したものをい う。

【解 説】

- 1 UAV 等を用いた公共測量から作成した三次元データを活用して、準則第4編第2章路 線測量及び第3章河川測量の縦断面図データファイル及び横断面図データファイルを作 成することができる。なお、許容範囲等の精度は、準則第4編第2章路線測量及び第3 章河川測量による。
- 2 路線測量において UAV を用いる場合には、標定点の設置をもって主要点と中心点の 設置に代えることができる。また、縦断測量のための標杭及び横断測量のための見通杭 は省略することができる。
- 3 河川測量において UAV を用いる場合には、標定点の設置をもって距離標の設置に代えることができる。

(工程別作業区分及び順序)

第46条 工程別作業区分及び順序は、次のとおりとする。

- 一 作業計画
- 二 標定点及び検証点の設置
- 三 対空標識の設置
- 四 撮影
- 五 三次元形状復元
- 六 数值編集
- 七 三次元点群データファイルの作成
- 八 成果等の整理

(三次元点群データの精度)

- 第47条 三次元点群の平面位置及び高さの要求精度は、誤差が最大でも 0.05mを超えない ものとする。
- 2 これ以外の要求精度で三次元点群データを作成する場合は、その精度に応じて標定点間 隔や標定点の残差及び検証点の誤差、地上画素寸法等を適宜読み替えるものとする。

【解 説】

本マニュアルの第3編では、誤差が最大でも0.05mを超えない三次元点群データを必要とする場合の撮影画像の地上画素寸法や標定点・検証点について記載している。

より高い精度の三次元点群データを必要とする場合は、地上画素寸法も細かくなるため 撮影高度は低くなる。また、標定点・検証点の点数も増加する。より低い精度とする場合 は、各許容範囲の値は緩和される。

(適用地区)

第48条 UAV を用いた応用測量は、土工現場における裸地等、特徴点や標高を自動抽出 しやすいと考えられる地区に適用することを原則とする。

<第48条 運用基準>

特徴点や標高の自動抽出が困難な場合は適切な措置をとるものとする。

【解 説】

具体的な適用地区は、土木工事現場等が想定されている。

濃淡の少ない被覆の土地や土地被覆の形状が変化する土地では、対空標識を設置することなどにより自動抽出の性能を向上させることができる。このような措置がとれれば、濃淡の少ない土地でも三次元形状復元ソフトによる三次元点群データの作成性能は向上する。

濃淡の少ない土地とは、一概には言えないが、状況に応じて真っ新な砂地や打設直後の アスファルト面等が該当することがあると考えられる。

土地被覆の形状が変化する土地とは、丈の揃った同一植生が風に揺れている状況等が該当する。

また、水面は、均質に濁った状態では濃淡の少ない土地のように写り、さざ波が立っていたり流れている状態では光の反射が異なり変化しているように写る。

第2章 UAV を用いた空中写真による三次元点群測量

第1節 要旨

(要 旨)

第49条 「UAV を用いた空中写真による三次元点群測量」とは、無人航空機を用いて撮影した空中写真から三次元形状復元ソフトにより三次元点群データファイルを作成する作業をいう。

【解 説】

本章で規定する UAV を用いた空中写真による三次元点群測量では、現状の三次元点群測量への UAV の適用状況を踏まえ、GNSS/IMU 装置は装備されていないものとして規定している。しかしながら、近い将来には装備されれば、三次元形状復元の性能は大きく向上するものと思われるため、それに応じた測量方法に見直していく必要がある。

三次元形状復元ソフトとは、空中写真から SfM (Structure from Motion) により特徴点を抽出して撮影状態を求めるとともに、撮影状態に基づき MVS(Multi View Stereo)により空中写真から高密度に三次元点群を抽出し、三次元形状を復元するものである。

第2節 作業計画

(要 旨)

第50条 作業計画は、第4条の規定によるほか、工程別に作成するものとする。

第3節 標定点及び検証点の設置

(要 旨)

- 第51条 標定点及び検証点の設置とは、空中写真の撮影状態の再現に必要となる点(以下「標定点」という。)及び三次元点群データの検証に必要となる点(以下「検証点」という。)を設置する作業をいう。
- 2 標定点及び検証点は、水平位置及び標高を保持するものとする。

【解 説】

標定点と検証点は、配置と役割は異なるが、仕様は全く同じである。

通常の測量においては、精度検証後に、検証点を標定点に変更して再計算することにより、精度が向上する。しかしながら、三次元形状復元ソフトでは、精度が低下する場合もあり、このような処理は、三次元形状復元ソフトの性質、作業時間等を考慮して行わなければならない。

(方 法)

- 第52条 標定点及び検証点は、基本測量又は公共測量の基準点に従って設置された基準 点(以下「既知点」という。)から次の各号のうち、いずれかの観測方法により設置する ことを原則とする。
 - 一 TSによる放射法
 - 二 キネマティック法
 - 三 RTK法(直接観測法又は間接観測法)
 - 四 ネットワーク型 RTK法(直接観測法又は間接観測法)

<第52条 運用基準>

観測方法、観測回数、データ取得間隔等は、準則第92条に規定されたTS点の設置方法により行うものとするが、標定点と検証点の精度が確保できる場合は、これらを変更してもよい。

【解 説】

TSによる放射法は、既知点にトータルステーションを設置し、標定点あるいは検証点の水平角、鉛直角、距離を測定する方法である。標定点あるいは検証点にトータルステーションを設置する必要はない。準則第92条(TS等を用いるTS点の設置)では、「観測は第37条第2項第一号の4級基準点測量の規定を準用して放射法又は同等の精度を確保できる方法(以下「放射法等」という。)により行うものとする。」と規定されている。しかし、4級基準点測量の観測方法をそのまま用いると、既知点と標定点等との距離が短い場合、過大な観測が行われる場合が多いと想定されるため、本マニュアルの運用基準で「精度が確保できる場合は、これらを変更してもよい。」としている。

なお、4 級基準点測量では、角度の読定単位が20''、距離の読定単位が1mm である4 級以上のトータルステーションを使用し、下記の観測を行うと規定している。

- (1) 水平角の観測は、水平目盛位置の 0°と 90°の 2 対回により行う。
- (2) 鉛直角の観測は、1 対回により行う。
- (3) 距離の測定は、2 セットにより行う。

キネマティック法は、基準となる GNSS 測量機を整置する観測点(以下「固定局」という。)及び移動する観測点(以下「移動局」という。)で、同時に GNSS 衛星からの信号を受信して初期化(整数値バイアスの決定)等に必要な観測を行う。その後、移動局を複数の観測点に次々と移動して観測を行い、それに基づき固定局と移動局の間の基線ベクトルを求める観測方法である。

RTK 法は、固定局及び移動局で同時に GNSS 衛星からの信号を受信し、固定局で取得した信号を、無線装置等を用いて移動局に転送し、移動局側において即時に基線解析を行うことで、固定局と移動局の間の基線ベクトルを求める。その後、移動局を複数の観測点

に次々と移動して、固定局と移動局の間の基線ベクトルを即時に求める観測方法である。

ネットワーク型 RTK 法は、配信事業者(国土地理院の電子基準点網の観測データ配信を受けている者又は、3点以上の電子基準点を基に、測量に利用できる形式でデータを配信している者をいう。以下同じ。)で算出された補正データ等又は面補正パラメータを、携帯電話等の通信回線を介して移動局で受信すると同時に、移動局で GNSS 衛星からの信号を受信し、移動局側において即時に解析処理を行って位置を求める。その後、複数の観測点に次々と移動して移動局の位置を即時に求める観測方法である。

なお、RTK 法及びネットワーク型 RTK 法は、これらの観測方法である直接観測法あるいは間接観測法のいずれかで行う。

直接観測法及び間接観測法は、準則第37条で次のとおり規定している。

- (1) 直接観測法は、配信事業者で算出された移動局近傍の任意地点の補正データ等と移動局の観測データを用いて、基線解析により基線ベクトルを求める観測方法である。
- (2) 間接観測法は、次の方式により基線ベクトルを求める観測方法である。
 - (i) 2台同時観測方式による間接観測法は、2か所の移動局で同時観測を行い、得られたそれぞれの三次元直交座標の差から移動局間の基線ベクトルを求める。
 - (ii) 1 台準同時観測方式による間接観測法は、移動局で得られた三次元直交座標とその後、速やかに移動局を他の観測点に移動して観測を行い、得られたそれぞれの三次元直交座標の差から移動局間の基線ベクトルを求める。なお、観測は、速やかに行うとともに、必ず往復観測(同方向の観測も可)を行い、重複による基線ベクトルの点検を実施する。

(標定点及び検証点の配置)

- 第53条 標定点は、三次元点群データの精度の低下を避けるため、計測対象範囲の形状、 比高が大きく変化するような箇所、地表面の粒度を考慮し、空中写真が標定点を介して 既知点と堅ろうに結びつくように配置するものとする。
- 2 標定点とは別に計測データを点検するための検証点を配置する。

<第53条 運用基準>

- 1 標定点の配置は、次のとおりとする。
 - (1) 標定点は、三次元点群データを必要とする範囲を囲むように配置する。また、外部標定点、内部標定点、高高度標定点、低高度標定点で構成される。
 - (2) 外部標定点は、計測対象範囲を包括するように、概ね辺長 100m 以内で結んで構成 される多角形の内側に入るように配置することを標準とする。
 - (3) 内部標定点は、計測対象範囲内に配置する。外部標定点と内部標定点から適切に構成された三角網の全ての辺長は概ね 200m 以内であること。
 - (4) 高高度標定点は、計測対象範囲の標高の高い部分に1点、低高度標定点は、低い部

分に1点配置する。なお、これらの標定点は、外部標定点、内部標定点と兼ねること ができる。

- (5) 傾斜の急な法面等の比高が大きく変化する部分は、計測精度が低下する可能性があるため、上段及び下段、あるいはいずれかに配置する。また、地表面の粒度が細かく、 模様の変化が乏しい部分も計測精度が低下する可能性があるため配置する。なお、これらの標定点は、外部標定点、内部標定点と兼ねることができる。
- (6) 標定点の総数は、最低4点とする。
- 2 検証点の配置は、次のとおりとする。
 - (1) 検証点は、外部検証点、内部検証点からなる。
 - (2) 外部検証点は隣接する外部標定点を結ぶ線分(以下、単に「線分」という)の中間付近に、線分1つおきに1点を配置する。なお、特に精度を検証すべき部分がある場合等は、概ね線分に直交する方向に位置を適宜ずらすことができ、計測対象範囲の内側に配置してもよい。
 - (3) 内部検証点は標定点から離れた場所に配置する。
 - (4) 内部検証点は $0.04~\mathrm{km}^2$ あたり 1 点を配置する。ただし、点数の端数は、四捨五入する。
 - (5) 内部検証点は計測対象範囲の内側にできるだけ均等に配置する。ただし、特に精度を確認する必要がある場所に配置することもできる。
 - (6) 検証点の総数は、最低2点とする。
 - (7) 検証点は、原則として、平坦な場所又は傾斜が一様な場所に配置する。
- 3 三次元点群データの要求精度を第 47 条の規程としない場合は、下記の例を参考とする。

要求精度	最大誤差 0.05 m 以内	最大誤差 0.1 m 以内	最大誤差 0.2m 以内
運用基準 1(2):外部標定点	概ね辺長 100 m 以内	概ね辺長 100 m 以内	概ね辺長 200 m 以内
運用基準 1(3): 内部標定点	概ね辺長 200 m 以内	概ね辺長 400 m 以内	概ね辺長 600 m 以内
運用基準 2(4): 内部検証点	0.04 km ² あたり 1 点	0.16 km ² あたり 1 点	0.36 km ² あたり 1 点

【解 説】

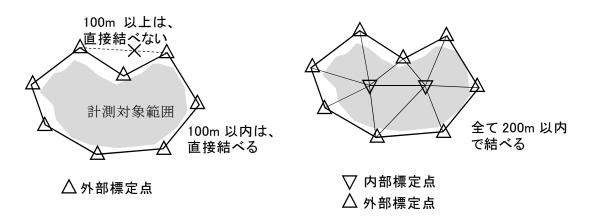
粒度とは、写真の画素ではなく施工面を覆う地物の砂等を想定している。

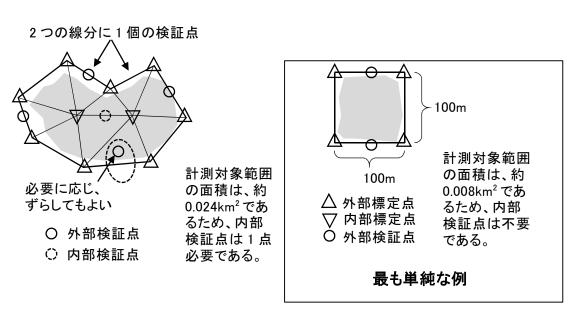
5 に標定点の配置の事例を示す。全ての例で、高高度標定点、低高度標定点、高高度検証点、低高度検証点は、他の標定点、検証点と兼ねているものとする。

撮影範囲は、計測対象範囲を内包し、全ての標定点及び検証点を撮影できるように設定される。計測対象範囲は、最終成果である三次元点群データファイルを必要とする範囲で

ある。

なお、内部検証点は、三次元点群データを必要とする範囲が 0.01 km² より広い場合、面積に比例して点数は増加する。





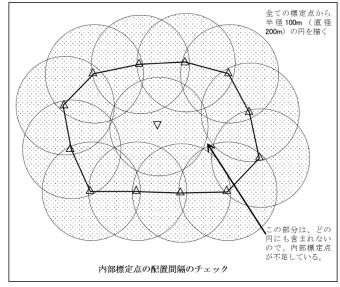


図 5 標定点の配置の事例

(成果等)

第54条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 標定点及び検証点の成果表
- 二 標定点及び検証点の配置図
- 三 標定点及び検証点の測量簿及び同明細簿
- 四 精度管理表
- 五 その他の資料

【解 説】

成果等の様式は、準則第3編第3章第3節に規定されている標定点の設置に用いられる ものを使用する。

第4節 対空標識の設置

(要 旨)

第55条 「対空標識の設置」とは、標定点及び検証点の写真座標を測定するため、標定 点及び検証点に一時標識を設置する作業をいう。

(対空標識の規格及び設置等)

第56条 対空標識は、拡大された空中写真上で確認できるように形状、寸法、色等を選 定するものとする。

<第56条 運用基準>

対空標識は、次の形状を標準とする。









○型

- 2 対空標識の辺長あるいは円形の直径は5画素以上とする。
- 3 対空標識は白黒を標準とし、状況により変更することができる。
- 4 対空標識の上空は、天頂からおおむね 45 度以上の視界が確保されていなければなら ない。
- 5 検証点の対空標識は、地表面に設置することを原則する。

【解 説】

標定点及び検証点位置を、頂点で示した三角や矩形模様の対空標識は手動で、円の中心

で示した円形の対空標識は自動で、それぞれ観測されることを原則としている。この他、 自動抽出のために特殊な形状を用いる場合には、自動抽出を損なわないように地上画素寸 法にも配慮する必要がある。

対空標識の辺長や直径は、空中写真上で認識できる最低限の大きさを想定している。これらはより大きいほど観測しやすくなるが、経済性や足場の安全確保に考慮して決定する必要がある。

(成果等)

第57条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 対空標識点明細票
- 二 対空標識点一覧図
- 三 精度管理表
- 四 その他の資料

【解 説】

成果等の様式は、準則第3編第3章第4節に規定されている対空標識の設置に用いられるものを使用する。

第5節 撮影

(要 旨)

第58条 撮影とは、UAVを用いて三次元形状復元用の空中写真を撮影する作業をいい、 後続作業に必要な写真処理工程を含むものとする。

(撮影計画)

- 第59条 撮影計画は、撮影地域ごとに、撮影基準面、撮影高度、空中写真の重複度、撮影コースの方向、コース数等を決定する。その際、三次元点群データの要求精度、使用機器、地形形状、土地被覆、気象条件等を考慮して立案するものとする。
- 2 撮影高度は、撮影基準面からの高度をいう。三次元点群データの高さの誤差が最大でも 0.05 m を超えないものとするとき、地上画素寸法が 0.01 m となるように、使用するカメラの画素サイズと焦点距離から決定する。
- 3 空中写真の重複度は、空中写真間の整合処理の確実さに影響するため、同一コース内の隣接空中写真間で 90%以上、隣接コースの空中写真間で 60%以上とする。

<第59条 運用基準>

1 撮影基準面は、原則として、撮影地域に対して一つを定めるが、比高の大きい地域に

あっては、撮影高度を一定とするために、数コース単位に異なる高さで設定することができる。

- 2 撮影高度は、三次元点群データの高さ精度によって決定される地上画素寸法と使用するカメラの1画素のサイズとの比例関係に対応して、使用するカメラの焦点距離から決定する。なお、焦点距離は、レンズの特性や地形等の状況によって決定するものとする。
- 3 UAV の飛行速度は、空中写真の記録に要する時間以上の露光間隔が設定できる速度と する。
- 4 重複する空中写真間の地上画素寸法の差は極端に大きくしないものとする。
- 5 撮影計画は、撮影時の明るさや風速、風向あるいは地形・地物の経年変化等により、 現場での見直しが生じることを考慮しておくものとする。
- 6 計測対象範囲外に、少なくとも1枚分の空中写真が撮影されるものとする。
- 7 三次元点群データの要求精度を第 47 条の規程としない場合は、下記の例を参考とする。

要求精度	最大 0.05 m 以内	最大 0.1 m 以内	最大 0.2 m 以内
地上画素寸法	0.01 m	0.02 m	0.03 m

【解 説】

撮影基準面は、計測対象地域を代表する水平面であり、撮影高度、地上画素寸法、重複度を計算する際の基準となる高さを示す面である。すなわち、ここでの撮影高度は撮影基準面からの高度を、地上画素寸法は撮影基準面上での画素寸法を示す。

撮影高度を求める計算式は、次のとおりである。

「撮影高度= (地上画素寸法/使用カメラの1画素あたりのサイズ) ×焦点距離」例として、地上画素寸法 0.01 m、使用カメラの1画素あたりのサイズ 0.000006m、焦点距離 0.035mの場合は、撮影高度は約 60m となる。

空中写真を重複させることで、高さデータを得るための演算処理を行うため、重複の生じない部分(実体空白部)がないように配慮する。また、三次元形状復元ソフトは、精度の向上、あるいは精度安定のために、特徴点の観測数を増やすことが戦略として取り入れられている。そのため、低い高度から撮影して空中写真の地上画素寸法を小さくしたり、重複度を増やして特徴点の数を増やしたりすることが、精度向上などに有効である。

撮影コースの方向は、計測対象範囲の形状を鑑みて、コース数の少ない方向を選定するが、比高の大きい場合や撮影日の風向にも影響される。

撮影のイメージを図 6 に示す。空中写真は、計測対象範囲の全てを網羅する必要があるため、運用基準第 6 項に従い、計測対象範囲外に 1 枚分の空中写真が撮影されるように計画されている。

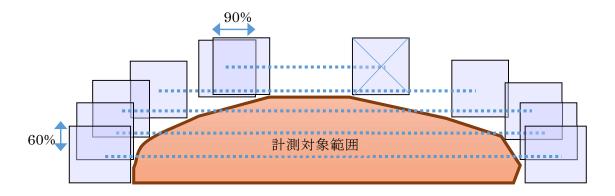


図 6 撮影の概念

(UAV)

第60条 UAVは、次の性能を有するものを使用することを基本とする。

- 一 手動飛行機能及び自律飛行機能、異常時の自動帰還機能等を装備している。
- 二 航行能力は、利用が想定される飛行域の地表風に耐えることができる。
- 三 撮影時の飛行姿勢、デジタルカメラの水平規正及び写角が確保できる。

(デジタルカメラ)

第61条 デジタルカメラは、所要の性能を有するものを使用するものとする。

<第61条 運用基準>

- 1 レンズの光軸(主点位置)のずれ、放射方向歪曲収差(ラジアルディストーション)、接線方向歪曲収差(タンジェンシャルディストーション)を内包する幾何学的位置のずれは、カメラキャリブレーション後、画像座標の標準偏差として 0.5 画素以内であること。
- 2 デジタルカメラ本体の性能は、次のとおりとする。
 - (1) 画面距離、露光時間、絞り、ISO 感度が手動で設定できることを標準とする。
 - (2) 焦点の調整、ブレ防止等の補正機能を解除できる。ただし、オートフォーカスでの 撮影が適切であると判断される場合は、焦点の調整を解除できなくてもよい。
 - (3) 画面距離や露光時間帯等の情報を記録できる。
 - (4) 十分な記録容量を確保できる。
- 3 レンズは、単焦点とする。
- 4 撮像素子の性能は、次のとおりとする。
 - (1) CCD もしくは CMOS 構造である。
 - (2) 素子(ピクセル)の形状は正方形とみなせる。
 - (3) 素子(ピクセル)の数と設置間隔がわかる。

【解 説】

運用基準第1項に関しては、第63条の解説を参考とすること。

運用基準第3項に関して、可動部分を物理的に固定し、第61条運用基準第1項を確認した状態と確実に同じ状態(この確認とは別に、第63条の独立したキャリブレーションを行った場合には、この状態とも確実に同じ状態)で計測が可能であれば、ズームレンズでも単焦点レンズとみなしてもよい。ただし、一般的にはズームレンズは、レンズの歪みが大きいため、注意を要する。

撮影時の位置やカメラの設定状況等を Exif 情報に記録しておくと作業の効率化や品質の確認に有効である。

なお、撮像素子とは CCD や CMOS センサ自体をいい、素子とは撮像素子を構成する光を受光する電極をいい、画像上では 1 ピクセル (画素) に相当する。

キャリブレーションの実施に当たっては専門機関へ依頼する方法もある。

(撮影時期)

第62条 撮影は、原則として、撮影に適した時期及び時間で、気象状態が良好なときに 行うものとする。

(カメラキャリブレーション)

第63条 デジタルカメラは、キャリブレーションを行わなければならない。このキャリブレーションには、独立したキャリブレーションのほか、セルフキャリブレーションを用いることができる。

<第63条 運用基準>

独立したキャリブレーションには、三次元的に配置されたターゲットの撮影、又は二次 元的に配置されたターゲットの多方向からの撮影を用いる。

【解 説】

写真測量に使用するカメラは、幾何学的な位置のずれが既知である必要がある。この幾何学的な位置のずれは、典型的には画面距離、主点位置、放射方向の位置ずれを示す多項式、接線方向の位置ずれを示す多項式でモデル化される。カメラキャリブレーションとは、このようなモデルを求めることである。

画面距離 (よく文字 c であらわされる) は、レンズの中心から焦点面までの距離である。 焦点距離(よく文字 f であらわされる)と比較して十分遠方からの撮影である場合(例えば有人機を用いた写真測量)は、焦点距離は、画面距離とほぼ同じ値となるが、このような場合においても、キャリブレーションにより決定する必要がある。なお、既存文献では画面距離と焦点距離を区別せず、焦点距離 f と記載している場合があるため、注意を要す る。

カメラキャリブレーションは、屋内等に設置されたターゲット等を用い、三次元形状復元計算とは独立に行う方法(独立したキャリブレーション)、三次元形状復元計算の過程で行なう方法(セルフキャリブレーション)がある。独立したキャリブレーションのほうが高い精度でキャリブレートできる場合が多いが、キャリブレーションに使用している誤差モデルと三次元形状復元計算で使用している誤差のモデル、あるいはそのパラメータを記載したファイルの形式を合わせる必要がある。したがって、セルフキャリブレーションのほうが作業量が少なく、ミスが発生する可能性も少ない。

第61条運用基準第1項は、このモデルと実際の位置ずれの差が 0.5 画素以内であることを要求している。通常、セルフキャリブレーションでは、このずれを求めることができない。したがって、このずれを求めるには、独立したキャリブレーションを実施することになる。しかしながら、カメラメーカーからこのずれの最大値の情報が提供される等、合理的にカメラの性能が適切であると推定できる場合は、必ずしも、独立したキャリブレーションを実施する必要は無い。

(機器の点検と撮影計画の較正)

第64条 撮影飛行を開始するにあたっては、撮影計画の実際への適合性を確認する飛行を行い、機器の点検と撮影計画の確認を行うものとする。

【解説】

撮影計画を行った地図と現地、あるいは UAV を制御する GNSS 衛星の配置や精度によって、撮影計画が現地の位置と整合しないことが危惧される。また、安全な高度(低高度)で機体の試運転を行い、機体の状況を確認する必要がある。これらを考慮し、作業を開始するにあたっては行うべき事項を規定している。なお、基本的には作業を開始する際の1度のみを想定している。

(撮影飛行)

第65条 撮影飛行は、次の各号に従って行うものとする。

- 一 計画撮影高度及び計画撮影コースを保持するものとする。
- 二 離着陸以外は、自律飛行で行うことを原則とする。
- 三 機体に異常が見られた場合は、ただちに撮影飛行を中止する。
- 四 他の UAV 等の接近が確認された場合には、ただちに撮影飛行を中止する。

<第65条 運用基準>

1 操縦する場所は、機体外寸の3倍以上の長さで規定される面積以上の広さがなければならない。

- 2 記録する画像には、画面距離や露光時間帯等の情報を保持させるものとする。
- 3 撮影中の撮影範囲は、次の各号に定める事項に留意するものとする。
 - (1) 地形及び土地被覆の変化
 - (2) 移動体の存在
- 4 三次元データ作成に不要な空中写真が撮影された場合には、削除するものとする。

【解 説】

三次元点群データは、自動処理により空中写真間の特徴点の対応付けを行うため、経時変化や移動体等、空中写真間で写っている状況が異なると不具合が発生するため、これらを回避しなければならない。また、三次元点群測量は、土砂や資材、あるいは機器等、多くの移動するものが測量範囲に存在するため、それらが移動しないようにするか、移動により生じた不具合を三次元形状復元ソフトの機能あるいは数値編集で除去しなければならない。

(撮影結果の点検)

第66条 撮影の直後に、撮影結果の点検を行うものとする。

- 2 撮影結果の点検は、次の各号について行うものとする。
 - 一 撮影範囲
 - 二 空中写真の画質
 - 三 空中写真間の重複度
 - 四 撮影高度
 - 五 隠蔽部の範囲

<第66条 運用基準>

- 1 空中写真の画質は、露光不足、露光過多、ボケ、ブレについて行うものとする。
- 2 空中写真間の重複度は、空中写真を撮影された関係で並べて点検するものとする。

(再撮影)

第67条 点検の結果、後工程に問題が生ずる可能性がある場合には、それらの箇所を再 撮影するものとする。

<第67条 運用基準>

- 1 再撮影は、次の各号によるものとする。
 - (1) 撮影コースは、隠蔽・陰影やハレーションが生じない位置とする。
 - (2) 撮影範囲は、当該箇所の前後に写真1枚分以上を加えたものとする。
- 2 再撮影の撮影方向は、隠蔽部あるいは暗影光輝が最も緩和される方向に設定するもの

とする。

(成果等)

第68条 成果等は、次の各号からのとおりとする。

- カメラキャリブレーション実施記録又は、これに相当する資料
- 二 空中写真
- 三 撮影記録
- 四 撮影位置図
- 五 UAV 撮影コース別精度管理表
- 六 その他の資料

<第68条 運用基準>

撮影位置図は、第70条の三次元形状復元計算において得られる同様の図で代えることができる。

【解 説】

カメラキャリブレーション結果に相当する資料には、例えば、必要事項が記載されたカメラの仕様である。

第6節 三次元形状復元

(要 旨)

第69条 三次元形状復元とは、標定点と特徴点の写真座標等を用いて、空中写真の外部標定要素及び地形・地物の三次元形状を復元する作業をいう。

【解 説】

外部標定要素とは、撮影された空中写真の状態、すなわちカメラの位置及び向きのこと である。

(三次元形状復元計算)

第70条 三次元形状復元計算は、特徴点の抽出、標定点の観測、外部標定要素の算出、 三次元点群の生成までの一連の処理をいう。

<第70条 運用基準>

1 撮像素子寸法、画素数は、デジタルカメラのカタログ値を採用し、画面距離の初期値は、デジタルカメラのカタログの焦点距離の値を用いるものとする。

2 原則として、三次元形状復元計算を分割して実施しないこと。

【解 説】

生成される三次元点群の各点には、自動的に写真の色情報が着色される。この三次元点群は、色を持った点の集まりが空中に浮いたように見える。

(三次元形状復元計算結果の点検)

第71条 三次元形状復元計算の結果は、三次元形状復元計算ソフトの機能に応じて点検 するものとする。

【解 説】

三次元形状復元計算ソフトが出力する点検に利用可能な情報には、以下のようなものがある。なお、第48条及び第66条の条件を満たしていれば、これらに不良が生じる可能性は低いと考えられる。

- (1) 計算から省かれた空中写真の有無
- (2) 計算に使用した空中写真の重複枚数
- (3) 特徴点の分布
- (4) 写真座標の交会残差
- (5) 標定点の残差

(標定点の残差及び検証点の誤差の点検)

- 第72条 標定点の残差及び検証点の誤差は、平面位置、高さとも全て 0.05 m 以内であること。
- 2 平面位置の点検のために、必要に応じて第70条の三次元点群からオルソ画像を作成 する。

<第72条 運用基準>

- 1 標定点の残差は、第71条で求めた結果を確認する。
- 2 三次元形状復元計算ソフトで検証点の誤差を求めることができない場合は、検証点の 誤差は、次の方法で求めるものとする。
 - (1) 平面位置の誤差は、本条第2項で作成したオルソ画像上で確認できる各検証点の平 面座標を観測し、実際の座標と比較して求める。
 - (2) 高さの誤差は、第70条で得られた三次元点群を用いて、各検証点に対し平面座標上の距離が 15cm 以内であるような点群を抽出し、距離の重み付内挿法 (Inverse Distance Weighted 法: IDW 法) で得た高さを、実際の座標と比較して求める。
- 3 この条件が満たされない場合には、以下のいずれかの処置を行った後、あるいは、再

撮影を行った後、三次元形状復元を再度行うものとする。

- (1) 不良写真の除去
- (2) 特徴点の修正

【解 説】

三次元点群データの要求精度を第 47 条の規程としない場合は、残差及び誤差の許容範囲の値は要求精度と同一とする。

(成果等)

第73条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 三次元形状復元計算ソフトが出力する情報
- 二 精度管理表
- 三 その他の資料

【解 説】

精度管理表は、空中三角測量精度管理表、三次元形状復元精度管理表、標定点及び検証 点精度管理表による。

第7節 数值編集

(要 旨)

第74条 数値編集とは、必要に応じて三次元点群から不良な点を除去する作業をいう。

(数値編集)

第75条 三次元点群を複数の方向から表示し、不良箇所を取り除くものとする。

2 不良箇所が広範囲な場合には、空中写真及び三次元形状復元計算結果を見直し、必要 に応じて空中写真の再撮影あるいは三次元形状復元計算の再計算を行うものとする。

【解 説】

三次元点群の数値編集には、誤抽出の修正と欠測部での補測がある。誤抽出とは、異なる場所を同一の場所と判定して三次元点群に変換したものをいう。欠測部とは三次元点群が、精度に影響するほどまとまった範囲で抽出できなかったところをいう。前者は類似の模様が固まって存在する場所に、後者は土地被覆の濃淡が少なかったり、水面のように異なる模様で写る場所が、該当する。

抽出が正確に行われたとしても成果とはならない樹木、草、構造物、車両等を抽出している場合は、これらも編集により除去する必要がある。

第8節 三次元点群データファイルの作成

(要 旨)

第76条 三次元点群データファイルの作成とは、編集済三次元形状復元データから三次 元点群データファイルを作成し、電磁的記録媒体に記録する作業をいう。

<第76条 運用基準>

三次元点群データを作成する場合における点密度の標準は、下表による。

ただし、土木施工における法肩・法尻等の地形形状が急激に変化する箇所においては、 原則として、点密度を高密度とし、三次元点群データ上で高密度の範囲を表示しなければ ならない。また、植生等により測定した点が正しく地表を捉えられず、標準の点密度の取 得が困難な場合には、原則として、点密度を低密度とし、三次元点群データ上で低密度の 範囲を表示しなければならない。

また、低密度の範囲の許容点密度に満たない場合は、トータルステーション等により、 追加測量を行うことにより、低密度の範囲の許容点密度を満たすように補完するものとす る。

地図情報	点密度の標準	低密度の範囲の	高密度の範囲の
レベル		許容点密度	許容点密度
250	0.5m メッシュに	10m メッシュに	0.1m メッシュに
	1 点以上	1点以上	1点以上

※その他の地図情報レベルは、準則第313条(地図情報レベルと格子間隔)に準ずる。

【解 説】

三次元形状復元計算ソフトは、多様な形式の出力が可能な場合が多いが、土工で使う場合には、画像として TIF 形式、点群として LAS 形式や CSV 形式、ポリゴンとして TIN 形式のいずれかを選択することが標準的である。

必要に応じて、他の形式に変換してもよい。

第9節 成果等の整理

(メタデータの作成)

第77条 必要な場合、公共測量作業規程の準則に従い、メタデータを作成する。

【解 説】

三次元点群測量を公共測量としない場合は、メタデータを作成する必要はない。

(成果等)

第78条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 三次元点群データファイル
- 二 その他の資料

第4編 資料

標準様式等

- ・ カメラキャリブレーション実施記録
- · 標定点及び検証点精度管理表
- ・ UAV 撮影コース別精度管理表
- 空中三角測量精度管理表
- 三次元形状復元精度管理表
- 電子納品補足資料

参考資料

- 日本写真測量学会編:解析写真測量、日本写真測量学会、1983
- ・ 八木康史・齋藤英雄編: CVIM チュートリアルシリーズ コンピュータビジョン最先端 ガイド 3、2010
- ・ 秋山実著:写真測量、山海堂、2001

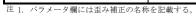
カメラキャリブレーション実施記録

地区名	カメラキャルブレーション	撮影年月日	作業機関名	主 任 技 術 者	印
地方名	カメワ キャリブレーション 実施年月日	政が十万日		作 業 実 施 者	印

	名称			
カ	シリアル番号	No.		
ペメラ	画素数		pixel	
	センササイズ	mm	× mm	-
	1画素あたりの	大きさ		μ m

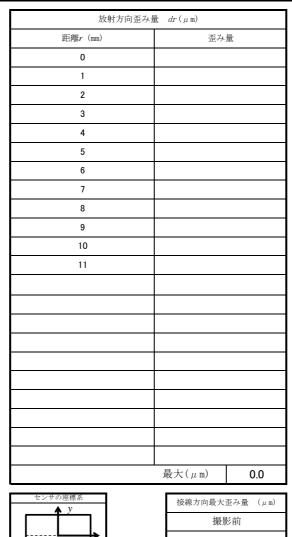
	名称	
レン	シリアル番号	No.
ズ	焦点距離	mm
	画角	۰

カメラキャリブレーションに 使用したソフトウェア		iWitness V2.2 (Photometrix社)	
補工	Eモデル式		
$\Delta x = x \cdot \frac{dr}{r} + p_1$	$\cdot (r^2 + 2x^2)$	$)+2\cdot p_2\cdot x\cdot y$	
$\Delta y = y \cdot dr/_r + p_2$	$(r^2 + 2y^2)$	$)+2\cdot p_1\cdot x\cdot y$	
$(dr = k_1 \cdot r^3 + k_2 \cdot r^4)$	$5+k_3\cdot r^7$,	$r = \sqrt{x^2 + y^2})$	
パラメータ	記号	値	
焦点距離	f		mm
主点位置のズレ	x_p		mm
主点位直のスレ	<i>у р</i>		mm
	k 1		
	k 2		
放射方向歪み係数	k 3		
接線方向歪み係数	p 1		
1女邴刀円正が怵剱	p 2		
画像座標の残差(RMS)			pixel

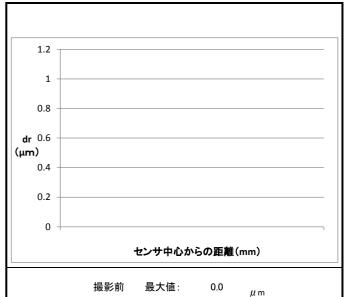


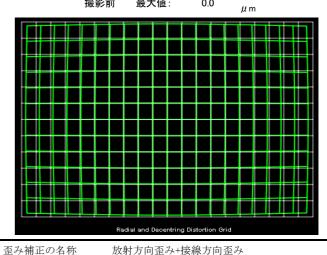
接線方向歪みの補正を行っていない場合は接線方向歪み係数欄を斜線にて削除する。

2. 記号欄には補正モデル式に記した補正項の記号を記載する。



注 原点位置と座標軸を記載する。





- 注 1. 補正前と歪み補正後を重ね合わせた図を掲載する。
- 2. 放射方向歪みに関する図と接線方向歪みに関する図の掲載を原則とする。

標定点及び検証点測量精度管理表

作業名		地区	計画機関	作業機関		点検者	印
期間	自	至	作業量	主任技術者	印	その他	

An F		余	上距離		** ##	SHI LE		余	上距離		
測点	計算値	測定値	較 差	許容範囲	摘要	測点	計算値	測定値	較 差	許容範囲	摘 要

- 注1.標定点及び検証点間の距離を測定し、座標値から求めた距離との比較により行う。
 - 2. 標定点及び検証点間が直接観測できない場合は、その標定点及び検証点を求めた既知点以外の既知点からの距離により行う。

UAV撮影コース別精度管理表

					名称						計画		作		業			
地区名				カメラ	4D 47V			ĺ	地上	画素	基準面高	対地高度	機	関	名			
地方名				11/	画素数	pixel	×	pixe1	寸	法	海中田田	刈地间及	7次	渕	70			
					センササイズ	mm	×	mm					主		任			
撮影	日 時	飛行	方 向		名称					cm	m	m	技	術	者			印
年	В	N	_	レンズ						CIII			1X	ניוער	111			
	71	1			焦点距離								社		内			
h:m		۱۸/		IS0		シャッター速度				カメラ	キャリブレー	ション	点	検	者			印
-	~	vv —			画像	記 録 方	- 4				実施年月日		K	1火	111			
風	速	I		データ	7形式	JPEG形式・	RAW形	/式		年	5 月	Ħ	社「	内 検	査	年	月	日
	m/s	5	S	ビッ	ト数	各色	bit	t		年	: 月	Ħ	年	月	日	+	Л	н

ファイル名	コース番号	写真番号	採否	コース 重剤 最小 OL	ス方向 复度 主点 基線長	航跡のずれ	色調の良否	光輝ション	暗影暗影部	ボケ・ブレ	ケラレ	スミア	Ĭ ()	ノイズ	対標明否	隠蔽部の有無	障害事項
				%	%	m											
				(最小値) %	(最大値) %												
37.1 D (cc) (c)	平均及集計		III		まなし むき	(最 大) %											

注1. ハレーションは、場所の判別(海、川、池、屋根等)を記入する。

コース	間重複	度

- 71時至19	~~	
コース番号	写真番号	最小 SL (%)
コース間 重複度(%)	5)	
コース番号	写真番号	最小 SL (%)
コース間 重複度(%)	5)	
コース番号	写真番号	

空中三角測量精度管理表

	作業名	召又は地区	名	作	作業量作業			期間	作業機関名			主任技術者		印	
												社内検査者			
								1				地上画素寸法		cm	
П	撮影高度	写真番号	モデ	į	漂	定 点		A .	票定	点 残 差		□ t)		ブレーション付き	
ス 番 号	高	番品	ル 数	使用点	数	除多	卜点数	水平位	立置	標	高			デル 跡解析付き	
号	及	7	剱	水平位置	標高	水平位	置 標高	標準偏差	最大	標準偏差	最大		交会残差		
	(m) ~		74.1 122	5341-3	74.1 122,		(m)			n) (m)	標準偏差	(mm)	最大	
		~													
		~													
		~													
		~													
		~													
		~													
		~													
		~													
		~													
		~													
制 限 値 (地図情報レベル:))							
使 用 機 械 作業者						社内検査期間 人 日 数		再測率	•	備考	•				

注 1. セルフキャリブレーションおよび最適軌跡解析を使用した場合は□にチェックを入れ、誤差モデルを記入する。

3. 計算から除外した点がある場合は、備考欄にその理由を明記する。

大きさはA4判とする

^{2.} パスポイント及びタイポイントの交会残差の単位は、mm 単位で記入する。

三次元形状復元精度管理表

作業名又は地区名	作業量	調整方法	作業期間				作業機関名	主任技術者	FD	
	コース数 写真枚数	バンドル法	自至	平成 平成	年 年	月月	日日		社内検査者	(ii)

交会	☆残差 (最大値から順	に記載	する)		標定点	標定点の残差						検証点の誤差					
番号	X		Y	交会残差	点名	d x	dу	dxy	dh	区分	点名	d x	dу	dxy	dh	区分	
			T														
(In 194	歪 み 範囲と歪みの大きいところをえ			色調												_	
(作業	: 靶囲と歪みの入さいところを2	JV-9)	(作業範囲と任	色調の悪いところを示す)												-	
																_	
						平均値	<u> </u>				平均値						
						最大値					最大値						
						標準偏差	<u> </u>					標準偏	差				

注1:区分には次の記号を表示する。

▼:內部標定点 △:外部標定点 ○:內部検証点 ○:外部検証点

. 用紙の大きさはA4判とする。

電子納品補足資料

本資料は、「UAV を用いた公共測量マニュアル(案)」(以下「マニュアル」という。)による測量成果等を「国土交通省測量成果電子納品要領(平成 28 年 3 月)」(以下「納品要領」という。)を準用して電子納品する際の、標準的な仕様を示したものである。

なお、本資料に定めのない事項は、納品要領及び「電子納品運用ガイドライン【測量編】 (平成28年3月) 」による。

1. 第2編 UAV を用いた地形測量及び写真測量による測量成果等

マニュアル第2編 UAV を用いた地形測量及び写真測量による測量成果等は、納品要領に規定する測量区分「地形測量及び写真測量」の成果等に準じて納品することを標準とする。

2. 第3編 UAV を用いた応用測量による測量成果等

マニュアル第3編 UAV を用いた応用測量による測量成果等は、納品要領に規定する測量区分「地形測量及び写真測量」の成果等として、下表の測量細区分、測量細分類、ファイル形式、ファイル命名規則及び格納フォルダ名により納品することを標準とする。

なお、下表に「納品要領の成果等の名称」が記載されている成果等は、納品要領の 該当する成果等に準じて納品し、「電子納品要領の成果等の名称」が記載されていな い成果等は、備考欄の記載に従って納品することを標準とする。

また、下表に記載のない成果等(マニュアルの「その他の資料」等)を納品する際には、納品要領に規定する成果等に準じて納品するか、受発注者間協議により納品の仕様を決定する。

工程別 作業 区分	測量細区分	測量細分類	マニュアル の成果等の 名称	納品要領の 成果等の 名称	ファイル 形式	ファイル命名規則	格納フォルダ名	備考
標定点 及び検 証点の	撮影< CS*>	空中写 真測量 (標定	標定点及び 検証点の成 果表	標定点成果表	TXT	CS*E1nnn. TXT	/CHIKEI/WORK/SATU_*	
設置		点の設置)	標定点及び 検証点の配 置図	標定点配置図	標準図式 データフ ァイル	CS*F1nnn. DMI CS*F1nnn. DM CS*F1nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_*	協議により PDF、SXF(P21) もしくは SXF(P2Z)、オリ ジナル形式も 可
			標定点及び 検証点の測 量簿	標定点測量簿	PDF	CS*E2nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_*	

工程別 作業 区分	測量細区分	測量細分類	マニュアル の成果等の 名称	納品要領の 成果等の 名称	ファイル 形式	ファイル命名規則	格納フォルダ名	備考
標定点 及び検 証点の 設置	撮影< CS*>	空中写 真測量 (標定 点の設	標定点及び 検証点の測 量簿(数値 データ)	標定点測量 簿(数値デー タ)	オリジナル	CS*E3nnn. XXX	/CHIKEI/WORK/SATU_*	
		置)	標定点及び 検証点の明 細簿	標定点明細簿	PDF	CS*E4nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_*	
			精度管理表	精度管理表	PDF	CS*G2nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_*	
対空標識の設		空中写真測量	対空標識点 明細票	対空標識点 明細票	PDF	CS*E5nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_*	
置		(対空 標識の 設置)	対空標識点 一覧図	対空標識点 一覧図	標準図式 データフ ァイル	CS*F3nnn. DMI CS*F3nnn. DM CS*F3nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_*	協議により PDF、SXF(P21) もしくは SXF(P2Z)、オリ ジナル形式も 可
			精度管理表	精度管理表	PDF	CS*G2nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_*	
撮影		空中写真測量	空中写真	数値写真	TIF	CS*H1nnn. TIF	/CHIKEI/WORK/SATU_*	
		(撮影)	撮影記録	撮影記録	PDF	CS*H3nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_*	
			撮影位置図	標定図	標準図式 データフ ァイル	CS*F4nnn. DMI CS*F4nnn. DM CS*F4nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_*	協議により PDF、SXF(P21) もしくは SXF(P2Z)、オリ ジナル形式も 可
			UAV 撮影 コース別精 度管理表		PDF	CS*G3nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_*	マニュアルの 標準様式によ る
三次元 形状復 元	その他 の地形 測量及 び写真	その他 の地形 測量及 び写真	三次元形状 復元計算ソ フトが出力 する情報		PDF	CO*E1nnn. TXT	/CHIKEI/WORK/OCHK_*	協議によりオ リジナル形式 も可
	測量< CO*>	測量	空中三角測 量精度管理 表		PDF	CO*G1nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/OCHK_*	マニュアルの 標準様式によ る
			三次元形状 復元精度管 理表		PDF	CO*G2nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/OCHK_*	マニュアルの 標準様式によ る
			標定点及び 検証点精度 管理表		PDF	CO*G3nnn. PDF	/CHIKEI/WORK/OCHK_*	マニュアルの 標準様式によ る
成果等			メタデータ	メタデータ	JMP2.0	CO*B2nnn. XML	/CHIKEI/DATA	
の整理			三次元点群 データファ イル		(協議)	C0*B1nnn. ***	/CHIKEI/DATA	協議により TIF 形式、LAS 形式、CSV 形 式、TIN 形式又 はその他の形 式
撮影	その他 データ < ZO* >	その他 データ	カメラキャ リブン実施記 録又は、こ れに相当す る資料	カメラキャ リブレーシ ョンデータ	PDF	ZOTJ6nnn. PDF	/CHIKEI/OTHRS	マニュアルの 標準様式又は、 これに相当す る様式による

公共測量における UAV の使用に関する安全基準(案)

平成 28 年 3 月 国土交通省 国土地理院

目次

1	. はじめに	1
2	. 安全基準(案)の対象	3
	2-1. 対象の作業、目的	
	2-2. 対象の UAV の種類	
	2-3. 対象の UAV の運航方法、運航条件	
3	. 使用する UAV の機体等の条件	8
	3-1. 対象の UAV の種類	
	3-2. UAV の性能、外観	
	3-3. UAV に実装が求められる機能	
	3-4. UAV の整備及び点検	
	3-5. バッテリ	
4	. UAV の運航に当たっての体制整備	. 14
	4-1. 管理者の配置	
	4-2. 現場における作業体制	
	4-3. 操縦者	
	4-4. 整備者	
5	. UAV の使用や運航に関する記録や管理	. 19
	5-1. 運航実績の記録、管理	
	5-2. 事故等の記録、管理	
	5-3.機体の点検・整備の記録、管理	
	5-4. バッテリ使用状況の記録、管理	
6	. あらかじめ作成や実施が必要な事項	22
	6-1. 事故対応マニュアルの作成	
	6-2. 全ての作業従事者等に対する教育、周知	
	6-3. 専門技術者の確保・育成	
7	. 運航に当たって事前に行う事項	. 24
	7-1. 全体計画の作成	
	7-2. 運航計画の作成	
	7-3. 居住者等への対応	
	7-4. プライバシー保護の取組	
	7-5. 保険の加入	
	7-6. 現地調査の実施	
	7-7.必要な装備、備品等の準備	
	7-8. 必要な届出等	
8	. 現場における運航に当たっての留意事項	. 30
	8-1.機体の運航前点検	
	8-2. 運航計画の最終確認と登録	
	8-3. 作業体制の確認	
	8-4. 慣らし運転	
	8-5. 運航中止の条件	
	8-6. 運航終了後の対応	
	8-7. 事故発生時の対応	
	参考1)用語集	
((参考2) 関係資料リンク集	. 37

1. はじめに

近年、小型無人航空機(以下「UAV」という。)に注目が集まっており、これを使用した様々な業務の可能性が検討されています。測量分野においても、UAVを用いることで、比較的容易かつ安価に空中写真撮影などを行うことができ、数値地形モデルの作成など、測量成果を効率的に整備することが期待されています。今後、公共測量においても多くの場面でUAVが使用されることが考えられますが、測量作業機関である測量事業者に対しては、UAVを安全に運航して公共測量を円滑に実施することが求められます。

この安全基準(案)は、UAVを公共測量で安全に使用する上で、測量作業機関が遵守すべき一定のルールについて示したものです。UAVを使用した公共測量を実施する場合において、事故等の発生にいたる事象を減らすことや、かつ、万が一事故が発生した場合に生じる損害などを軽減することを目的に作成したものです。

一方で、この安全基準(案)に沿って UAV を使用して公共測量作業を行ったからといって、事故などが一切発生しないということではありません。また、UAV に関する技術は日々進歩しており、社会情勢も変化を続ける中にあっては、安全確保の方法や社会が求める安全レベルなどは今後変化することが想定されます。このため、この安全基準(案)で定めている事項には一定の不確実性が含まれていることを、測量作業機関は十分に認識した上で作業を行うことが必要です。また、この安全基準(案)のみを過信することなく、使用する UAV の機体の状況や使用環境、関係者の技量などを踏まえて、これらに柔軟に対応しつつ、適切かつ安全に作業を行うための最善の策を講じ、測量作業を行うことが必要です。

また、この安全基準(案)は、UAVを使用する上で安全を確保するための考え 方の1つであり、その内容等が確立された標準的なものではありません。このため、 測量作業機関がこの安全基準(案)を適用する際には、測量計画機関の最終的 な了解が必要となります。

UAV は新たな、そして非常に便利な道具であり、今後も利用分野が拡大することが考えられます。一方で、現在も開発が続けられている技術であり、現時点の状況の中では、UAV を使用した場合に、絶対的な安全確保は不可能です。このため、UAV を使用した公共測量を行う測量作業機関には、公衆の安全を全てに優先させて測量作業を実施し、社会の信頼に応えられるようにすることが求められます。多くの測量作業機関における安全な UAV の使用の実績を積み重ねることで、公共測量作業におけるUAVの使用に対する社会の信頼や安心感を得ることが可能となります。

なお、公共測量において UAV を使用する測量作業機関は、航空法その他の UAV の運航に関わる法律、条例、規制などについても、それらの理念を十分に理

解し、遵守し、UAV を安全に運航するよう努めることが必要です。例えば、国土交通省航空局が示している UAV の飛行ルールや必要な手続き等に関する Web ページ(http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html)や、UAV の安全飛行のためのガイドライン(http://www.mlit.go.jp/common/001110370.pdf)、他の関係団体が整備しているガイドラインについても参照してください。(「参考2. 関係資料リンク集」を参照。)また、この安全基準(案)は、新たな技術開発の状況や、社会情勢の変化、対象とする要件の見直しなどを踏まえ、今後も予告なく見直しが行われる可能性があります。測量作業機関は、常に最新の情報を収集し、安全な測量作業の実施に努めてください。



画像出典:(株)セキド ホームページ (http://www.sekido-rc.com/)

2. 安全基準(案)の対象

2-1. 対象の作業、目的

この安全基準(案)が対象とする作業は、UAV を公共測量作業において使用し、 測量に用いるための空中写真の撮影や、地形モデル作成のためのデータ取得 (レーザ測量等)を行う作業です。

UAV を公共測量で使用する際の技術的な基準(マニュアル)については、別途策定しているところですが、空中写真撮影の場合であれば、基本的には、撮影予定範囲の上を一定の(30m以上を想定。)高度を保ちながら複数のコースで UAV を運航させ、一定の間隔で空中写真の撮影等を行います。(運航高度やコースの間隔、撮影間隔等は、作成する数値地形データの精度や使用するカメラの性能等によります。)この安全基準(案)は、こうした利用を行うことを前提とした基準となっています。

なお、公共測量以外の測量作業など、同様の条件下においてUAVを使用する場合には、この安全基準(案)を準用することが可能です。一方で、例えば公共施設の管理や災害状況の把握など、その他の目的や作業において UAV を使用する場合には、UAV の運航方法や、使用する UAV の種類、運航条件などが大きく異なる場合もあることから、利用目的に応じて、各測量作業機関においてそれぞれ安全確保のための基準を検討し、定めることが必要です。

2-2. 対象の UAV の種類

この安全基準(案)が対象とする UAV は、バッテリで駆動する中・小型のマルチコプター(複数の回転翼により運航する UAV)で、測量機器等を搭載した運航時の総重量(UAV の機体やバッテリ、カメラ等の測量機器を全て含む離陸時の全重量をいいます。)が 25 kg未満のものとしています。マルチコプターの回転翼の数(ローターの数)については制限していません。固定翼の UAV や機体重量が 25 kg以上の UAV などについては、運航方法や求める安全レベルなどが異なるため、この安全基準(案)の対象とはしていません。この安全基準(案)の対象外の UAV を公共測量で使用する場合には、その特性などを踏まえて、各測量作業機関においてそれぞれ安全確保のための基準を検討し、定めることが必要です。

2-3. 対象の UAV の運航方法、運航条件

- 空港周辺の空域以外における運航
- 高度 150m 未満の空域における運航
- 日中(日出~日没)の時間帯における運航
- 地上の構造物等から一定の(30m 以上の)距離を確保した運航

この安全基準(案)は、航空法に基づく国土交通大臣の許可や承認を得る必要がないこれらの空域及び運航方法でのUAVの使用を原則としています。また、航空法に基づく国土交通大臣の承認を得ることが必要な運航方法のうち、「催し場所の上空での運航」、「危険物の輸送」、「物件の投下」については、公共測量における使用では想定されないUAVの運航方法であることから、この安全基準(案)では対象外としています。

(参考)改正航空法における UAV の運航ルールについて(国土交通省)

無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の安全な飛行に向けて!

航空法が改正され、2015年12月10日に、無人航空機を飛行させる際の飛行ルールが施行されます。

★飛行禁止空域

次の場所では、無人航空機の飛行は禁止されていますので、ご注意ください! 飛行させたい場合には、 国土交通大臣による許可が必要ですので、所定の手続きを行ってください。







★飛行の方法

無人航空機を飛行させる際には、次の方法に従って飛行させましょう!これらの方法によらずに飛行させたい場合には、国土交通大臣による承認が必要ですので、所定の手続きを行ってください。

目視の範囲内













● 作業員の目視下での運航

この安全基準(案)は、UAV を運航する際に、作業現場に配置する監視員等の作業員が常にUAVの機体を目視して監視することを原則としています。FPV やモニタを使用して、作業員の監視できる範囲外で運航する方法については、この安全基準(案)の対象外としています。

航空法では、操縦者が肉眼で目視できる範囲内での運航に限り、国土交通大臣の承認を得る必要がないものとしています。しかしながら、公共測量で UAV を使用する際には、運航範囲がある程度広くなることや、地形や建物の影響が生じることも想定されることから、必ずしも操縦者が常に機体を肉眼で目視できる状況にあるとは限りません。このため、この安全基準(案)は、操縦者以外の現場の作業員(機体監視者等)が監視(望遠鏡等を用いて監視する場合を含む。)することも想定しています。(作業員の監視範囲の目安については、「4-2. 現場における作業体制」の機体監視者の項目を参照。)

操縦者が肉眼で目視できる範囲を超えて UAV の運航を行う場合には、必要な機体監視員を配置することが必要です。また、安全面の措置をした上で、航空法に基づく国土交通大臣の承認を得ることが必要となります。運航を行う場合は十分留意が必要です。

● 自動運航による運航(離着陸時を除く)

公共測量において UAV を使用する際には、使用する環境や、安全を確保する目的を達成するため、離着陸時を除き自動運航を行うことを原則とします。自動運航とは、操縦者がコントローラを用いて UAV の操縦を行いながら運航するものではなく、UAV に搭載された GNSS 等を使用して位置情報などを取得し、あらかじめ計画したルートに従って UAV が自律的に運航すること(機能)をいいます。公共測量において利用する場合には、測量に必要な情報を一定の精度で取得することが求められることから、あらかじめ空中写真の撮影ポイントなどが計画されており、これに従って UAV を運航することが必要となります。操縦者の技能の影響が少なくなるという利点も含め、公共測量における UAV の利用の際には自動運航を行うことを、この安全基準(案)では原則としています。

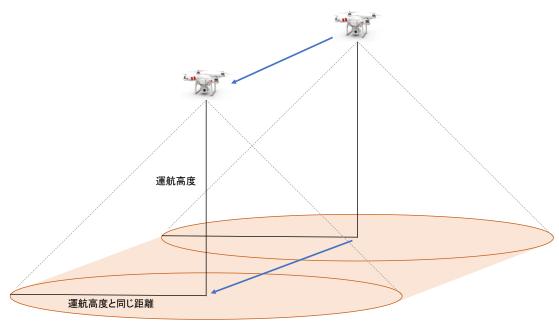
● 運航範囲の直下及び周辺に、不特定の第三者が存在しない

公共測量において UAV を運航する場合、その範囲の直下及び周辺に、不特定の第三者が存在しないことを原則とします。これは、UAV の運航中に機体が故障するなどのトラブルが発生し、機体が落下する事態が万が一発生した際に、上空を UAV が運航していることを把握していない地上にいる者に影響を与えないためです。

「運航する範囲」とは、測量のための空中写真撮影などを行う範囲に加え、UAV

が離陸してから着陸するまでの間の全ての運航範囲をいいます。「直下及び周辺」とは、UAVのルートから一定の範囲をいいます。具体的には、UAVの運航高度に合わせ、その運航高度に比例した距離範囲を対象とします。例えば 100m 上空を運航する UAV の場合であれば、その UAV の直下の地点から半径 100m の範囲を対象とします。また、「不特定の第三者」とは、UAV の運航範囲内に居住している者などのあらかじめ UAV が上空を運航することを周知できる者以外の者をいいます。例えば、一般的な通行人や通行車両(中に人が存在することが想定されるもの)などが該当します。

改正された航空法では、「人家の密集地域」として、DID(人口集中地区)でUAV を運航する場合には、国土交通大臣による許可が必要となっています。この安全基準(案)は、DID 上空での運航についても対象としていますが、DID 上空で運航する場合には、UAV の運航ルートの直下及び周辺に不特定の第三者が存在する可能性が高くなることから、より一層安全確保に留意して作業を行うことが必要です。また、DID 上空で運航を計画する場合は、あらかじめ国土交通大臣による許可を得ることが不可欠ですが、許可を得るには、使用する機体や操縦者等に対するより高度な安全性が求められます。こうしたことも踏まえ、運航の可否を検討することが必要です。なお、運航予定地域が DID の範囲内であるかどうかについては、地理院地図(http://maps.gsi.go.jp/?z=9&ls=did2010)で確認することが可能です。



この安全基準(案)におけるUAVの直下及び周辺の考え方

● 上記以外の場合

この安全基準(案)は、これらの運航方法や運航条件下で UAV を運航することを前提に定めたものです。これら以外の条件下で UAV を運航する場合は、事故等が発生する可能性や、事故等が発生した場合の被害が大きくなる恐れがあり、さらなる安全の確保が求められます。このため、それぞれの運航条件に応じて、安全確保のための基準を検討し、個別に定めることが必要です。また、基準を定める際には、あらかじめ測量計画機関に意見を求め、承認を得ることが必要です。さらに、例えば操縦者の目視可能な範囲を超えた運航や DID の上空での運航等、UAV の運航方法、運航条件によっては、航空法に基づき、国土交通大臣や空港事務所長の許可や承認を得て作業を行うことが必要です。



画像出典: (株)エンルート ホームページ (http://www.enroute.co.jp/)

3. 使用する UAV の機体等の条件

3-1. 対象の UAV の種類

この安全基準(案)は、「2-2. 対象の UAV の種類」に示したように、バッテリで駆動する中・小型のマルチコプターで、総重量(UAV の機体やバッテリ、カメラ等の測量機器を全て含む離陸時の全重量)が 25 kg未満のものが対象です。いわゆる産業用の機体に加え、ホビー用の機体についても一定の要件を満たす場合であれば対象としています。

なお、25kg 未満の機体であっても、重量が大きいほど事故や墜落の際に生じる被害は大きくなります。特に 10kg を超える重量の UAV を使用する場合には、操縦者の十分な技量が安全確保には重要な要素となります。こうした点に留意して、使用する UAV を決定することが必要です。

3-2. UAV の性能、外観

使用する UAV は、安全確保の観点から、以下の全ての性能、外観を有することを原則とします。ただし、測量計画機関(発注元)と協議の上、一部の条件を変更することができるものとします。

● 十分かつ安定した運航性能を持つ機体であって、その性能が明らかであること UAV を適切かつ安全に運航させるためには、UAV が十分な運航性能を有していることに加え、その性能があらかじめ明らかであることが不可欠です。運航のための計画を作成する上でも、使用する UAV の性能を踏まえることが必要です。このため、例えば UAV の最大運航重量(運航可能重量)、連続航続可能時間、最高運航速度、運航可能最大風速、UAV の機体とコントローラやモニタ等との間の無線の到達範囲などが明らかな UAV を使用することが必要です。自作した UAV などを使用する場合には、そうした運航性能を客観的に証明できることが求められます。

● 機体に鋭利な突起物がない構造であること

UAV を使用した測量作業を行う者や、運航中のUAV が誤って落下した場合に 運航ルート下にいる者に対して危害を加える恐れを減らすため、UAV の機体には 鋭利な突起物がない構造であることが必要です。特に回転翼(ロータ)は、運航中 高速で回転しており、直接人が触れると大きな事故となる危険性が高いです。この ため、必要に応じてプロペラガードを装着するなど、安全性を高めるための装備を 行うことが必要です。

- 機体を空中で認識しやすい色や模様であること
- <u>灯火や表示など、空中で機体の位置及び向きを正確に視認できるための装</u> 備があること

UAV を使用する際は、地上から機体を目視しながら運航させることが必要となります。このため、UAV の機体の色や模様は、空中で認識しやすいものであることが求められます。例えば白色、黒色等が考えられます。また、UAV の状態を適切に視認できるよう、灯火や表示を機体に装備することが必要です。

● 機体を識別できる情報が機体に記載されていること

UAV の運航中に機体を見失い、第三者が機体を発見することも考えられます。 こうした事態が発生した際に、UAV の所有者等を明らかにするために、機体には UAV の保有者、識別番号等を記載することが求められます。識別番号について は、機体を適切に管理し、運航実績や整備履歴等を記録する際にも活用できま す。

● 電波法に適合した無線装置を使用していること

UAV の機体を操縦したり、UAV の機体の状態を地上側で把握したりする際には、機体とコントローラ、モニタ等の間で無線通信が使用されます。こうした際に使用する無線装置は、電波法に適合した装置であることが必要です。また、こうした装置を使用する際には、電波法を遵守することが求められます。機材によっては、必要な資格保有者の立会いが求められる場合もあります。

3-3. UAV に実装が求められる機能

使用する UAV は、安全確保の観点から、以下の全ての機能を有することを原則とします。ただし、測量計画機関(発注元)と協議の上、一部の条件を変更することができるものとします。

● 自動運航機能

UAV が機体に搭載された GNSS を利用して位置情報等を把握し、あらかじめ計画されたルートに従って、自律的に運航を行う機能をいいます。

公共測量で UAV を使用する場合は、あらかじめ定められたコースに従って UAV を運航させ、適切な箇所で空中写真の撮影や地形データ等の取得を行うことが必要です。計画に基づいて適切に UAV を運航させるために、この安全基準 (案)に基づいてUAVを公共測量で使用する際には、UAV は離着陸時等を除き、

自動運航させることを原則としています。また、自動運航機能を使用することで、 操縦者の関与を極力少なくすることができ、結果的に操縦者に対する負担を減少 させることが可能となります。これにより、操縦者に対し非常に高度な技能を求める ことを避けるようにしています。

なお、自動運航機能には、運航中に機体に不具合が発生した場合や、建築物等に異常に接近した場合など、自動運航を緊急に中止等させる必要がある際に強制的に介入(解除)し、操縦者が手動で機体を操作(着陸等)することができる機能を持っていることも必要です。

● モニタ監視機能

UAV の機体の位置や搭載された機器等の状態、バッテリ残量などを、地上にあるモニタを用いて、リアルタイムで監視できる機能をいいます。機体とモニタの間は無線通信等で情報をやりとりします。

この安全基準(案)に基づいてUAVを運航させる場合は、原則としてUAVは常に作業員に監視されていることが必要となっています。しかし、UAVの機体の状態について、目視で確認することに加え、その状態を数値等、客観的な情報で常に把握を続けることが不可欠です。こうしたことから、この安全基準(案)では、モニタ監視機能を装備することを原則としています。

また、モニタ監視機能は、UAVの運航中に、万が一視認できなくなる事態が発生した場合でも、その位置や状態を把握することが期待できます。安全性を高める上でモニタ監視機能は必要といえます。

● フェイルセーフ機能

機体に異常が生じた場合など、UAV の運航を継続することが適切ではない事態が発生した場合に、直ちに運航を中止させる機能です。中止した場合には、機体はあらかじめ指定された場所に戻るか、その場でゆっくりと降下することが必要です。この機能は、以下のような場合に動作するものとします。

- ✔ 地上にあるモニタ、コントローラ等からの指示があった場合。
- ✓ あらかじめ指定された空域を逸脱して運航した場合(ジオフェンス機能)。
- ✓ GNSS 信号を正常に受信できなくなった場合。
- ✓ 地上にあるモニタ、コントローラ等との無線通信等が遮断した場合。
- ✓ バッテリ残量が指定値を下回った場合。
- ✓ その他、機体に異常が生じ、安定した運航を継続できなくなった場合。

機体の種類や、搭載しているプログラム、機能等により、フェイルセーフ機能の 発動方法や、UAV の対応方法が異なります。フェイルセーフ機能は、安全性を高 めるための機能であり、各機体の特性も踏まえ、適切な運用ができることが求めら れます。

● フライトログ記録機能

UAV の運航位置や搭載された機器の状態等(フライトログ)を記録する機能です。フライトログは、UAV の機体で記録する場合と、モニタ、コントローラ等の地上にある機器で記録する場合が考えられます。

万が一事故等が発生した場合に、フライトログを使用することで、その原因等を 把握することが容易になることが期待されます。フライトログの記録、保管期間等 の詳細ついては、この安全基準(案)では特別の定めはしておりませんが、安全な 運航のために適切な運用ができることが求められます。

3-4. UAV の整備及び点検

使用する UAV は、安全確保の観点から、以下の方法に基づき、整備や点検を行うことを原則とします。ただし、測量計画機関(発注元)と協議の上、一部の条件を変更することができるものとします。

● 定期点検の実施

UAV は、機体の製造元の推奨する期間毎に、特に定めが無い場合は1年又は合計 100 時間の運航を目途に、機体の定期的な点検を、専門の第三者機関や機体の製造元等で実施することが必要です。

● 日頃からの整備の実施

UAV の運航前後には、必ず適切に整備や点検を行うとともに、必要な部品の 交換などの整備が必要です。整備は一定の技能や経験を有する整備者が行うこ とが必要です。ただし、メンテナンスフリーな機体については、無理な機体の分解 等は行わず、機体に不具合等が生じた場合には、機体の製造元や専門の事業者 等で整備を行ってください。

● 整備や点検の記録

UAV の整備や点検の状況は、適切に記録し、必要に応じて第三者に対しても 開示できるよう準備することが求められます。機体の整備、点検の状況の記録は、 整備管理者が責任を持って行います。(整備管理者については、「4-1. 管理者 の配置」を参照。)

● 事故等の過度な衝撃への対応

UAV を運航中に墜落や衝突させるなど、UAV に対して過度な衝撃が与えられた場合は、定期点検と同様に、専門の第三者機関や機体の製造元等での点検を実施することが必要です。

● ファームウェア等のアップデート

UAV で使用しているファームウェア等については、安全性を高めるためアップ デートが行われることがあります。現在使用しているファームウェアの安全性に問題がある場合には、適切にアップデートを行うことが必要です。ファームウェアの 状況、最新のファームウェアが公開されているか等については、機体の製造元に 確認が必要です。

ファームウェア等をアップデートする場合は、専門の第三者機関や機体の製造元に確認の上、安全性が確認できたものに限り実施してください。作業は、一定の技能や経験を有する整備者が整備管理者の指示のもとで行うことが必要です。

3-5. バッテリ

UAV で使用するバッテリは、安全確保の観点から、以下のとおり取り扱うことを 原則とします。ただし、測量計画機関(発注元)と協議の上、一部の条件を変更することができるものとします。

● 使用するバッテリの条件等

UAV で使用するバッテリは、UAV の機体の製造元の指定するものを使用することとし、その他のバッテリは使用してはいけません。また、バッテリの取扱い方法については、基本的に、製造元の指定する方法に従って、適切に行うことが必要です。

● バッテリの管理

バッテリには、個々のバッテリを識別できる番号等を付与し、管理を行うことが必要です。その上で、それぞれのバッテリの充電、使用状況について、適切に記録することが必要です。

● バッテリの充電

バッテリの充電は、製造元の指定する充電器を使用して、製造元の指定する方法に従って行ってください。バッテリは可燃物ですので、充電作業は、周囲に可燃物がない場所で、様子を適切に監視しながら行うことが必要です。

万が一、充電中にバッテリから煙が出る、バッテリが膨らむ等の異常が見られた場合には、直ちに充電を中止し、当該バッテリは廃棄することが必要です。

適切に充電されたバッテリを安全に使用するために、バッテリの充電は、使用する当日又はその直前に行うことを原則とします。

● バッテリの保管

バッテリの保管は、製造元が指定する環境下で行うことが必要です。保管時には、強い衝撃をバッテリに与えないよう、留意が必要です。また、バッテリの過充電や過放電を避けるため、バッテリを充電させた状態又は接続した状態のまま1週間以上保管せず、保管に適切な電圧まで放電した上で保管することが必要です。

● バッテリの廃棄

以下の場合には、バッテリを廃棄することが必要です。なお、バッテリの廃棄の 方法及び手順は、製造元の指定する方法等に従い、廃棄により生じるゴミ等は、 適切に処分することが必要です。

- ✓ バッテリの性能が一定以上低下した場合
- ✓ バッテリの外見に異常が見られた場合
- ✓ バッテリの使用回数がメーカの指定する限度回数を超えた場合
- ✓ バッテリの使用期限を過ぎた場合



画像出典: (株)エンルート ホームページ (http://www.enroute.co.jp/)

4. UAV の運航に当たっての体制整備

UAV を使用して公共測量作業を行う測量作業機関は、あらかじめ、以下の体制を整備することを原則とします。

4-1. 管理者の配置

UAV を適切かつ安全に運航するために、測量作業機関は、以下に示す3つの管理者を配置することを原則とします。なお、同一の者が複数の管理者を兼ねることができるものとしますが、業務の状況を踏まえて、過度な負担とならないよう、測量作業機関は適切に配慮することが必要です。また、機体の運航や整備等について、測量作業機関が自社以外の専門業者等に委託する場合には、これらの管理者が担う役割についても委託し、専門業者等において各管理者を配置することも可能です。

● 運航管理者

運航管理者は、UAV の運航全般を管理する責任者として、以下の作業について実施又はその責任を負うものとします。

- ✓ UAV の運航に当たっての計画(全体計画、運航計画)の作成 (詳細は「7-1.全体計画の作成」及び「7-2.運航計画の作成」を参照。)
- ✓ UAV の運航実績の記録及び管理 (詳細は「5-1. 運航実績の記録、管理」を参照。)

● 安全管理者

安全管理者は、UAV を安全に運航させる上での安全管理に関する責任者として、以下の作業について実施又はその責任を負うものとします。

- ✓ 事故対応マニュアル等の整備及び周知 (詳細は「6-1. 事故対応マニュアルの作成」を参照。)
- ✓ 事故等の記録及び管理 (詳細は「5-2. 事故等の記録、管理」を参照。)

● 整備管理者

整備管理者は、使用するUAVの機器の状態や、点検、整備を管理する責任者として、以下の作業について実施又はその責任を負うものとします。

✓ UAV の機体及びバッテリの使用状況等の記録及び管理 (詳細は「5-3. 機体の点検・整備の記録、管理」及び「5-4. バッテリ使 用状況の記録、管理」を参照。) ✓ UAV の点検、整備等の管理 (詳細は「3-4. UAV の整備及び点検」を参照。)

4-2. 現場における作業体制

UAV を使用した公共測量作業を行う際の現場での体制として、以下の役割を担う者で構成する体制を構築することを原則とします。なお、役割の内容によっては、同一の者が複数の役割を担うことができます。例えば、作業現場の状況によっては、現場班長と操縦者の2名のみで作業を行うことも可能です。また、「4-1.管理者の配置」で示す各管理者が、現場での作業員となることも可能です。ただし、作業者に過度な負担とならないよう、測量作業機関は適切に配慮することが必要です。

● 現場班長

現場班長は、当該現場における作業責任者として、UAV の運航に関する全ての責任を持ち、操縦者を含めた他の作業員に対し、指示を行います。

現場班長は、現場の作業員の作業内容、配置状況について適切に把握し、その場の状況に応じた必要な指示や対応を行うことが求められます。また、UAV を運航中には、その状況に応じて運航の中止等を操縦者に対して指示することとなります。このため現場班長は、UAV に関する技術を一定程度把握し、UAV を使用した公共測量作業について精通している者であることが求められます。また、測量作業の現場責任者として、測量士又は測量士補を有する技術者であることが推奨されます。

● 操縦者

操縦者は、現場班長の指示に従い、UAV の操縦や運航を行います。また、 UAV を運航させる前には、現場班長等とともに、UAV の自動運航に必要な情報 の入力及び確認を行います。

なお、この安全基準(案)で示す基本的な UAV の運航方法は自動運航のため、 操縦者が実際に操縦を行う場面としては、離着陸時及び緊急時のみ対応すること が考えられます。

操縦者に対しては、一定の技能や知識、経験を有することが求められます。一方で、UAV の操縦に関する技能等を有していれば、測量士、測量士補等の資格を必ずしも有していなくてもかまいません。(詳細は「4-3. 操縦者」を参照。)

● 整備者

整備者は、UAV の運航前後の機体の整備や、必要に応じた部品の交換等の

作業を行います。運航中は、他の役割を担うことが可能です。

整備者に対しては、一定の技能や知識、経験を有することが求められます。(詳細は「4-4.整備者」を参照。)

● モニタ監視者

モニタ監視者は、運航中にモニタを使用して UAV の状態を常に監視し、必要に応じてその情報を現場班長や操縦者に伝える作業を行います。例えば、UAV の運航位置、回転翼(ロータ)の状態、バッテリの残量、GNSS 信号の受信状況等について異常がないかを監視します。

なお、使用する機体によっては、UAVの状態等の情報を示すモニタが、操縦者が使用するコントローラ(プロポ)と一体となっている場合があります。こうした機体の場合は、モニタ監視者を操縦者が兼務することができます。ただし、操縦者は基本的には機体の状態を目視しつづけることが求められますので、可能な限りモニタ監視者と操縦者は別の作業者が担当することを推奨します。

● 機体監視者

機体監視者は、運航中、常に機体及び天候を監視し、異常等が発生した場合には、速やかに現場班長や操縦者に伝える作業を行います。また、万が一機体が墜落等した場合には、機体の捜索と回収、火災の発生等への初期対応を行います。機体監視者は、UAVの運航範囲の広さや地形の状況等を踏まえて、必要な人数を、適切に配置することが必要です。地形や建築物の影響で、UAVを視認できなくなる恐れがあることから、あらかじめ現地調査を行い、必要な人数の機体監視者をあらかじめ確保することが必要です。(現地調査については「7-6. 現地調査の実施」を参照。)

なお、操縦者も UAV の運航中は機体を目視していますが、操縦者は機体の操縦など他の業務を行うことが必要です。このため、安全に運航させるために、操縦者が目視できる範囲内でのみ UAV を運航する場合であっても、操縦者以外に機体を常に監視できる者を1名以上配置することが必要です。

なお、この安全基準(案)における機体監視者が UAV を視認できる範囲の基準 (目安)は、以下のとおりとします。ただし、これらは、日中の晴天時において視認できる範囲の基準であり、気象条件等により、適宜対応が必要となります。

- ✓ UAVの監視に望遠鏡を用いない場合は、機体の色に関わらず 100m。
- ✓ UAV の監視に望遠鏡を用いる場合であって、白色の機体を用いる場合は 300m。ただし、背景が山林の場合は、500m。
- ✓ UAV の監視に望遠鏡を用いる場合であって、黒色の機体を用いる場合は 500m。 ただし、背景が山林の場合は 100m。

● 保安員

この安全基準(案)に基づく UAV の運航では、UAV の運航ルートの直下及び 周辺には、不特定の第三者が存在しないことを原則としています。このため、不特 定の第三者が運航範囲に侵入する恐れがある場合には、現地に保安員を配置し、 第三者が運航中に運航範囲内に進入することがないよう阻止するための適切な 対応をとることが必要となります。

保安員は、作業範囲の状況に応じて、適切な人数を配置します。立ち入りが物理的に制限されている現場など、作業範囲に不特定の第三者が立ち入らないことが明らかな場合には、保安員を配置しないことも考えられます。なお、保安員は、地上の通行者等への対応が主な用務であり、運航中の UAV を常に監視することは困難です。このため、基本的には保安員が機体監視者を兼ねることはできないものとします。

4-3. 操縦者

測量作業機関は専門的な技能や経験を有する専門技術者として、UAVの操縦を行う操縦者を確保することが必要です。

操縦者は、UAV の操縦に関して一定の知識と技能、経験を有する者であることが必要です。また、これらの知識や技能、経験については、民間資格や第三者機関により証明されるか、測量作業機関における実績の記録等で明らかになっているなど、客観的に示すことができるものである必要があります。

この他、公共測量において使用する機体への経験として、以下の要件を満たすことを原則とします。ただし、測量計画機関(発注元)と協議の上、一部の条件を変更することができるものとします。

- ✓ 測量作業において使用する機体と同じモデルの機種を対象に、一定時間 以上(3時間以上)の操縦経験を有していること。
- ✓ 測量作業において使用する前の一定期間(90 日)内に、使用する機体と同じモデルの機種の操縦を1時間以上行っていること。
- ✓ 測量作業において使用する機体と同じモデルの機種で、自動運航を行った経験を有すること。

ここでいう操縦時間とは、UAV を手動(マニュアル操作)で操縦させている時間 のことをいい、自動運航を行っている時間は含まないものとします。また、測量作 業における操縦に加え、訓練や他の業務における操縦の時間も含むものとします。

なお、例えば操縦者の目視範囲外での運航や DID における運航など、運航に 当たって国土交通大臣の許可又は承認が必要な場合には、その許可、承認条件 の1つとして、操縦者には 10 時間以上の操縦経験(自動運航を除く。)が求められ ています。この安全基準(案)は、こうした許可又は承認の必要がない場合においても、3 時間以上の操縦経験を求めるものとしていますが、安全性向上のため、操縦者は可能な限り多くの操縦経験を積んでいることが推奨されます。

これらに加え操縦者に対しては、UAV に関する技術は日々進化していることから、常に操縦に関する知識や技能の維持向上に努めることが求められます。

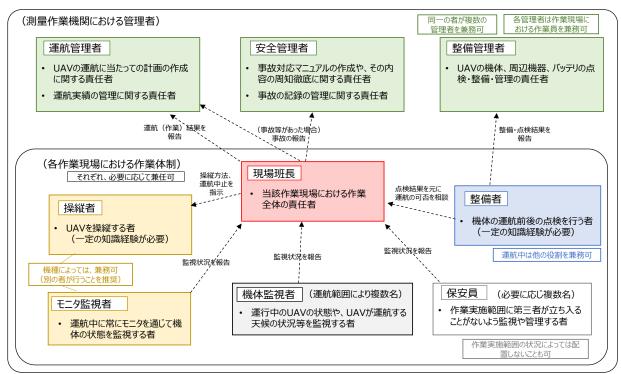
4-4. 整備者

測量作業機関は専門的な技能や経験を有する専門技術者として、UAVの整備を行う整備者を確保することが必要です。

整備者は、UAV の構造や整備方法などに関して一定の知識と技能、経験を有する者であることが必要です。また、これらの知識や技能、経験については、民間資格や第三者機関により証明されるか、測量作業機関における実績の記録等で明らかになっているなど、客観的に示すことができるものである必要があります。

なお、UAV に関する技術は日々進化していることから、整備者には、常に UAV の構造や整備方法に関する知識や技能の維持向上に努めることが求められます。

UAV を使用して公共測量作業を行う際の体制と役割のイメージは、図のとおりです。



5. UAV の使用や運航に関する記録や管理

UAV を使用した測量作業に関する測量作業機関や従事した作業員の実績を 把握するため、また、万が一事故等が発生した場合にその原因等を適切に把握 するため、測量作業機関は、UAV を使用した状況や実績について、適切に記録 し、その記録を管理することが必要です。

5-1. 運航実績の記録、管理

測量作業機関は、使用する UAV の機体ごとに、運航実績を記録し、その記録を適切に管理する必要があります。記録等を行う運航実績は、測量作業において UAV を使用した場合に限らず、訓練も含めた全ての運航を対象に作成することが必要です。運航実績の記録や管理は、運航管理者が責任を持って行います。

運航実績としては、以下の事項を基本として記録を行います。

- ✓ 運航年月日、離着陸時刻、運航時間(自動運航を行った時間等)
- ✓ 運航場所
- ✔ 運航目的
- ✓ 運航に従事した者(従事した現場班長、操縦者、整備者等の名前)
- ✓ 運航条件、運航状況(運航方法、気象条件(天候、風速)等)
- ✔ 使用したバッテリの識別番号等
- ✓ 測量計画機関の名称(公共測量作業で使用した場合)
- ✓ 事故、異常等の有無

運航実績の記録は、操縦者等の運航経験を示す客観的な資料として使用されることが考えられます。また、万が一事故等が発生した場合には、過去の運航実績等を参照することが必要となることも考えられます。このため、運航実績の記録は、第三者からの求めに対して開示できるように、適切に作成し、管理することが求められます。

5-2. 事故等の記録、管理

測量作業機関は、UAVを使用して発生した事故及び事故につながる恐れが生じる事案(いわゆるヒヤリ・ハット事案)について記録し、その記録を適切に管理する必要があります。記録等を行う事故等は、測量作業においてUAVを使用した場合に限らず、訓練も含めた全ての運航を対象に作成することが必要です。事故等の記録や管理は、安全管理者が責任を持って行います。

事故等の記録としては、以下の事項を基本として記録を行います。

- ✔ 運航年月日、離着陸時刻
- ✓ 運航場所
- ✔ 運航目的
- ✓ 使用した機体の識別番号等
- ✓ 運航に従事した者(従事した現場班長、操縦者、整備者等の名前)
- ✓ 運航条件、運航状況(運航方法、気象条件等)
- ✓ 事故等の発生状況
 - ▶ 発生日時
 - ▶ 発生場所
 - ▶ 事故等の内容
 - ▶ 被害の様子、状況
- ✓ 事故等への対応状況、経緯
- ✓ 事故等が発生した原因

事故等の記録は、事故等の原因を調査するために使用されることも考えられます。また、安全に対する意識を高めるための取組を行う際にも参照されることが考えられます。このため、事故等の記録は、第三者からの求めに対して開示できるように、適切に作成し、管理することが求められます。

5-3. 機体の点検・整備の記録、管理

測量作業機関は、使用する UAV の点検・整備の状況を記録し、その記録を適切に管理する必要があります。記録等を行う点検・整備は、定期点検、運航前後の点検に加え、通常実施している必要な部品の交換、修理、ファームウェア等のアップデートなど、UAV の機体及び関連機器に対する全ての作業が対象です。機体の点検・整備の記録や管理は、整備管理者が責任を持って行います。

機体の点検・整備の記録としては、以下の事項を基本として記録を行います。

- ✓ 機体の識別番号等
- ✓ 点検・整備の日付
- ✓ 点検・整備の実施者(整備者)
- ✓ 点検・整備の内容
- ✓ 機体の部品の交換を行った場合は、交換した部品の位置や数

点検・整備の記録は、整備者の実績を示すために使用されるほか、万が一事故等が発生した場合に、その機体に対して問題がなかったかどうかを検証する際にも使用されることが考えられます。このため、点検・整備の記録は、第三者から

の求めに対して開示できるように、適切に作成し、管理することが求められます。

5-4. バッテリ使用状況の記録、管理

測量作業機関は、バッテリごとに使用や充電の状況について記録し、その記録を適切に管理する必要があります。バッテリ使用状況の記録や管理は、整備管理者が責任を持って行います。

バッテリの使用状況の記録についても、機体の整備・点検の記録と同様に、第 三者からの求めに対して開示できるように、適切に作成し、管理することが求められます。



画像出典:(株)セキド ホームページ (http://www.sekido-rc.com/)

6. あらかじめ作成や実施が必要な事項

UAV を使用した公共測量を実施するに当たり、測量作業機関は、これまでに示した体制等を整備するほかに、次の事項について作成や取組を行うことが必要です。

6-1. 事故対応マニュアルの作成

作業中に事故等が発生した場合に、管理者や、現場で作業に従事している作業員がどのような対応を行うべきかを示した事故対応マニュアルを、測量作業機関はあらかじめ作成することが必要です。マニュアルの作成は、安全管理者が責任を持って行います。

マニュアルには、以下のような事項を記述することが必要です。

- ✔ 事故等が発生した際の一般的な対応手順及び対応方法
- ✓ 緊急連絡体制及び緊急連絡先

事故等が発生した際の一般的な対応については、以下のような事項を順に行う ことが求められます。作業員等がそれぞれどのような行動を、どのような順序でとる べきか、事故対応マニュアルでは具体的な対応方法について示すことが必要で す。

- ✓ (負傷者等が発生した場合)被災者の救出、応急措置
- ✓ 二次災害の発生の防止
- ✓ 警察、消防等の緊急通報受理機関への連絡
- ✓ 事故等の発生現場、状況の確認、情報収集、保存(現場への立入りの規制、 モニタ等の情報の収集や保存、目撃者の確認など)
- ✓ 測量計画機関等の関係機関、関係者への連絡

緊急連絡体制や緊急連絡先については、実際の現場ごとに連絡先が異なります。このため、実際の現場での作業を行う前に、現地調査を行い、情報の更新を行うことが必要となります。(現地調査については、「7-6. 現地調査の実施」を参照。)

国土交通省では、今後の UAV に関する制度の検討を行う上での参考とするため、UAV を運航させる者に対し、UAV による事故等が発生した場合は、情報提供をお願いしています。万が一 UAV による人の死傷、第三者の物件の損傷、機体の紛失、有人航空機との衝突や接近事案が発生した場合には、航空法等の法令違反の有無に関わらず、国土交通省(空港事務所)に対し、情報提供をお願いします。情報提供の方法は、航空局の Web ページ「無人航空機(ドローン・ラジコン

機等)の飛行ルール」(http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html) に掲載されています。

6-2.全ての作業従事者等に対する教育、周知

UAVを使用した測量作業は、通常の測量作業とは異なる対応が必要となります。このため測量作業機関は、各管理者や UAV を使用する測量作業に従事する全ての作業者に対し、UAV を使用する作業の特徴や留意事項などを、作業着手前にあらかじめ教育することが必要です。例えば、UAV の基本的な仕組みや性能、UAV の運航に関する各種法令の概要、UAV を用いた測量の原理や方法、UAV を使用している際の安全確保の方法や事故等が発生した際の基本的な対応方針などを、教育することが求められます。

このほか、「6-1. 事故対応マニュアルの作成」で作成した事故対応マニュアルの内容についても、作業実施前にあらかじめ作業員等に対し周知し、事故の予防に向けて関係者の意識を高めるための取組を行うことが必要です。事故対応マニュアルの周知は、安全管理者が責任を持って行うことが求められます。

6-3. 専門技術者の確保・育成

測量作業機関は、UAV を安全に使用した測量作業を行う上で欠かせない、UAV に関する専門技術者(操縦者及び整備者)について確保に努めなければなりません。また、こうした専門技術者が持つ操縦や整備の知識及び能力の維持、向上を行うため、測量作業機関は必要な研修、訓練等を行うことが必要です。自社で研修、訓練等を行うことが困難な場合は、専門の第三者が主催する講習会等を利用することも考えられます。

7. 運航に当たって事前に行う事項

UAV を使用した公共測量を実施する場合は、実際の運航を行う前に、以下の事項を行うことが必要です。

7-1. 全体計画の作成

UAV を測量作業で使用する場合、測量作業機関は、どのように UAV を使用するのかをあらかじめ示した全体計画を作成することが必要です。

全体計画は運航管理者が中心となって作成します。作成を運航管理者以外の者(現場班長等)が行う場合には、運航管理者の承諾を得ることが必要です。全体計画には、以下のような事項を記載します。

- ✔ 運航予定日時
- ✓ 運航予定範囲(測量作業範囲、UAV 離着陸場等)
- ✔ 運航目的
- ✓ 作業方法(UAV の運航方法、測量方法等)
- ✓ 使用する UAV の種類、識別番号等
- ✓ 運航に当たっての体制(現場班長、操縦者等)
- ✓ 運航の継続又は中止を判断する基準
- ✓ 問い合わせ先、連絡先

運航の継続又は中止を判断する基準については、使用する UAV の性能や、使用環境、操縦者の技能等を踏まえ、特に以下のような事項について、作業毎にあらかじめ定めることが必要です。

- ✓ 運航継続又は中止を判断する降雨や降雪の基準 (機体の性能等を踏まえ、運航中止の基準となる降雨や降雪の量や状況を 定める。)
- ✓ 運航継続又は中止を判断する風の強さの基準 (機体の性能や操縦者の技能等を踏まえ、運航中止の基準となる平均風速、最大風速等を定める。)
- ✓ 運航継続又は中止を判断するバッテリ残量の基準 (機体の性能や運航範囲の広さ、運航方法、運航時の現地の風速等を踏まえ、運航中止や離着陸場への帰還の基準となるバッテリの状況(電圧、 残量等)を定める。)

作成した全体計画は、あらかじめ測量計画機関に提出し、承認を得ることが求められます。作成した計画に変更があった場合も同様です。

また、全体計画は、運航予定範囲内の居住者等に対して、事前に説明を行う際にも活用することが考えられます。このため全体計画は、第三者からの求めに対して開示できるように、適切に作成することが必要です。

7-2. 運航計画の作成

運航計画は、UAV が具体的にどのようなルートを運航し、測量を行うのかを計画したものです。このため、運航計画には、UAV が離陸してから着陸するまでの全ての運航ルートや、ルート上における空中写真の撮影地点等を示すことが必要となります。

運航計画は、運航管理者が中心となって作成します。作成を運航管理者以外の者(現場班長等)が行う場合には、運航管理者の承諾を得ることが必要です。また、測量精度の確保の観点から、運航計画の作成には、測量士が1名以上必ず関与することが必要です。

運航計画は、以下の事項を踏まえた上で作成することが必要です。

- ✓ 測量において求める精度と、これに必要な諸条件(運航高度、運航ルート間の間隔等)
- ✓ 予定範囲の地形や、範囲内に存在する構造物の位置及び高さ
- ✓ 使用する UAV の性能や操縦者の技能、作業体制
- ✓ 作業を行う日時及び当該日時における気象等の条件
- ✔ 離着陸場の場所及びその周辺の環境
- ✓ 航空法その他関連法令で運航が禁止又は制限されている場所
- ✓ プライバシーの配慮(「7-4. プライバシー保護の取組」参照。)

運航計画を立案する際には、使用する UAV の性能について十分配慮することが求められます。特に、測量に必要な情報を取得するために必要となる運航ルートと、実際の UAV の性能(特に、運航速度や連続運航可能時間等)を考慮して、無理のない計画を策定することが必要です。一般には、1 回の運航範囲(UAV が離陸してから着陸するまでの運航範囲)は、0.3km2(30ha)以下とすることが望ましいと考えられます。

● UAV を運航させない場所、施設

運航計画を作成する際には、UAV の運航ルートの直下及び周辺に、以下の施設等が存在することがないよう、計画を定めることを原則とします。ただし、測量計画機関(発注元)と協議の上、一部の条件を変更することができるものとします。

- ✓ 空港関連施設、発電関連施設、防衛施設等
- ✓ 通行制限等の管理を行うことができない道路、鉄道、河川等
- ✓ 不特定の第三者が自由に立ち入ることができる場所であって、立ち入りについて制限や管理を行うことができない場所

空港関連施設については、改正航空法においても、進入表面等よりも下側の空域で運航することが定められています。空港周辺は有人航空機の離着陸が行われるエリアであり、万が一進入表面等の上を UAV が運航した場合には、大きな事故につながる恐れがあります。また、進入表面等の設定や保護空域を持たない飛行場、ヘリポート等も多数あります。このため、空港関連施設の周辺では、極力UAVの運航は行わないよう、配慮が必要です。なお、一般的な空港では、空港等から概ね 6km の範囲で進入表面等は設定されています。

道路、鉄道等の上空の運航も、十分な配慮が必要です。道路、鉄道を高速で通行する車両に対し、万が一 UAV が墜落、衝突した場合には大きな事故を招く恐れがあります。このため、この安全基準(案)では、通行制限等の何らかの規制や管理を行うことができる箇所の道路、鉄道に限り、上空をUAVが運航することができるものとします。道路、鉄道の上空の運航が必要な場合は、それぞれの施設管理者と十分協議の上、必要な措置(道路封鎖等)を行うことが必要です。

● 一定の距離を確保する場所、施設

運航計画を作成する際には、以下の施設等から UAV の運航ルートまでの間に一定の距離を保つことができるよう、計画を定めることを原則とします。ただし、測量計画機関(発注元)や施設管理者等と協議の上、一部の条件を変更することができるものとします。

- ✓ 送電施設(鉄塔、高圧送電線)、強い電波を送受信する施設からは50m
- ✓ その他の施設や構造物、第三者からは30m

● 離着陸場

UAV の離着陸を行う場所は、UAV の性能や操縦者の技能を踏まえ、平坦で十分な広さを確保できる場所を選定することが求められます。また、離着陸を行う土地の占有者に対しては、あらかじめ土地の使用について許可を得ることが必要です。また、UAV の離着陸場から UAV の撮影範囲までの間の運航ルートについては、ルート直下に家屋等ができるだけ存在しないよう、運航ルートを計画することが求められます。

7-3. 居住者等への対応

運航予定範囲(運航ルートの直下及び周辺の範囲)の中には、私有地や家屋等が存在する場合があります。測量作業機関は、UAV を使用した測量作業を行う前に、以下の対応を行うことを原則とします。ただし、測量計画機関(発注元)と協議の上、一部の条件を変更することができるものとします。

● 運航予定範囲内の土地の占有者に対する対応

運航予定範囲内の土地の占有者に対しては、測量作業中に土地の上空を UAVが運航する(立ち入る)ことが想定されることから、測量法第15条の規定に基 づき、あらかじめ通知することが必要です。

なお、土地の占有者に対し通知を行った際に土地への立ち入りや上空での UAV の運航を拒否された場合や、土地の占有者が看板等を用いてあらかじめ土 地の上空でのUAVの運航を禁止する旨の表示等を行っている場合には、測量計 画機関(発注元)と協議の上、対応を検討することが必要です。

● 運航予定範囲内の居住者に対する対応

運航予定範囲内の居住者に対しては、万が一事故等が発生した場合には UAV が居住者の近くに落下等する可能性があることから、安全確保のため、運航 予定日時、運航目的、運航方法等の実施内容を、全体計画等を用いてあらかじ め適切に説明し、運航の許可を得ることを原則とします。この際、居住者から明確 に UAV の上空での運航を拒否された場合には、測量計画機関(発注元)と協議 の上、対応を検討することが必要です。

また、居住者に対しては、UAV を運航する日時には危難が及ぶことがないように上空に注意するよう喚起したり、場合によっては屋内での待機を求めたり、知人等が運航予定範囲内に進入しないよう依頼したりすることが考えられます。

7-4. プライバシー保護の取組

測量作業機関は、UAV を用いた空中写真の撮影等を行うことで、個人を特定する情報や、プライバシーを侵害する情報が写りこまない(例えば、家の表札や車のナンバープレート等の情報や文字が写りこむ画像や、敷地内に干してある洗濯物が識別できる画像、撮影された個々人の識別が可能な画像等を撮影しない)ようにする措置を講じることが必要です。こうした観点も踏まえ、運航計画を作成することが必要です。

測量での必要から、やむを得ずこうした情報を取得する場合には、取得した情報については慎重に取り扱い、適切な情報管理や処理を行うことが必要です。

また、運航予定範囲内の居住者に対し、あらかじめ、撮影の日時や範囲、方法、 取得した画像の使用方法、画像の公開の有無等について明らかにし、居住者か らの要請があった場合には、該当部分を秘匿する等の情報の修正を行うことが必 要です。

7-5. 保険の加入

測量作業機関は、UAVを用いた測量作業における万が一の事故に対応できるよう、保険への加入等の相互扶助の仕組みによって補償の備えをすることが必要です。この場合、保険による補償額は、事故が発生した場合の損害を賄えるものであることが求められます。

保険に加入している事実や、その内容については、運航管理者、安全管理者 及び現場班長は、作業前にあらかじめ十分に把握しておくことが必要です。また、 加入している保険の内容等については、測量計画機関に対し、あらかじめ通知し ておくことが必要です。

7-6. 現地調査の実施

測量作業機関は、全体計画や運航計画を作成するに当たり、作業地域の地形や構造物等の状況について把握し、離着陸を行う場所や運航予定範囲を決定するため、あらかじめ現地調査等を行うことが必要です。

また、現地調査の際は、安全管理上関係する周囲の公共施設等(警察、消防、病院等)について、その場所や連絡先を把握し、全体計画や事故対応マニュアル等に適宜反映させることも行ってください。

7-7. 必要な装備、備品等の準備

その他、UAV を使用した公共測量を行う際の安全の確保に向けて必要となる装備を、測量作業機関は適宜準備します。準備することが必要と考えられる装備等としては、消火設備、救急救命用品、通信機器等があります。作業体制や状況に応じて、適切に準備が必要です。消火設備については、UAV が墜落等した際に生じる火災への対応として準備しますが、発火したバッテリ本体に対しては、水を使用した消火はできません。このため専用の消火剤や消火クロス等を準備し携行することが求められます。

また、緊急時など作業者が私有地等に立ち入る場合も考えられることから、 UAV を使用した測量作業を行う際には、測量作業機関は作業を行う全ての関係 者に対し、測量計画機関の発効する身分証明書を携帯させることが必要です。

7-8. 必要な届出等

航空法に定められたルールによらずに UAV を運航させる場合には、安全面の措置をしたうえで国土交通大臣の許可や承認を得ることが必要です。作成する全体計画等を元に、運航する空域(空港周辺ではないか、DID の上空ではないか等)、運航する方法(運航時間帯が日中か、操縦者の目視範囲内かどうか等)について再確認し、許可や承認を受けることが必要な場合には、適切に申請を行うことが必要です。申請は、国土交通省又は各空港事務所に対し、運航させる10日前(土日祝日等を除く。)までに行うことが求められます。申請書や申請の方法などについては、航空局のWebページを参照してください。なお、上記申請により、UAVの運航の許可や承認を得た場合であっても、UAVを運航させる予定の空域を占有できるということではありません。運航させる際には、有人航空機を含む他の航空機や地上の物件等と接近することがないように、十分に留意することが必要です。

例えば道路における車両等の通行を規制したり、一部を占有したりして作業を行う場合には、道路管理者は地元警察署等に対して、必要な届出を行うことが必要です。この他、UAVを使用した公共測量作業を実施する上で必要となる届出等については、作業を開始する前に適切に行うことが必要です。

8. 現場における運航に当たっての留意事項

測量作業現場において UAV を運航させる場合の留意事項は以下のとおりです。現場での作業は、現場班長の指示に従い行います。

8-1. 機体の運航前点検

測量作業現場において整備者は、UAVを運航させる直前に、使用するUAVの機体の状態について点検を行うことが必要です。運航前点検では、機体の外観に加え、ネジの締付状態、バッテリの状態、送信機の状態等を確認します。また、測量に必要な機材(カメラ、記録媒体等)についても、適切に装着されているか、正常に稼動するかどうかを確認します。

運航前点検の段階で異常が発見された場合は、適切な整備、機器の交換等を 行いますが、それでも異常を修復できず、正常で安全な運航ができないと判断さ れる場合には、現場班長は整備者と相談の上、運航の中止を決定しなければなり ません。

この他、運航前には必要に応じて機体の航法用センサ等のキャリブレーション (イニシャライズ、初期化)を行います。キャリブレーションは、例えば鉄板の上では 行わないなど、各機体の製造元が指定する方法に従って適切に行うことが必要です。また、キャリブレーションが必要な機体においてキャリブレーションを適切に行うことができない場合には、現場班長は整備者と相談の上、運航の中止を決定しなければなりません。

なお、運航前点検の結果は、整備者が適切に記録し、作業後に整備管理者に 報告することが必要です。

8-2. 運航計画の最終確認と登録

実際の運航は、基本的には、あらかじめ作成した運航計画に基づいて UAV の運航を行うことが求められますが、運航を行う当日の現場の状況(気象状況、イベント等の実施状況等)によって、計画の変更が必要となる場合があります。このため、現場班長は、作業現場周辺の気象情報を収集するとともに、作業現場周辺における作業当日の状況(運航予定範囲の電波や地磁気の状況、イベントの有無、道路等における交通状況、周辺への第三者の立ち入りの状況等)について確認することが必要です。

気象情報としては、天候、気温、風速、日出・日没時刻、気象警報等の有無等をあらかじめ収集するとともに、現場における実際の天候、降雨や降雪の有無、最大風速等を把握することが求められます。あらかじめ策定した全体計画に示した

運航中止の判断基準に基づき、降雨や降雪、風の状況を踏まえ、運航の継続又は中止を判断することが必要です。風の状況について適切に把握するためには、必要に応じて風速計等を使用することも考えられます。

電波の状況に関しては、運航予定範囲内及びその周辺に電波を発する施設等があるなど電波干渉の可能性がある場合には、電波の状態を調査することが推奨されます。電波の状態の調査は、スペクトラムアナライザ等を用いて行うことができますので、電波干渉が発生する心配のある場所において UAV の運航を計画する場合は、必要な機器等の準備が求められます。調査の結果、UAV の安全な運航に支障を及ぼすと考えられる場合には、当該要因を排除するか、運航を中止することが必要です。

これらの情報を参考に、現場班長は運航計画の妥当性について運航直前に最終確認を行い、作業の実施の有無や運航計画の必要性の有無について判断することが必要です。運航計画の変更が必要と判断した場合には、運航管理者と相談の上、適切な計画へと修正することが必要です。この際、あらかじめ作成した運航計画を超える範囲、時刻の運航を行うことは認められません。また、測量の精度を確保する観点から、運航計画の変更に当たっても測量士が関与することが必要です。

その上で、UAV による自動運航を行うため、最終的な運航計画に基づく運航コースに関する情報について機器に登録を行います。また、フェイルセーフ機能を発動する上で必要となる運航範囲、運航高度等の情報についても登録を行います。これらの情報の登録及び登録された情報の内容の確認は、現場班長、操縦者等の複数の者で行い、必ずダブルチェックを行います。

8-3. 作業体制の確認

● 運航計画の説明と把握

現場班長は、作業に従事する全ての者(機体監視者、保安員を含む。)に対し、 最終的な運航計画(運航範囲、運航ルート等)を運航前に説明することが必要で す。作業に従事する全ての者は、運航計画について適切に把握し、それぞれの 役割に従って作業を行うことが求められます。

● 居住者に対する最終案内

運航予定範囲内の居住者に対しては、「7-3. 居住者等への対応」のように、 あらかじめ計画を伝え、運航の許可を得ているところですが、実際の運航の直前 には、今から運航を実施することを再度連絡し、運航中には上空の UAV への注 意等の協力を依頼することが必要です。

● 必要な装備等の着用

作業に従事する全ての者は、ヘルメット等を着用し、身の安全を守ることが必要です。また、作業に従事する全ての者は、情報共有用の通信機器やホイッスル、拡声器等を着用することが必要です。

● 作業員相互の意思疎通について

UAV の運航中は、運航状況等について作業に従事する全ての者で情報を共有するため、通信機器等を用いて、常に相互の意思の疎通を図ることが必要です。また、モニタ監視者、機体監視者及び保安員は、運航中、機体及び周辺の監視を常に行い、万が一異常が発生した場合には、通信機器等を用いて、現場班長又は操縦者に対し、早急にその旨を伝えることが必要です。

● 体制の最終確認

現場班長は、現場における作業員の配置状況等を確認した上で、運航の開始 を指示しなければなりません。

8-4. 慣らし運転

作業体制が整い、運航計画に基づく運航を行う直前に、操縦者は UAV の慣ら し運転を行い、機体の調子を確認することが必要です。

慣らし運転では、3m 程度の高度まで UAV を上昇させ、安定してホバリングできるかどうか、異常な動作及び異常音は無いか、GNSS の信号を適切に受信できているか、バッテリ残量の表示を含め、モニタに表示される情報が適切であるか、コントローラの操作に対し正常に動作するかを確認します。

慣らし運転において UAV に異常が見つかった場合は、再度整備を行うことが必要ですが、整備によっても異常を修復できず、正常で安全な運航ができないと判断される場合には、現場班長は整備者と相談の上、運航の中止を決定しなければなりません。

8-5. 運航中止の条件

UAV の運航中に以下の状況が発生した場合には、現場班長は操縦者に対し 運航を中止するよう指示を出し、操縦者は直ちに運航を中止しなければなりませ ん。運航を中止する場合は、離着陸場又はあらかじめ定められた場所に戻るか、 その場でゆっくりと降下することが必要です。

✓ 天候、気象条件が急変した場合

- ▶ 電鳴が聞こえた場合
- ▶ 降雨又は降雪の状況があらかじめ定めた基準を超えた場合
- ▶ 風の状況があらかじめ定めた基準を超えた場合
- ➤ その他、霧の発生等 UAV の運航及び監視に影響を及ぼす気象条件 が発生した場合
- ✓ 有人航空機、別の UAV、凧、鳥類など他の運航体が接近した場合
- ✓ 地上の構造物(建物、鉄塔、電線等)に対し接近した場合
- ✓ 運航中の機体の部品の一部が破損し、又は落下した場合
- ✓ 運航中の機体が異常動作し、又は異常音が発生した場合
- ✓ バッテリ容量が減少しあらかじめ定めた基準を下回った場合
- ✓ GNSS 信号を正常に受信できなくなった場合
- ✓ 機体とモニタ間の無線通信が遮断され、機体の状況を監視できなくなった場合
- ✓ 無線が混信する等、正常な無線通信が行われない恐れが生じた場合
- ✓ 事故の発生その他緊急に運航を中止する必要が生じた場合

8-6. 運航終了後の対応

運航終了後、現場班長は、当該運航の状況について適切に記録し、運航管理者に報告することが必要です。万が一運航中に事故又はこれにつながる恐れのある事案が生じた場合には、現場班長はこれを適切に記録し、運航管理者及び安全管理者に報告することが必要です。

このほか、整備者は、運航終了後に UAV の機体の点検を行い、異常がないかを確認・記録し、運航前点検の記録と合わせ、整備管理者に報告することが必要です。

8-7. 事故発生時の対応

万が一事故が発生した場合には、作業現場にいる全ての作業者は、事故対応マニュアルに従い協力して速やかに対応を行い、被害を最小限にとどめるよう努めなければなりません。また、事故の発生状況について現場班長は正確に把握し、記録するとともに、第三者による客観的な検証や原因の究明が可能となるよう、現場や機体の保全、機体の位置や状態に関する情報の保全等に努めることが必要です。

事故対応マニュアルに従い、測量計画機関等の関係機関に対しても適切に通知を行うことが必要です。さらに、運航範囲内の居住者に対しても、適切に情報の

提供を行うことが求められます。

なお、UAV に搭載されているバッテリは、墜落や衝突による衝撃を受けて発火する恐れがあります。このため、監視者等作業現場にいる関係者が UAV の機体を視認できなくなり見失った場合には、機体が完全に水没し安全上回収不可能であることを確認できた場合を除き、機体の捜索や回収を確実に行うことが必要です。



(参考1) 用語集

● UAV(無人航空機、Unmanned Aerial Vehicle)

無人で運航する航空機の総称。航空法では「人が乗ることができない飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船であって、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの」とされており、重量(機体の全重量)が 200g 以上のものとしている。

● コントローラ

UAV を遠隔操作する際に使用する機器(端末)。送受信機、プロポとも呼ばれる。

● モニタ

UAV の状態(運航位置や機体の動作状況、バッテリの状況等)に関する情報を UAV の機体から受信し表示する機器(端末)。コントローラと一体となっている機器 もある。テレメトリーとも呼ばれる。

● マルチコプター

複数の回転翼を有するUAV。4枚の回転翼を持つ機体が多いが、3枚翼、6枚翼、8枚翼の機体など、様々なものが存在している。

● フェイルセーフ(機能)

UAV の動作が不良となったり、事故等が発生した場合など、予期せぬ事態が発生した際に、自動的に UAV の動作を中止したり、一定の動作を行うことで、安全の確保を行うこと、またその機能。

● ジオフェンス(機能)

あらかじめ指定した空域(水平方向、高さ方向とも)を超えて UAV が運航しようとした場合に、それを防ぐための仕組み(機能)。ジオフェンス機能を活用するには、UAV が GNSS 信号等を正常に受信して、自らの位置情報を正確に得ることができていることが必要となる。

● フライトログ

UAV の運航の状態(運航位置、機器等の動作状況等)を自動的かつ定期的に記録したもの。

● ファームウェア

UAV の機器に組み込まれたソフトウェアの一種で、UAV の基本的な制御等を 司る機能を持ったもの。UAV に関する技術開発が進む中で、より適切かつ安全な UAV の運航が行えるよう、ファームウェアはアップデート(更新)されることがある。

バッテリ

UAV の動力源となる電源を格納するための装置。UAV では、小型で大容量のバッテリが求められることから、多くの機体ではリポ(リチウムポリマー、Li-Po)バッテリが使用されている。

● DID(人口集中地区、Densely Inhabited District)

市区町村の区域内で人口密度が 4,000 人/km²以上の基本単位区が互いに隣接して人口が 5,000 人以上となる地区で、国勢調査の結果を元に設定される。

● FPV(ファースト・パーソン・ヴュー、First Person View)

UAV に装備されたカメラで撮影した映像を、リアルタイムで地上の端末で確認することができる装置。

● GNSS(全地球航法衛星システム、Global Navigation Satellite System)

人工衛星からの信号を受信して、位置を正確に求める仕組み。アメリカの GPS や日本の準天頂衛星などが使用される。

(参考2)関係資料リンク集

● 無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール

http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html 国土交通省航空局の Web ページ。無人航空機に関する説明、ルール、許可・承認の申請手続きの方法などが記述されている。

● 無人航空機(ドローン、ラジコン機等)の安全な飛行のためのガイドライン

http://www.mlit.go.jp/common/001110370.pdf 国土交通省航空局が示す、安全な運航のための基本的なガイドライン

● 無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領

http://www.mlit.go.jp/common/001110202.pdf

国土交通省航空局による、航空法に基づいて国土交通大臣の許可や承認を 得る際の申請方法や申請書の記述内容、許可等を得る条件等を示した審査要領。

●無人航空機(ドローン、ラジコン機等)の飛行に関するQ&A

http://www.mlit.go.jp/common/001110417.pdf 国土交通省航空局が示す、無人航空機の飛行に関する Q&A。用語や条件の 定義や内容、遵守が必要な事項等が示されている。

● 産業用無人航空機安全基準「小型固定翼機・無人地帯用【電動用】」

http://www.juav.org/menu02/anzenkijun_kogatakoteiyoku.pdf 日本産業用無人航空機協会(JUAV)が定めた安全基準。

● 測量調査に供する小型無人航空機を安全に運航するための手引き

http://www.isprs.ip/pdf/UAV20150525.pdf

一般社団法人日本写真測量学会が取りまとめた安全運航のための手引き。

● 地理院地図

http://maps.gsi.go.jp/?z=9&ls=did2010 国土地理院が提供する地図サービス(地理院地図)で、DID の範囲を表示可能。

●ドローン専用飛行支援地図サービス

http://uas-japan.org/mapservice/

一般社団法人日本 UAS 産業振興協議会(JUIDA)が提供する、UAV の運航に 関する様々な情報提供、Web サービス。