

## 第5編 参考 要領(案)・仕様書(案)

森林整備保全事業における ICT を活用した調査・測量実施要領(案)	別紙 1
森林整備保全事業 UAV 写真測量標準仕様書(案)	・・・・・・・・・・別紙 2

第5編 参考 要領(案)・仕様書(案)

# 目次

【用語の定義】 .....	1
1. 目的 .....	4
2. 適用 .....	4
2-1 治山事業 .....	5
2-2 林道事業 .....	7
3. ICTを活用した測量 .....	9
3-1 測量方法別の特徴 .....	9
3-2 UAV写真測量 .....	9
3-2-1 使用するUAV .....	9
3-2-2 UAVの運航条件 .....	11
3-2-3 数値地形図の地図情報レベル及び精度 .....	15
3-2-4 標定点及び検証点の設置 .....	15
3-2-5 標定点及び検証点の測量 .....	17
3-2-6 写真撮影 .....	18
3-2-7 山地での留意点 .....	21
3-3 UAVレーザ測量 .....	23
3-3-1 使用するUAV .....	23
3-3-2 ボアサイトキャリブレーションの実施 .....	24
3-3-3 UAVの運航条件 .....	25
3-3-4 成果品の要求点密度と要求精度 .....	25
3-3-5 標定点の設置 .....	27
3-3-6 作業計画の作成 .....	27
3-3-7 計測諸元 .....	28
3-3-8 山地での留意点 .....	31
3-4 地上レーザ測量 .....	33
3-4-1 使用する地上レーザスキャナ .....	33
3-4-2 標定点の配置 .....	33
3-4-3 標識の配置 .....	34
3-4-4 山地での留意点 .....	35
3-5 航空レーザ測量成果の活用 .....	37
3-5-1 航空レーザ測量の特徴 .....	38
3-5-2 治山事業での活用 .....	38

3-5-3	林道事業での活用 .....	39
4.	治山事業 .....	40
4-1	測量業務 .....	40
4-1-1	溪間工の測量 .....	40
4-1-2	山腹工の測量 .....	42
4-2	設計業務 .....	44
4-2-1	点群データ処理と構造化 .....	44
4-2-2	3次元データによる設計 .....	45
4-3	測量設計業務以外での活用 .....	47
4-3-1	災害時の概算数量把握 .....	47
4-3-2	治山全体計画及び予備測量 .....	47
5.	林道事業 .....	49
5-1	路線測量 .....	49
5-1-1	測量方法の選定 .....	49
5-1-2	図上設計の検討 .....	49
5-1-3	路線測量区分別の適用 .....	50
5-2	林道設計 .....	53
5-2-1	点群データ処理と構造化 .....	53
5-2-2	3次元データによる設計 .....	53
5-3	測量設計業務以外での活用 .....	55
5-3-1	林道の被災状況把握 .....	55



## 【用語の定義】

本要領で使用する用語について以下に示す。

### ・ ICT

Information and Communication Technology（情報通信技術）の略であり、インターネットのような通信方法を利用した産業技術やサービス等の総称である。

### ・ UAV

Unmanned aerial vehicle の略であり、人が搭乗しない航空機（無人航空機）のことである。UAVには、回転翼、固定翼、可変翼などのタイプがあり、飛行距離や飛行時間が異なる。

### ・ UAV写真測量

UAVに搭載したカメラにより取得した画像を解析して地形情報を得る測量方法。撮影点が異なり対象物が重複して映っている画像を基に、撮影位置、レンズの諸元等による解析を行い、対象物の位置的情報を算出する方法である。UAVによる撮影ということで、短時間に広域の地形情報を得ることが可能である。

### ・ レーザ測量

レーザー（指向性と収束性の高い単一波長の電磁波）を用いて距離を測定するもので、この距離と機械位置及び照射方向から、対象物の位置を把握する。

### ・ 航空レーザー測量

航空機によるレーザー測量である。航空機にはUAVも含まれるが、本要領では、これまで一般的に行われてきた有人航空機によるレーザー測量を示すこととし、UAVによるレーザー測量を含まないものとする。

### ・ UAVレーザー測量

航空レーザー測量を有人航空機として定義したことに対するもので、無人航空機によるレーザー測量を示す。

### ・ 地上レーザー測量

地上でレーザー測定器を設置して計測する方法。種類として三脚や一脚を用いる据置型、背中に背負うバックパック型、手に持って移動するハンディー型などがある。本要領では据置型を対象とする。

- ・ **標定点**

標定点とは、ICTを活用した測量において用いられる基準点で、平面位置や標高等を補正するために必要な点である。UAVレーザ測量では「調整基準点」ともいわれるが、本要領においてはすべて「標定点」とする。

- ・ **検証点**

検証点とは、標定点により位置及び標高補正が行われた3次元データの位置及び標高が正しいものであるか検証するための点である。

- ・ **点群データ**

3次元の位置情報をもったデータである。一般的にUAV写真測量、各種レーザ測量の成果として取り扱われ、テキスト形式(xml、csv、txt等)で保存される。

- ・ **TIN データ**

triangulated irregular network (不規則三角網)の略で、地表面を三角形の集合で表現するものである。点群データと比較しデータ容量が小さいことや、様々な電算処理を効率的に行える利点がある。

- ・ **グリッドデータ**

グリッドデータとは、3次元の地形情報を等間隔の方形区状に区切られたセルで表現したものである。

- ・ **G N S S**

Global Navigation Satellite System (全球測位衛星システム)の略で、衛星を用いた地球規模の位置測位システム。なお、GPSはGNSSのひとつでアメリカが打ち上げた衛星を用いた位置測位システムを指す。GNSSにはGPS以外にも、QZSS (日本)、GLONASS (ロシア)、Galileo (EU)、Beidou (中国)などがある。

- ・ **R T K**

Real Time Kinematic (リアルタイムキネマティック)の略で、正確な位置が把握されている基準局(RTKベースステーション)から補正情報を受け取ることにより正確な位置を得るシステム。一般的にGNSSと合わせてRTK-GNSSとして用いられる場合が多く、衛星を用いた測位と、基準局からの補正データを組み合わせることで、GNSSの精度を高め、誤差の少ない位置情報を得ることが可能となる。

- ・トータルステーション（TS）

距離を測定する光波測距儀と、角度を測るセオドライトを組み合わせたものであり、角度と距離測定を同時に行うことが可能である。通常の測角測距法の測量で最も使用されているものである。

- ・IMU

Inertial Measurement Unit（慣性計測装置）の略で、3次元の慣性運動を検出し、機体が動いているか回転しているか、現在どのような姿勢であるか等の検出を行うシステムである。

- ・地図情報レベル

数値地図データの地図表現精度を表したもので、数値地形図における図郭内のデータの平均的な精度を示す指数である。地図情報レベル 2500 とは、アナログ地図で 1/2500 の縮尺の地図相当の位置と高さの精度があることを示している。

表 地図情報レベルと地図縮尺の関係

地図情報レベル	相当縮尺
250	1/250
500	1/500
1000	1/1,000
2500	1/2,500
5000	1/5,000
10000	1/10,000

## 1. 目的

近年ICT技術は、社会基盤、ハード、ソフトともに飛躍的に発展しており、森林整備保全事業においても、これらICT技術を活用することで、効率的な事業実施が可能となる。しかし、ICT技術を活用する場合には、都市部のような画一的な立地環境が適しているが、林地内の複雑な立地環境下では、作業環境及び成果品精度の低下等の問題が生じる。

ICT技術は、効率化を図る上で必要な技術であることから、森林整備保全事業においても積極的に活用する必要がある。よって、山地におけるICT技術の活用方法を要領としてとりまとめることで、新技術の利用推進を図ることとする。

## 2. 適用

本要領は、ICT技術を活用した測量設計に関する実施方法を示したものであるが、測量方法については、基本的に国土交通省で示している関連する下記のマニュアルや要領等に準じて行う。本要領は、山間地で実施されることの多い林野公共事業等で実施を対象とした、関連するマニュアルや要領等の運用方法、留意すべき事項等を取りまとめたものである。

国土交通省で示されているマニュアル及び要領等

- ・電子基準点のみを既知点とした3級基準点測量マニュアル（案）について（令和3年6月）
- ・UAVを用いた公共測量マニュアル（案）について（平成29年3月改正）
- ・UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）について（令和2年3月改正）
- ・地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）について（平成30年3月改正）
- ・GNSS測量による標高の測量マニュアルについて（平成29年2月）
- ・ネットワーク型RTK-GPSを利用する公共測量マニュアル（案）（平成17年度）

## 2-1 治山事業

治山事業における測量業務及び設計業務を対象とする。



図 2-1 治山事業における ICT を活用した業務フロー

森林整備保全事業調査、測量、設計及び計画業務標準仕様書の山地治山等測量では、「基準点測量等」、「山地治山等測量」、「地すべり防止測量」に区分されている。

この中で、山地治山等測量において、地形の形状を把握するものは、「中心線測量」、縦断測量、「横断測量」及び「構造物計画位置横断測量」である。このことから、この4つの工程について、ICTを活用した測量により実施する。

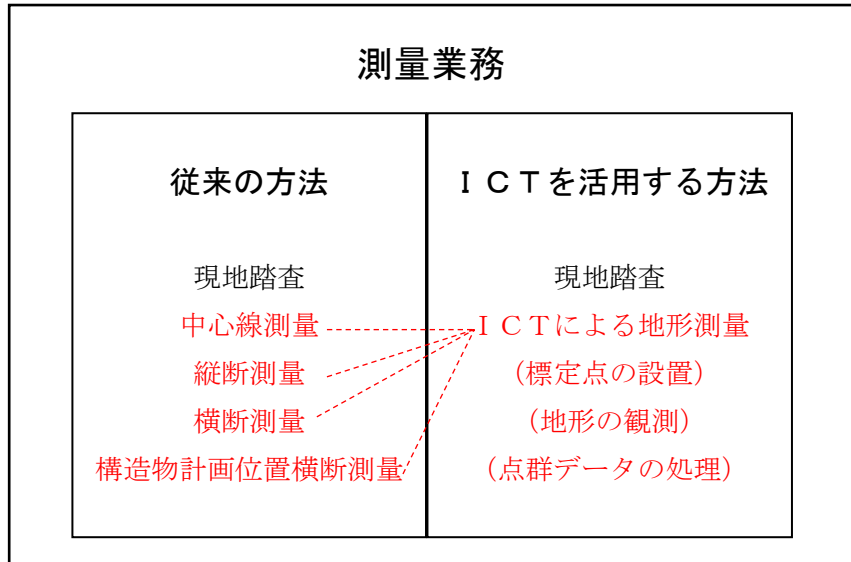


図 2-2 測量項目の比較

## 2-2 林道事業

本要領では、林道事業で実施されている、路線測量及び林道設計を適用範囲とする。

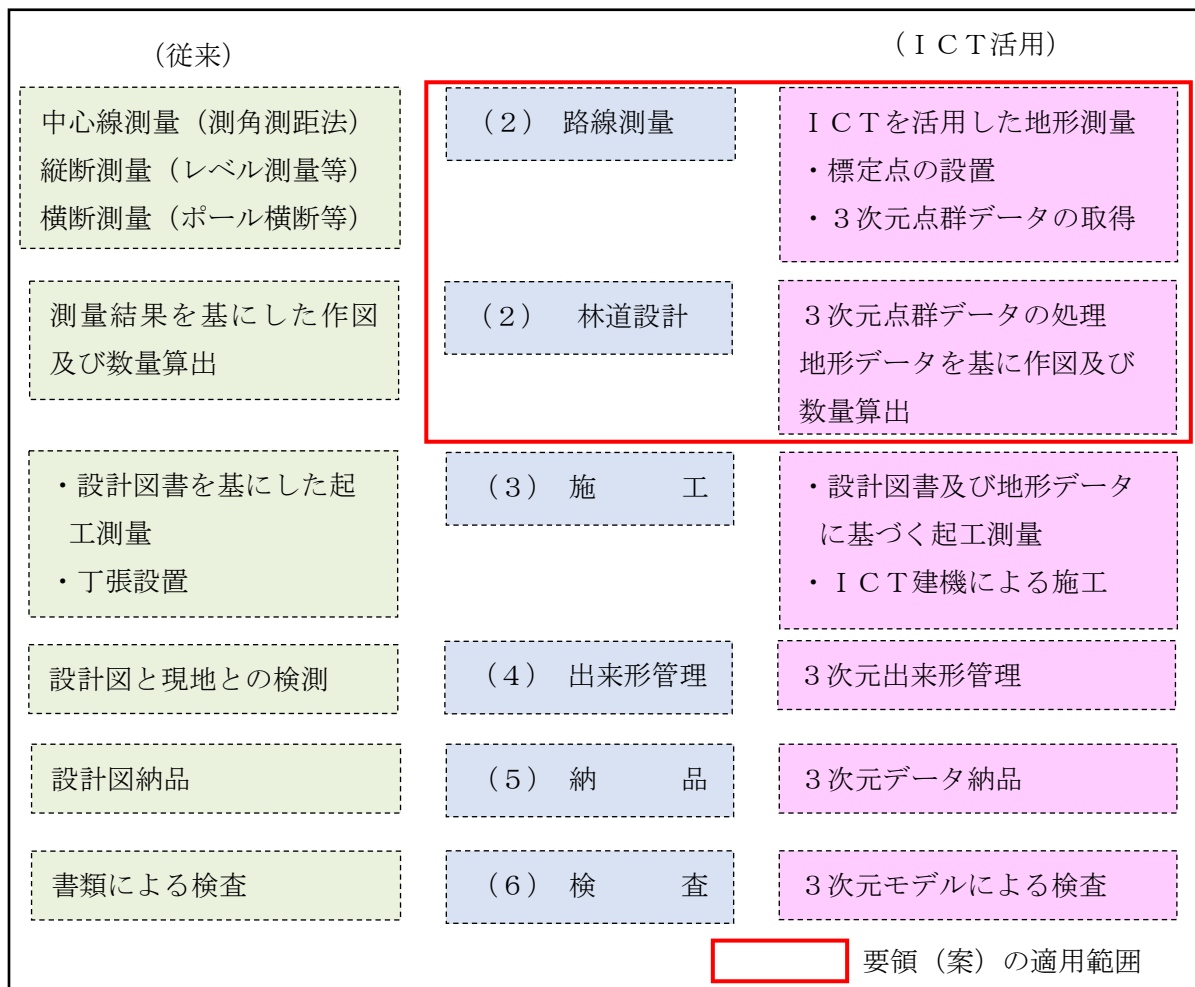
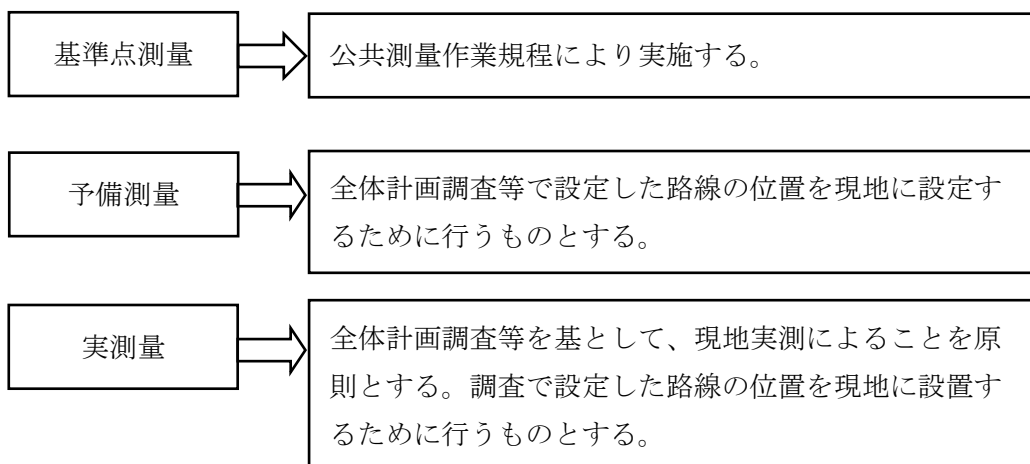


図 2-3 林道事業における ICT を活用した業務フロー

路線測量では、「基準点測量」、「予備測量」、「実測量」に区分されている。



路線測量の中で、工事实行に必要な測量は「実測量」であり、これには「I.Pの選定」、「中心線測量」、「縦断測量」、「横断測量」、「平面測量」、「伐開」がある。この中で、地形の形状を把握するものは、「縦断測量」、「横断測量」及び「平面測量」であり、この工程についてICTを活用することができる。ただし、一例として、短い区間の林道災害箇所の場合、検討に必要な対象範囲すべての地形データを得ることができれば、ICTを活用した測量により取得したデータで図上設計が可能となり、「I.Pの選定」、「中心線測量」を省略することができる。

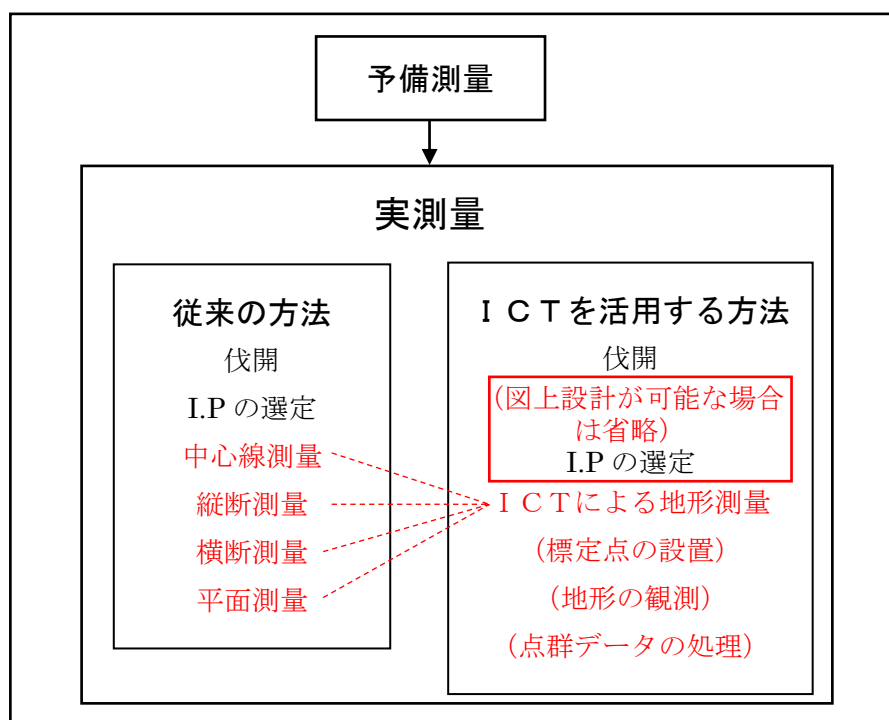


図 2-4 測量項目の比較



### 3. ICTを活用した測量

本実施要領で取り上げるICT技術は、UAV写真測量、UAVレーザ測量、地上レーザ測量の3つである。これらはいずれも3次元の地形の情報を得るために使用するもので、従来の点的な情報から面的な情報を得ることが可能である。

また、前述の3つの測量方法に加えて、従来から行われてきた有人の航空機による航空レーザについて、その既存データの活用方法についても取り上げる。

#### 3-1 測量方法別の特徴

本要領で示す3つの測量方法について、その特徴を取り上げまとめる。なお、適正範囲及び作業時間については、それぞれの好条件下での数値や対比を示している。また、導入コストについては、2021年度時点の一般的な機材を想定した。

表 3-1 測量方法別の特徴

	UAV写真測量	UAVレーザ測量	地上レーザ測量
摘要条件例	上空から対象物（地表面）が目視できること	地上に木漏れ日が入る程度の植生はあっても良い	地上レーザ機器設置箇所から対象物が視認できること
適正範囲	100ha程度以下	数百haまで	数ha以下
作業時間	◎	○	△
導入コスト	◎	△	○

#### 3-2 UAV写真測量

UAV写真測量は、UAVに搭載されたカメラによって撮影された写真を用いる方法であり、カメラ搭載UAV機体の汎用性が高まったことと、画像から地形データを解析するソフトが開発されたことにより普及した技術である。

##### 3-2-1 使用するUAV

使用するUAVについては、国土交通省国土地理院発行の「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）により公共事業において使用するUAVについて以下の様な基準を設けている。本要領においても安全面から原則として以下に示す基準に準ずる機体を使用することとする。

### 使用するUAVの諸元等

バッテリーで駆動する中・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の機体やバッテリー、カメラ等の測量機器を全て含む離陸時の全重量をいう。）が25kg未満のものとする。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する。

### 使用するUAVに必要な機能

#### ○自動運航機能

機体に搭載されたGNSSを利用して位置情報等を把握し、予め計画されたルートに従い、自動で運航を行う機能。これにより、運航ルートの位置の精度を保持し、操縦者に対する負担を減少させることが可能となる。

#### ○モニタ監視機能

機体の位置や搭載された機器等の状態、バッテリー残量等を、モニタを通じてリアルタイムで監視できる機能。UAVの運航中、万が一視認できなくなる事態が発生した場合、その位置や状態を把握することが期待でき、安全性を高める上で重要な機能である。

#### ○フェイルセーフ機能

機体に異常が生じた場合等、運航を継続することができない事態が発生した場合、直ちに運航を中止させる機能。中止した場合は、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ある。フェイルセーフ機能は、以下のような場合に動作するものとする。

- 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
- 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
- バッテリー残量が指定値を下回った場合
- その他、機体に異常が生じ、安定した運行を継続できなくなった場合

#### ○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を記録する機能。万が一事故等が発生した場合、フライトログを使用することで、その原因等の把握が容易になると期待される。

### 3-2-2 UAVの運航条件

UAVの運航は、航空法（昭和27年法律第231号）と重要施設の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律（平成28年法律第9号。以下「小型無人機等飛行禁止法」という。）の2つの法律を遵守した上で使用しなければならない。

航空法および小型無人機等飛行禁止法により規制される空域、および飛行の方法を避けて使用することを原則とする。

なお、これら関係する法規等は頻繁に改正が行われていることに留意し、UAVを使用する場合には最新の法令を確認した上で使用する必要がある。以下に示す内容は令和4年3月のものである。

#### ①航空法に基づき、無人航空機の飛行許可が必要な空域

- 空港等の周辺の空域
- 緊急用務空域
- 地表又は水面から150m以上の高さの空域
- 人口集中地区の上空

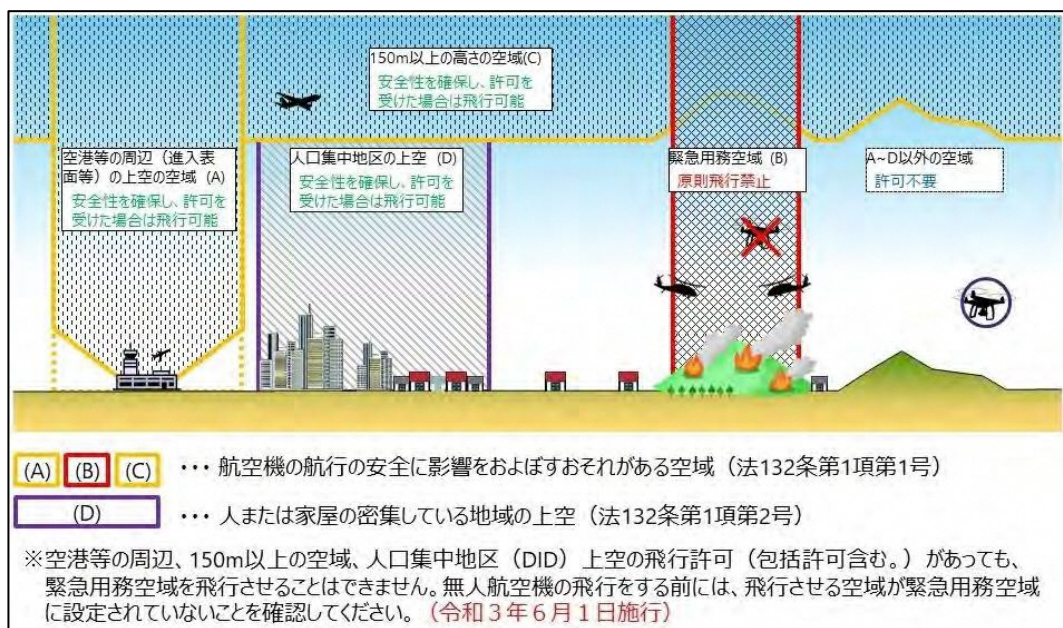


図 3-1 飛行の許可が必要となる空域イメージ図（国土交通省ホームページより）

#### ②航空法に基づき、禁止または地方航空局長の承認を受ける必要がある飛行の方法

##### < 遵守事項 >

状況によらず遵守すべき事項

- アルコール又は薬物等の影響下で飛行させないこと
- 飛行前確認を行うこと
- 航空機又は他の無人航空機との衝突を予防するよう飛行させること

○他人に迷惑を及ぼすような方法で飛行させないこと

<承認が必要となる飛行の方法>

以下のルールによらずに無人航空機を飛行させようとする場合には、あらかじめ、地方航空局長の承認を受ける必要がある。

○日中（日出から日没まで）に飛行させること

○目視（直接肉眼による）範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること

○人（第三者）又は物件（第三者の建物、自動車など）との間に30m以上の距離を保って飛行させること

○祭礼、縁日など多数の人が集まる催しの上空で飛行させないこと

○爆発物など危険物を輸送しないこと

○無人航空機から物を投下しないこと

③小型無人機等飛行禁止法に基づき、飛行が禁止されている場所

○対象施設の敷地・区域の上空（レッド・ゾーン）

○周囲おおむね300mの上空（イエロー・ゾーン）

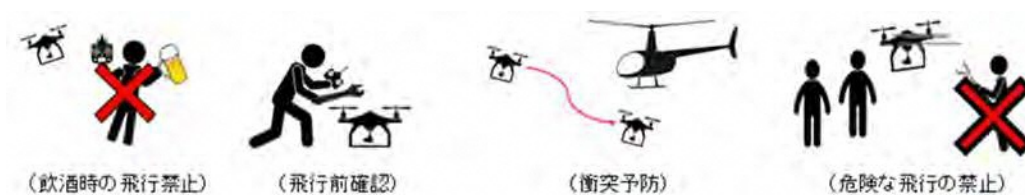
小型無人機等飛行禁止法に基づき指定する施設の詳細は警視庁のサイトより確認する。

<https://www.npa.go.jp/bureau/security/kogatamujinki/index.html>

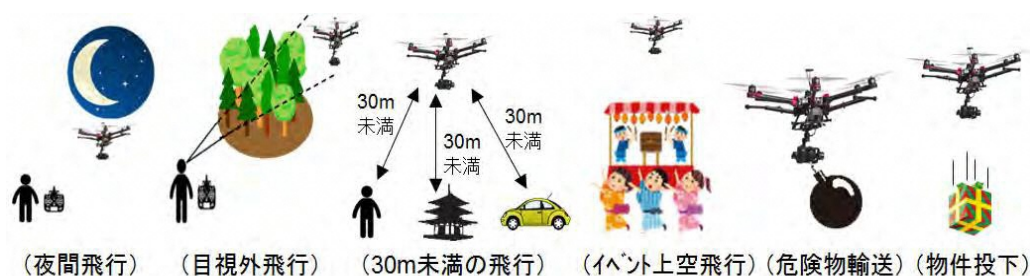
(参考) 無人航空機の飛行の方法 (国土交通省ホームページより)

- [1] アルコール又は薬物等の影響下で飛行させないこと
- [2] 飛行前確認を行うこと
- [3] 航空機又は他の無人航空機との衝突を予防するよう飛行させること
- [4] 他人に迷惑を及ぼすような方法で飛行させないこと
- [5] 日中 (日出から日没まで) に飛行させること
- [6] 目視 (直接肉眼による) 範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること
- [7] 人 (第三者) 又は物件 (第三者の建物、自動車など) との間に30m以上の距離を保って飛行させること
- [8] 祭礼、縁日など多数の人が集まる催しの上空で飛行させないこと
- [9] 爆発物など危険物を輸送しないこと
- [10] 無人航空機から物を投下しないこと

< 遵守事項となる飛行の方法 >



< 承認が必要となる飛行の方法 >





## 小型無人機等飛行禁止法の概要

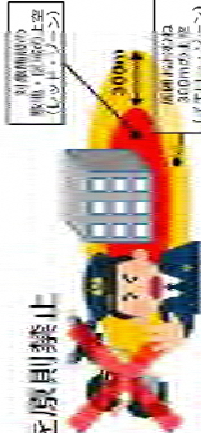
重要施設及びその周囲おおむね300mの周辺地域の上空における小型無人機等の飛行を原則禁止

② 特定航空用機器を用いて人が飛行すること

① 小型無人機を飛行させること

〔 無人飛行機(ラジコン飛行機等)、無人滑空機、無人回転翼航空機(ドローン等)、無人飛行船 等 〕

〔 気球、ハンググライダー、パラグライダー 等 〕



### 対象施設

#### ① 国の重要な施設等

- ・ 国会議事堂等 [衆議院議長・参議院議長指定]
- ・ 内閣総理大臣官邸等 [内閣総理大臣指定]
- ・ 危機管理行政機関 [対象危機管理行政機関の長指定]
- ・ 最高裁判所庁舎 [最高裁判所長官指定]
- ・ 皇居・御所 [内閣総理大臣指定]
- ・ 政党事務所 [総務大臣指定]

#### ② 防衛関係施設

- ・ 自衛隊施設 [防衛大臣指定]
- ・ 在日米軍施設 [防衛大臣指定]

#### ③ 外国公館等 [外務大臣指定]

④ 空港 [国土交通大臣指定]

#### ⑤ 原子力事業所 [国家公安委員会指定]

### 飛行禁止の例外

対象施設	原則		防衛関係施設・空港
	周辺300m	周辺300m	
対象施設の管理者又はその同意を得た者による周辺地域上空の飛行	○	○	○
土地所有者等又はその同意を得た者による当該土地上空の飛行	○	○	×
国又は地方公共団体の業務実施のために行う周辺地域上空の飛行	○	○	×

飛行の前に、あらかじめ、都道府県公安委員会(警察)・管区海上保安本部長等に通報しなければならぬ。

※ 対象防衛関係施設、対象空港の周辺地域上空の飛行については、施設の管理者への通報も必要。

### 違反に対する罰則等による命令・措置

- 警察官等は、違反者に対して、機器の除去その他の必要な措置をとることを命令することができる。
- やむを得ない限度において、小型無人機等の飛行の妨害、機器の破損をとることができる。
- 命令に違反した場合は1年以下の懲役又は50万円以下の罰金(レッドゾーンの飛行は命令の有無を問わず罰則適用)

※ 海上保安官(海域)、皇宮護衛官(皇居・御所)、施設警備自衛官(防衛関係施設)、空港管理者等(空港)も対象。

### 3-2-3 数値地形図の地図情報レベル及び精度

UAV写真測量において作成する数値地形図の精度は、地図情報レベル別に標準偏差が異なる。UAV写真測量の実施に当たっては成果品に必要な精度を検討し決定する。なお、実施設計を伴う地形測量に当たっては、地図情報レベル 250 及び 500 を標準とする。

表 3-2 地図情報レベル別の精度（赤枠：治山事業及び林道事業で適用するレベル）

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
1000	0.70m以内	0.33m以内	0.5m以内
2500	1.75m以内	0.66m以内	1.0m以内
5000	3.5m以内	1.66m以内	2.5m以内
10000	7.0m以内	3.33m以内	5.0m以内

#### （参考）地図情報レベルの選定例

精度の高い、地図情報レベル 250 については、林道の路線測量や構造物の出来形管理などでの活用が適している。一方で、地図情報レベル 500 については、治山事業の治山ダムや山腹工の測量成果としての活用が考えられる。

#### （参考）地図情報レベルと標準偏差

地図情報レベル別に示した標準偏差は、標定点により位置及び縮尺を補正した結果をもとに、検証点で差分を出した値の標準偏差である。この精度には、標定点・検証点の位置精度に加え地上画素寸法や写真の重複度等が影響を与える。よって、所要の精度を達成できなかった場合には、地上画素寸法や写真の重複度を変えて再度撮影し、3次元点群データを作成する必要がある。

### 3-2-4 標定点及び検証点の設置

標定点とは、UAV写真測量に必要となる水平位置及び標高の基準となる点である。また、検証点とは標定点により補正された水平位置及び標高が正しい位置にあるか判断するための点である。

この標定点及び検証点には、上空のUAVから確認可能な対空標識を設置する。この対空標識は、上空から認識しやすい形状、色等を選択することとし、寸法については、撮影した写真データに対空標識の辺長又は円形の直径が 15 画素以上写る大きさを標準とする。



(参考) 国土交通省国土地理院で標準としている模様

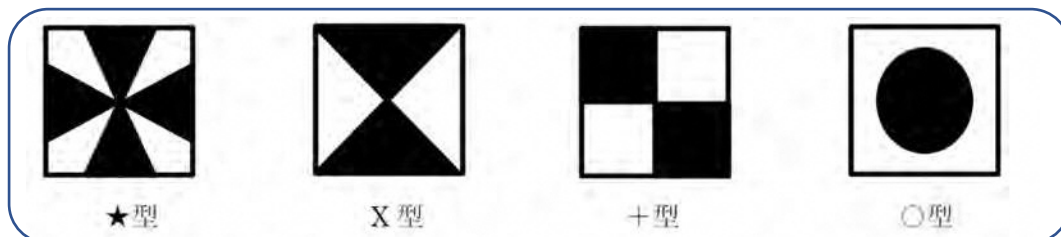


図 3-2 対空標識の様様

(「UAVを用いた公共測量マニュアル平成 29 年 3 月改定版」より引用)

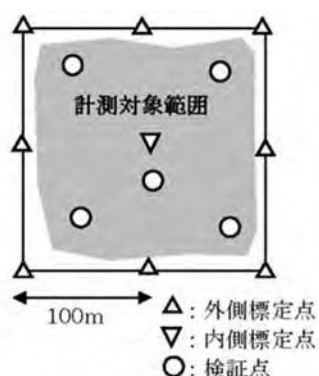
標定点及び検証点の配置は、計測対象範囲の形状、高低差、撮影コース、地表面の状態等を考慮して配置する。具体的には、「UAVを用いた公共測量マニュアル平成 29 年 3 月改定版」に示された内容に準ずるものとする。

しかし、一方で山間地において伐採していない外側に標定点を設置することは難しいことから、内側であるが概ね伐採境界付近に設置した標定点については、外側と判断できるものとする。

(参考)

「UAVを用いた公共測量マニュアル平成 29 年 3 月改定版」に示されている運用基準

- (1) 標定点は、計測対象範囲を囲むように配置する「外側標定点」と計測対象範囲内に配置する「内側標定点」で構成する。
- (2) 標定点の配置間隔は、外側標定点間が 100m以内、内側標定点間が 200mとなるように配置する (位置精度 0.10m以内の場合)。
- (3) 計測対象範囲の高低差が大きい場合には、標高の高い点と低い点に標定点を配置することが望ましい。
- (4) 検証点は、標定点とは別に設置するもので、標定点から離れた場所で、計測対象範囲内に均等に配置することを標準とする。また、検証点の設置数は、標定点の半数以上を標準とする。



外側標定点

- ・計測対象範囲を囲むように配置
- ・隣り合う外側標定点の距離は100m 以内

内側標定点

- ・内側標定点は最低1 点とする。
- ・内側標定点とそれを囲む標定点との距離は200m 以内

検証点

- ・標定点の総数の半数以上 (端数は繰り上げ)
- ・計測対象範囲内に均等に配置



### 3-2-5 標定点及び検証点の測量

標定点及び検証点は原則として公共座標により位置を把握することとする。ただし、対象地周辺に基準点がなく、公共座標での観測が困難と判断される場合には、任意座標系により観測しても良い。

なお、標定点及び検証点の測量に当たっては、高精度の測位システムであるRTK-GNSS測位器を用いた場合、測角測距による測量を省略しても良い。

#### (参考) RTK-GNSS測位器

RTK-GNSS測位器であれば、測点に設置して数秒で位置情報を取得可能で、取得時の誤差も把握可能である。ただし、ネットワーク型の場合、携帯電話の電波を使用するため、電波の受信可能圏内である必要があることと、衛星からの電波を使用していることから上空が開けた場所である必要がある。



写真 3-1 RTK-GNSS測位器による観測状況  
(Leica 社 GS18T)

### 3-2-6 写真撮影

#### ①撮影計画

写真撮影では、作成する地図情報レベル、地上画素寸法、対地高度、使用機器、地形形状、土地被覆率、気象条件をまとめた撮影計画を策定する。

#### ②撮影コース

撮影コースは、直線及び等高度で撮影することを標準とし、計測対象範囲内に空白部を生じさせないコース及び外側標定点が撮影範囲内に入るコースを設定する。

#### ③写真の重複度

写真の重複度は、同一コース内の隣接する写真で 80%、隣接コース間の写真で 60% 以上を標準とする。

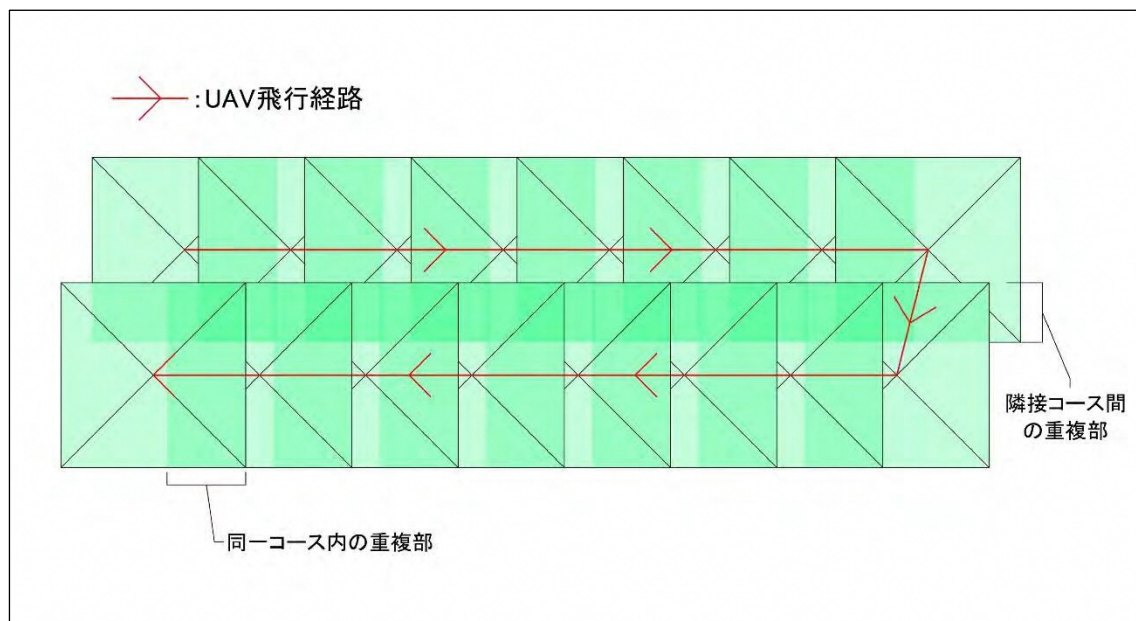


図 3-3 同一コース内の重複・隣接コース間の重複イメージ図

### ③地上画素寸法

デジタルカメラによる撮影で得られる画像では、カメラ性能、撮影画素数、撮影高度により、1ピクセル当たりの寸法が決まる。写真測量を行う場合の地上画素寸法は、作成する地図情報レベルに応じて、次表を標準とする。

地図情報レベル	地上画素寸法
250	0.02m以内
500	0.03m以内

地上画素寸法は、カメラのイメージセンサーサイズ及び焦点距離、撮影高度、撮影画素数により、以下の式で算出できる。

$$\text{地上画素寸法} = \text{イメージセンサーサイズ} \div \text{焦点距離} \times \text{撮影高度} \div \text{撮影画素数}$$

表 3-3 代表的な機種による撮影高度と地上画素寸法

名称				Mavic 2 Zoom			
画素サイズ (px)		4000 × 3000		画素数		12,000,000 (12M)	
イメージセンサーサイズ (mm)		6.2 × 4.7		イメージセンサーサイズ (mm)		1/2.3型	
焦点距離(mm)		4.39		焦点距離(mm)		8.80	
高度 (距離) (m)	撮影範囲横 (m)	撮影範囲縦 (m)	地上画素寸法 (m)	高度 (距離) (m)	撮影範囲横 (m)	撮影範囲縦 (m)	地上画素寸法 (m)
10	14.1	10.7	0.00353	10	15.0	10.0	0.00274
20	28.2	21.4	0.00706	20	30.0	20.0	0.00548
30	42.4	32.1	0.01059	30	45.0	30.0	0.00822
40	56.5	42.8	0.01412	40	60.0	40.0	0.01096
50	70.6	53.5	0.01765	50	75.0	50.0	0.01371
60	84.7	64.2	0.02118	60	90.0	60.0	0.01645
70	98.9	74.9	0.02472	70	105.0	70.0	0.01919
80	113.0	85.6	0.02825	80	120.0	80.0	0.02193
90	127.1	96.4	0.03178	90	135.0	90.0	0.02467
100	141.2	107.1	0.03531	100	150.0	100.0	0.02741

名称				Phantom4 PRO RTK			
画素サイズ (px)		5280 × 3956		画素数		20,800,000 (20M)	
イメージセンサーサイズ (mm)		17.3 × 13.0		イメージセンサーサイズ (mm)		4/3型	
焦点距離(mm)		15.00		焦点距離(mm)		35.00	
高度 (距離) (m)	撮影範囲横 (m)	撮影範囲縦 (m)	地上画素寸法 (m)	高度 (距離) (m)	撮影範囲横 (m)	撮影範囲縦 (m)	地上画素寸法 (m)
10	11.5	8.7	0.00218	10	10.3	6.9	0.00139
20	23.1	17.3	0.00437	20	20.6	13.7	0.00237
30	34.6	26.0	0.00655	30	30.9	20.6	0.00355
40	46.1	34.7	0.00874	40	41.1	27.4	0.00474
50	57.7	43.3	0.01092	50	51.4	34.3	0.00592
60	69.2	52.0	0.01311	60	61.7	41.1	0.00710
70	80.7	60.7	0.01529	70	72.0	48.0	0.00829
80	92.3	69.3	0.01747	80	82.3	54.9	0.00947
90	103.8	78.0	0.01966	90	92.6	61.7	0.01066
100	115.3	86.7	0.02184	100	102.9	68.6	0.01184

名称				INSPIRE2			
画素サイズ (px)		5280 × 3956		画素数		20,800,000 (20M)	
イメージセンサーサイズ (mm)		17.3 × 13.0		イメージセンサーサイズ (mm)		4/3型	
焦点距離(mm)		15.00		焦点距離(mm)		35.00	
高度 (距離) (m)	撮影範囲横 (m)	撮影範囲縦 (m)	地上画素寸法 (m)	高度 (距離) (m)	撮影範囲横 (m)	撮影範囲縦 (m)	地上画素寸法 (m)
10	11.5	8.7	0.00218	10	10.3	6.9	0.00139
20	23.1	17.3	0.00437	20	20.6	13.7	0.00237
30	34.6	26.0	0.00655	30	30.9	20.6	0.00355
40	46.1	34.7	0.00874	40	41.1	27.4	0.00474
50	57.7	43.3	0.01092	50	51.4	34.3	0.00592
60	69.2	52.0	0.01311	60	61.7	41.1	0.00710
70	80.7	60.7	0.01529	70	72.0	48.0	0.00829
80	92.3	69.3	0.01747	80	82.3	54.9	0.00947
90	103.8	78.0	0.01966	90	92.6	61.7	0.01066
100	115.3	86.7	0.02184	100	102.9	68.6	0.01184

名称				SONY α7R			
画素サイズ (px)		7360 × 4912		画素数		36,400,000 (36M)	
イメージセンサーサイズ (mm)		35.9 × 24.0		イメージセンサーサイズ (mm)		1型	
焦点距離(mm)		35.00		焦点距離(mm)		35.00	
高度 (距離) (m)	撮影範囲横 (m)	撮影範囲縦 (m)	地上画素寸法 (m)	高度 (距離) (m)	撮影範囲横 (m)	撮影範囲縦 (m)	地上画素寸法 (m)
10	11.5	8.7	0.00218	10	10.3	6.9	0.00139
20	23.1	17.3	0.00437	20	20.6	13.7	0.00237
30	34.6	26.0	0.00655	30	30.9	20.6	0.00355
40	46.1	34.7	0.00874	40	41.1	27.4	0.00474
50	57.7	43.3	0.01092	50	51.4	34.3	0.00592
60	69.2	52.0	0.01311	60	61.7	41.1	0.00710
70	80.7	60.7	0.01529	70	72.0	48.0	0.00829
80	92.3	69.3	0.01747	80	82.3	54.9	0.00947
90	103.8	78.0	0.01966	90	92.6	61.7	0.01066
100	115.3	86.7	0.02184	100	102.9	68.6	0.01184



【参考】



※表中の機種の焦点距離は、35mm換算で示されている焦点距離ではなく実際の距離を示している

### 3-2-7 山地での留意点

#### ①重複度について

写真測量により点群データを取得するためには、写真の重複度が重要となる。写真測量では、異なる視点位置から撮影された画像内の重複箇所から同一点の検出を行っている。この同一点の検出では、人工物のように特徴点が明瞭なものが適しているが、山地のように特徴的な点が少ない箇所では、この検出率が低下する可能性がある。よって、山間部で一様な樹冠が広がるような箇所では、重複度を上げるような対策(80%以上が望ましい)が必要となる。ただし、重複度を高く設定することで点群データの作成には有利となるが、使用する写真の枚数が増えることから、写真撮影や点群処理等にかかる労力が増加することに留意する必要がある。

#### ②飛行高度と対地高度について

写真撮影では、一定の方向や間隔の画像を得るため、自動運航により撮影することが一般的である。この自動運航では、運航コース、飛行高度、速度、撮影間隔等を設定することが可能で、目指す重複度から速度や撮影間隔を設定する。ただし、この飛行高度は、自動運航ソフトによっては、離陸した箇所(ホームポイント)との対地高度であり、一定の高度で飛行するものがある。

山間部では、地表の高さは一定でなく傾斜している場合が多い。よって、広範囲な撮影を一回の設定で行うと、一定の高度で飛行した場合、撮影箇所の対地高度が大きく変化する可能性がある。

対地高度が高くなった場合には、撮影される画像の画素サイズが大きくなり、必要な地上画素寸法を越えてしまう可能性や、航空法で定められた対地高度150mを越えてしまう危険性などがある。

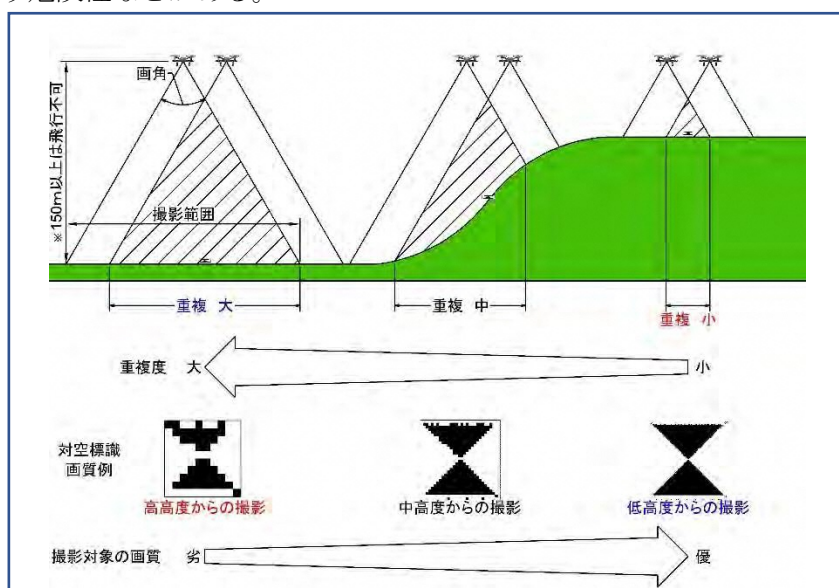


図 3-4 山地における UAV 写真撮影の留意点

飛行高度と対地高度の違いについては、以下の2つの対策がある。

・ゾーン区分を行い撮影する方法

調査対象範囲をいくつかのゾーンに分け、それぞれのゾーンで対地高度を設定する方法がある。これにより、重複度の変化や障害物に衝突する危険性は軽減されるが、ゾーン毎に撮影することと、それぞれに運航計画を立てる必要があり作業時間が増えることとなる。

・標高に合わせて飛行高度を変更可能なソフトを使用する

自動運航には、様々なソフトがあり運用されている。その中には、あらかじめ対象範囲の標高データを取り込むことで、飛行高度を変化させることが可能なものがある。このソフトを使用することで、作業時間の増加は発生しないが、利用料が発生する場合が多い。

③急峻な地形や林内の撮影

山腹崩壊地の源頭部等でオーバーハングした地形や、崩壊地周辺部または治山ダムの袖部など樹木の樹冠に覆われた箇所では、上空からの写真撮影により地表面をとらえることが困難である。そういった場合には、上空からではなく、斜めからの写真も多く撮影し、上空からのデータとともに3次元形状復元計算を行うことで、解析範囲が大きく広がる。

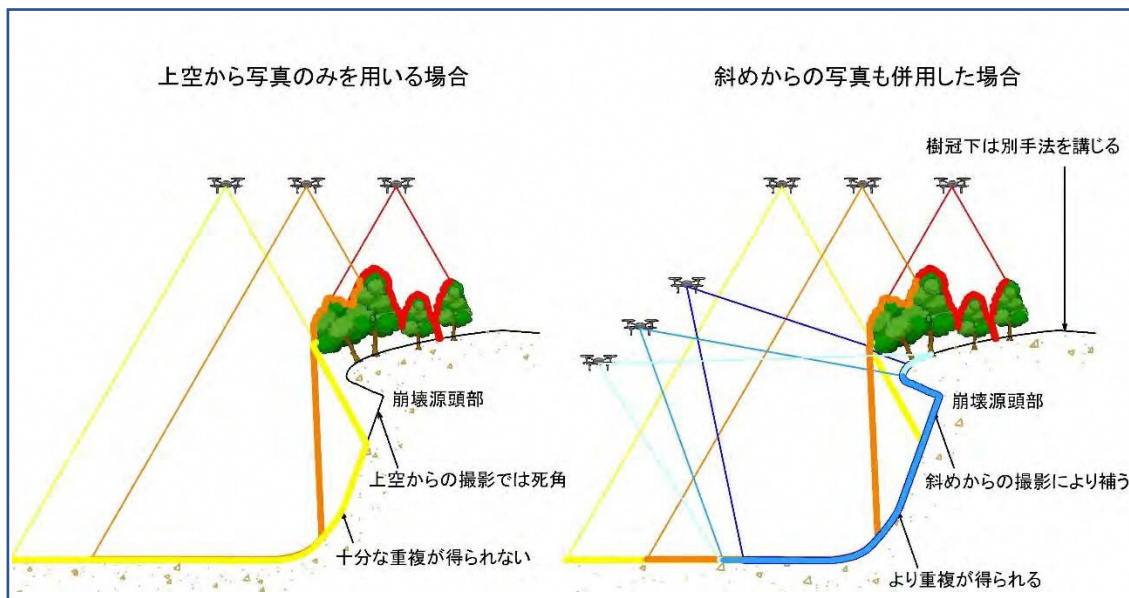


図 3-5 急峻な地形や林内の撮影



### 3-3 UAVレーザ測量

UAVレーザ測量は、レーザスキャナを搭載したUAVにより地形データ等を測量するものである。従来行われてきた有人の航空機から行う航空レーザ測量と同様の原理で、近年精度の高いGNSS測位器や姿勢制御のためのIMU等の機材が安価かつ小型化されたことにより、急激に普及している技術である。

#### 3-3-1 使用するUAV

使用するUAVは原則として、「3-2 UAV写真測量」で示した内容に準ずる。ただし、レーザ測量では、距離を把握するレーザスキャナ機材に加え、姿勢制御を行うIMUや観測位置を正確に把握するためのネットワーク型RTK等を搭載する必要があることから、UAV写真測量と比較して大型となる。



写真 3-2 UAVレーザ測量に用いる機体  
(DJI MATRICE600 重量 10kg 最大離陸重量 15.5kg 回転翼 6枚)

#### (参考) レーザ測量機材等の性能

機器	項目	標準仕様
GNSS 受信アンテナ、 受信機	観測間隔	1 秒以下
	受信周波	2 周波
IMU	測位精度 (m)	0.05 以内
	速度精度 (m/s)	0.015 以内
	姿勢精度 (deg)	0.025 以内
	方位精度 (deg)	0.080 以内
	出力レート	100Hz 以上
レーザ測距装置	計測精度	±3cm 以内
	最大計測距離	50m 以上
	パルスレート	40kHz 以上
	レーザ走査角	90 度以上
	レーザ拡散角 <sup>※1</sup>	3.0m rad 以内
	マルチパルス <sup>※2</sup>	あり
UAV 機体	飛行可能時間	10 分以上
	自動飛行機能	あり
	対地高度	50m 以上可能

※1 レーザ拡散角：レーザ光の広がり角のことで、スポット径の大きさを決定する値。

※2 マルチパルス：一つのレーザパルスから複数の反射パルス情報を記録できる機能のこと。

### 3-3-2 ボアサイトキャリブレーションの実施

UAVレーザ測量では、IMU（慣性計測装置）を用いて、レーザ測量機の姿勢や射出方向を把握している。ボアサイトキャリブレーションとは、このIMUの三軸とレーザ測量機の三軸の差（ミスアライメント角）を求める作業である。理論上IMUで把握している三軸方向とレーザ測量機の三軸方向が一緒であれば、測定結果を補正する必要は無いが、実際には僅かな誤差が発生する。そこで、ボアサイトキャリブレーションを行い、誤差量を正確に把握することで、測定結果の補正を行うことが可能となる。

このボアサイトキャリブレーションは、測量作業前 6 か月以内を実施することを標準とする。また、ボアサイトキャリブレーションは、IMU等の機材を再設置した場合には、その都度実施する必要がある。

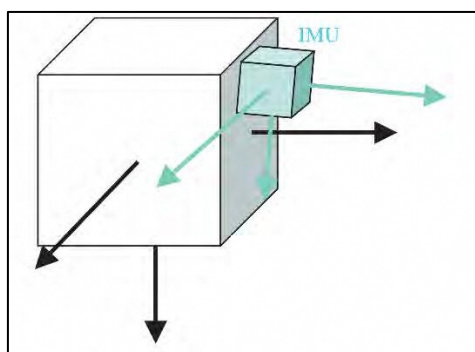


図 3-6 IMUとレーザ測量機の誤差イメージ図



### 3-3-3 UAVの運航条件

UAVの運航条件は原則として、「4-1 UAV写真測量」で示した内容に準ずる。ただし、機体が大型であることから、その運航に当たっては安全の確保に留意する必要がある。安全確保に当たっては、作業者の安全と、一般市民への安全の両面から対策をとり、万全の安全確保を徹底する。

#### テスト飛行

UAVの運航は、事前に策定した運航計画に基づき実施することとなるが、山間地では、樹木の枝葉や地形の変化することがあり、現地での確認が必要となる。よって、大型のUAVを山地で運航する場合には、現地確認のため、事前に小型のUAVで飛行テストすることが望ましい。これにより、接触等により墜落した場合の被害を最小限にとどめることが可能である。また事前にテスト飛行することで、目的とする対象地域が網羅されていることが確認可能であり、運航の安全確保と効率的な業務遂行に資することができる。

#### (参考) 安全確保

UAVレーザ測量における安全確保の対象は、次の二つがある。一つは作業者に対してであり、現場作業における基本的な労働安全のみならず、現場作業で適切な措置を講じなければならないとしている。UAV機体の落下を想定したヘルメットの着用やプロペラへの接触、レーザ測距装置のレーザ光の目への影響等を考慮した安全用具の装着が想定される。

もう一つは一般市民などに対してであり、UAV機体が操作できなくなった状態への措置や仮に落下した際、速やかに対処しなければならない。特にUAVの事故等は社会的な影響が大きいと見られるため、取扱いには万全の安全確保の体制が必要とされる。

### 3-3-4 成果品の要求点密度と要求精度

UAVレーザ測量では、3次元の情報を持った点の集まり（点群）が成果品となる。UAVレーザ測量では、この点の密度とその精度を示すことで飛行計画等を計画することが出来る。

この要求点密度は、観測時に取得するオリジナルデータと、作業で使用するグリッドデータでそれぞれ示す必要があり、成果品の使用目的に応じて設定する必要がある。国土交通省国土地理院発行の「UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）令和2年3月改正」によると、巻末資料として成果品の要求仕様として以下の内容が示されており、本要領においてもこれに準じて行う。

(参考) 成果品の要求仕様

1. 成果品の要求仕様

①各成果品目におけるオリジナルデータの要求点密度

成果品目	要求点密度 (標準値)
グラウンドデータ グリッドデータ 等高線データ (植生の影響が小さい箇所)	10~100 点/m <sup>2</sup> *1
グラウンドデータ グリッドデータ 等高線データ (植生の影響が大きい箇所)	20~200 点/m <sup>2</sup> *1
数値図化(地図情報レベル 500)	400 点/m <sup>2</sup>
数値図化(地図情報レベル 1000)	100 点/m <sup>2</sup>

※1 グラウンドデータ、グリッドデータ、等高線データといった地形形状の計測に用いる場合の要求点密度は、求める地形の詳細度によって異なる。格子間隔 50cm のグリッドデータや主曲線間隔 1m の等高線データを作成する場合、グラウンドデータの点密度は概ね 4 点/m<sup>2</sup>以上とすることが標準的である。ただしここで、植生の影響度合いが季節や場所によって異なることに注意が必要である。落葉前の広葉樹林においては、グラウンドデータとして採用できる計測点がオリジナルデータの 10%以下になる場合があることも考慮し、オリジナルデータの要求点密度を定めなければならない。

②出来形管理要領におけるグリッド化の要求点密度

利用目的	グリッド化後の点密度
出来形計測	100 点/m <sup>2</sup> *2
起工測量	4 点/m <sup>2</sup> *2

※2 出来形管理要領において規定されている出来形計測及び起工測量に必要な点密度は上の表のとおりグリッドデータ化後の点密度である。従って、※1 にあるとおり現地の植生等の状況によって要求点密度を適宜増やす必要がある。

③各成果品目におけるオリジナルデータの要求精度

成果品目	要求精度（標準値）	要求精度（対象）
グラウンドデータ グリッドデータ 等高線データ	0.1m（標準偏差）	標高
数値図化 （地図情報レベル 500）	0.15m 以内（許容範囲）※3	水平位置
	0.2m 以内（許容範囲）※3	標高
数値図化 （地図情報レベル 1000）	0.3m 以内（許容範囲）※3	水平位置
	0.3m 以内（許容範囲）※3	標高

※3 道路の図化を想定し、準則 188 条 4 項の車載写真レーザ測量における基準を準用した場合。

④出来形管理要領における要求精度

出来形管理における精度は、すべての調整用基準点において三次元計測データの平均値との較差を X,Y,Z 各成分において求める。精度の確認の手順は、「無人航空機搭載型レーザースカナーを用いた出来形管理要領(土工編)(案)」に従うものとする。

利用目的	要求精度（標準値）	要求精度（対象）
出来形計測	すべての調整用基準点における較差±5cm 以内	X,Y,Z の各成分
起工測量	すべての調整用基準点における較差±10cm 以内	X,Y,Z の各成分

なお、現状では、各計測点における精度を確認する方法は確立されておらず、精度の確認は調整点及び検証点上において行うことが一般的である。

### 3-3-5 標定点の設置

UAVレーザ測量における標定点の設置については、1 km<sup>2</sup> 程度範囲までであれば 2 点以上の標定点を設置することを標準とする。また、その位置の把握については、「3-2-5 標定点及び検証点の測量」に準じて測量することとする。

### 3-3-6 作業計画の作成

測量作業着手前に、作業地域、作業内容、作業量、完成時期等を踏まえ、実施体制、要員、日程、安全確保等について適切な作業計画を作成する。

### 3-3-7 計測諸元

UAVレーザ計測に当たっては、以下の計測諸元を標準として実施する。

表 3-3 計測諸元の標準値

項目	標準値	留意事項、禁止事項等
レーザ走査角	±45° 以内	計測対象物への入射角が 45° 以上となる ことが標準
計測距離	最大測距距離の 80%以下	最大測距距離を超えてはならない
対地高度	30m 以上 150m 未満	航空法を順守し、安全を確保できる高度と する
コース間重複度	ラップ率 30%	地形の状況を確認し、欠測が起こらないこ と、コース間重複部での検証が可能な場所 を確保すること
コース延伸量	外周 10m 以上又は 計測幅 50%以上	等速で UAV が飛行できること
巡航速度	4~7m/s	要求仕様を満たす計測を行うことに加え、 UAV を安全に飛行できることが重要
運航可能最大風速	5m/s 以下	

なお、標準的な計測点間距離は、UAV レーザ計測の各計測点間の標準的な距離をい  
い、要求点間距離と定数 ( $\theta$ ) を用いた次の式で求めることを標準とする。なお、要求  
点間距離とは、成果品として求められる標準的な点密度の点間距離をいう。

$$\text{計測点間距離} = \text{要求点間距離} / \theta \quad (\theta : 1.1 \sim 1.5)$$



(参考) 計測諸元の解説

国土交通省国土地理院発行の「UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)令和2年3月改正」によると、計測諸元の解説として以下の内容が示されている。

【解説】

UAVレーザ測量の計測諸元を決定するための基本事項を図6に示す。

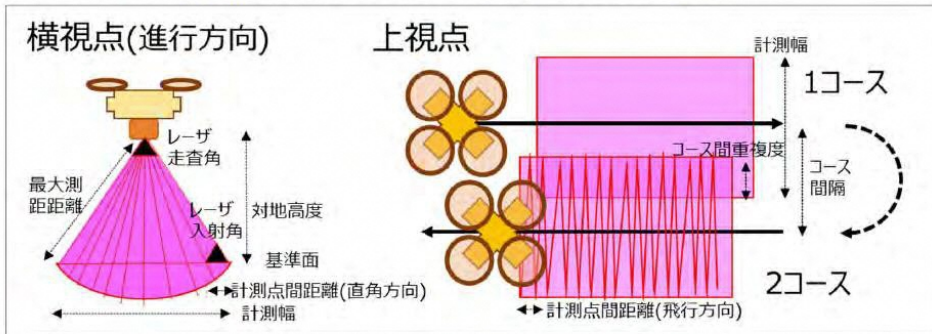


図6 計画諸元を決定するための基本事項

計測点間距離とは、図7に示すとおり UAVレーザ機材を用いて計測する際の、UAVの飛行方向及び飛行方向と直交方向のレーザ計測点の間隔であり、成果品の要求点密度とは異なる。計測点間距離は、要求点密度から換算された要求点間距離よりも小さくなるよう設定することが通常は必要になる。準則第419条4項の航空レーザ測量の作業計画では格子間隔と定数を設定し、計測点間距離に相当する計測間隔を規定している。これを参考にして要求点間距離から定数によって計測点間距離を設定することとする。

なお、計測点間距離が要求点間距離よりも大きい場合は、コース間重複度を大きくして同一箇所を複数回計測する等の措置により成果品の要求点密度を満たすことも可能である。

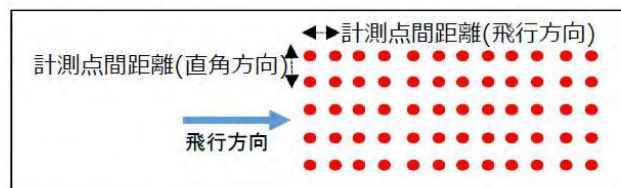


図7 計測点間距離の概念図

対地高度は、航空法で定められた制限や周囲の地形条件等を考慮して決定する。またこの際には、計測点間距離を満たすように、パルスレート、飛行速度、レーザ走査角とともに決定することが必要である。対地高度とレーザ走査角が決まれば1コースでの計測幅が決まる。成果品の要求点密度を満たすようコース間重複度を設定すれば、コース数の算定が可能となる。作業機関はこのような設定情報を踏まえ、計測諸元を決定する。

レーザスキャナを用いて計測を行う場合、計測対象物へのレーザ光の入射角が小さくなると、一般的には精度が悪くなるといえる。UAVからの計測の場合は比較的高い場所から計測を行うため、例えば地上レーザスキャナを用いた測量と比べるとその影響は大きくない。ただし、レーザ走査角が大きくなると計測距離が大きくなる部分が出てくる。使用するレーザ測距装置によって計測可能な最大測距距離は異なるが、これを超えて計測を行うことは認められない。また計測距離が大きくなると反射するレーザ光が弱くなり、欠測する可能性も高くなる。こうした点も踏まえ、確実に計測を行うことができるよう、本マニュアルではレーザ走査角と計測距離について一定の考え方を示している。

レーザ走査角とコース間重複度の関係は、地形条件等によって影響を受けることに注意が必要である。例えば図8のように傾斜地でUAVレーザ計測を行う場合、対地高度が低くなる箇所（傾斜地の上部）では計測幅が狭くなる。このような状況下において等間隔で計測を行った場合、当該箇所では十分なコース間重複度を確保できず、欠測する恐れがある。またUAVは有人航空機と比べて風による影響も大きく受ける。計測飛行時に風によってUAV機体が大きく動揺すると、想定した計測幅でデータが取得できない場合がある。

また、図9のように、斜度の大きい斜面に対しては、レーザ光の入射角を45度以上に維持する目的で、レーザ走査角を大きく設定する場合もある。

作業機関は、計測範囲の地形や植生状況、飛行時のUAV機体の動揺の可能性を踏まえ、確実なデータ取得ができるよう冗長性を考慮した計測諸元を設定することが肝要である。

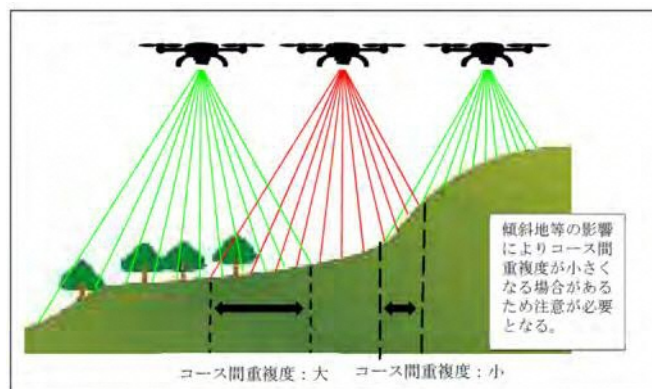


図8 レーザ計測幅と地形による影響

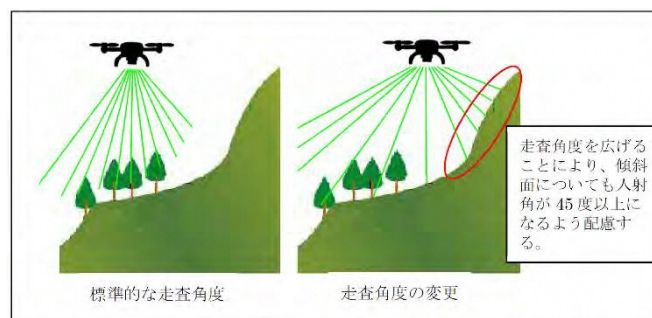


図9 レーザ走査角と地表面に対する入射角の関係



### 3-3-8 山地での留意点

#### ○地形条件による検討

UAVレーザ測量では、地形の起伏により点群密度が変化する。山間地では、様々な方向に傾斜している。UAVの位置から反対側に傾斜している場合には、点群密度が低下することから、現地の地形条件に応じて対地高度や重複率を変更し、必要となる点群密度を確保する必要がある。

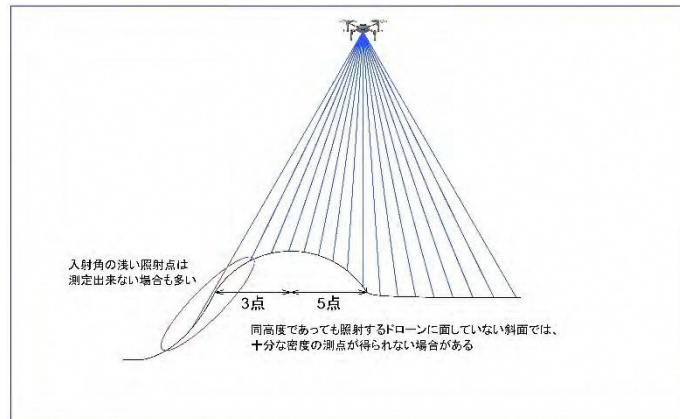


図 3-7 UAVの位置と地形による点密度の違い

#### ○植生条件による検討

UAVレーザ測量では、地表の植生状況により目的とする地表面のデータが取得できない場合がある。従来の航空レーザ測量と同様に、ササの密集箇所や樹冠がうっ閉しているヒノキ林や照葉樹林などでは、地表データの取得が困難となることから、必要に応じて、地表部の踏査を行う必要がある。

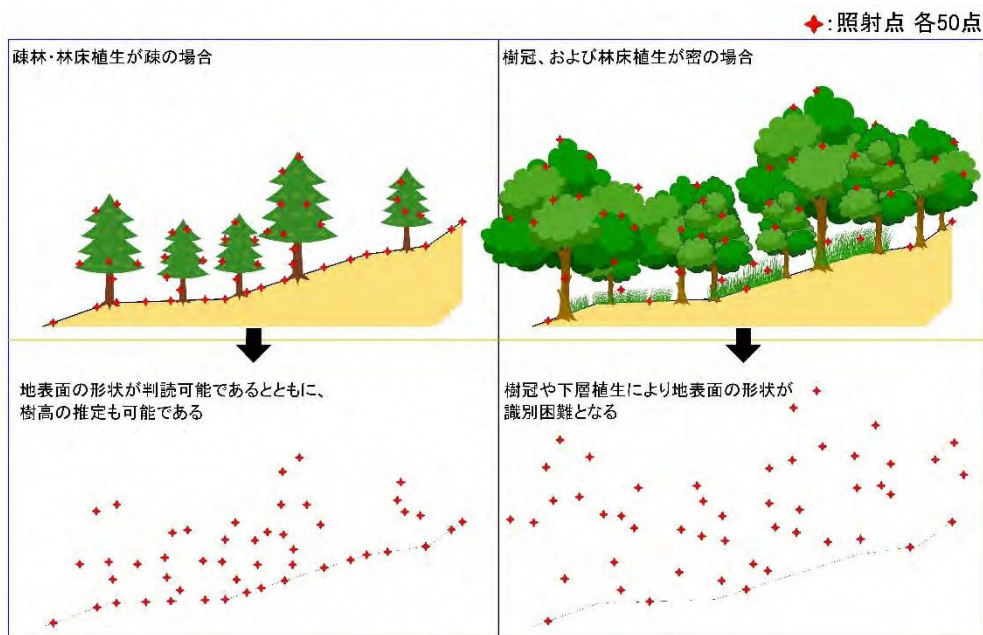


図 3-8 植生条件による検討

### ○衛星の位置

UAVの位置をGNSS測位器で把握している場合には、使用している衛星の配置が重要になってくる。特に山間地で飛行する場合には、衛星の電波が山腹斜面に遮られる可能性があることから、平野部で使用する場合と比較して条件が悪くなる可能性がある。よって、作業計画の立案に当たっては飛行予定日の衛星の配置を確認し、飛行に適した時刻を選定することが望ましい。

### ○クロス飛行の実施

山間部では樹木などの遮蔽物により、地表面まで達するレーザの密度が変化する。よって、複雑な遮蔽物が多い山間部では、観測を異なる2方向から行うクロス飛行を行うことにより、地表面まで達するレーザの数が向上する。これにより、飛行距離が長くなることから、初回の観測には時間がかかるが、精度不足による再測の危険性が軽減する。

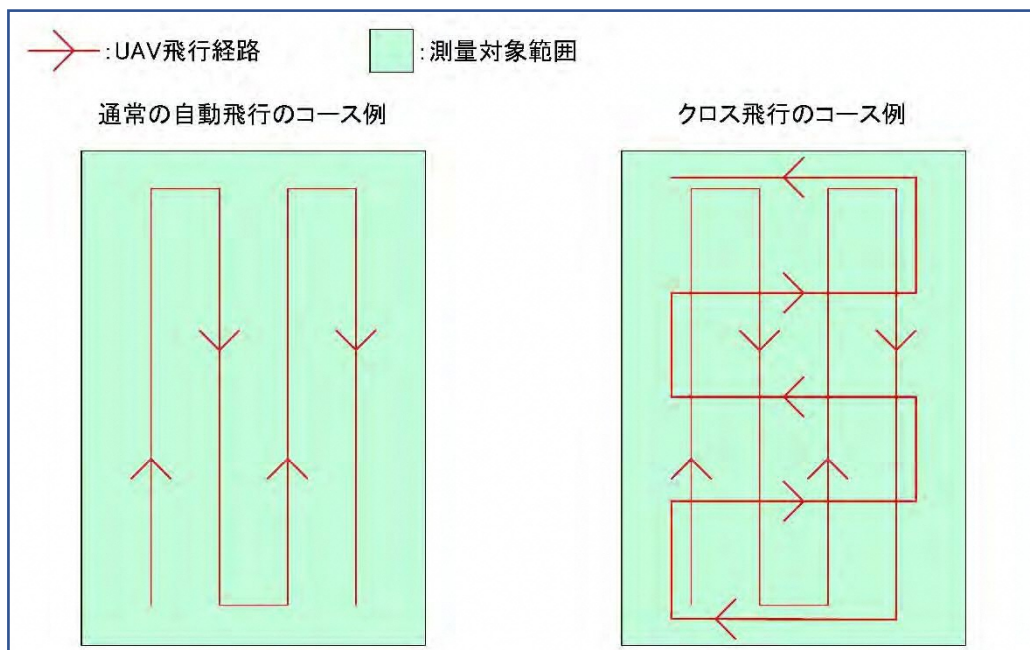


図 3-9 クロス飛行のコース例



### 3-4 地上レーザ測量

地上レーザ測量は、特定の位置に機械を据え付け、前方に断面を測量するようにレーザ光を照射すると同時に、機器本体を回転させることにより周囲に存在する地形・地物までの方向と距離を面的に観測し、3次元の点群として把握するものである。測量機器でのレーザの活用は、照射数や照射速度を増加させることにより、トータルステーションのような点的なものから、航空レーザや車載レーザのような横断方向に線的なものへ変化し、地上レーザ測量では面的な観測が出来るようになった。

#### 3-4-1 使用する地上レーザスキャナ

地上レーザスキャナは、下記の性能を有するものを使用する。

- ・地上レーザスキャナの距離観測方法はTOF方式<sup>※1</sup>又は位相差方式<sup>※2</sup>とする。
- ・スポット径が分かる。
- ・観測点の水平及び垂直方向の角度の観測間隔が分かる。
- ・標準的な地形・地物が入射角 1.5 度以上で観測できる。
- ・反射強度が取得できる。

※1 TOF方式：測定対象物にレーザ光線を照射してレーザが返ってくるまでの時間を測定し距離に換算する方式

※2 位相差方式：複数に変調させたレーザ光を照射し、対象物に当たって戻ってきた拡散反射成分の位相差により、対象物との距離を求める方式

#### 3-4-2 標定点の配置

標定点とは、座標変換により地上レーザスキャナに水平位置と標高、方向を与えるための基準となる点である。標定点の精度は、地図情報レベルに応じて次表を標準とする。

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

また、標定点間の距離の許容範囲は、次表に規定するもの又はこれらと同等以上のものを標準とする。

距離	許容範囲
20m 未満	10mm
20m 以上	S/2.000

S：点間距離の計算値 (m)

標定点は、地上レーザスキャナの設置位置とともに以下の項目に配慮して適切に設置するものとする。なお、標定点は、レーザ観測の有効範囲の外に設置することを原則とする。

- ・ 作業範囲の大きさ
- ・ レーザ光の地形上でのスポット長径
- ・ 測地座標系への変換の方法
- ・ 地上レーザスキャナの性能
- ・ レーザ光の地物からの反射強度

### 3-4-3 標識の配置

標定点の上には、その中心が所定の精度で観測可能な形状及び大きさの標識を設置することを原則とする。

- 1 標識の形状及び反射特性は、地上レーザスキャナのメーカーが推奨するものを使用することを原則とする。
- 2 標識の大きさは、地上レーザスキャナからの距離に応じて選択するものとする。
- 3 標識は、地上レーザスキャナに対して正対して設置しなければならない。
- 4 標識と同等の観測精度が得られる地物を用いる場合は、標識を設置しなくともよいものとする。

## (参考) 標識の設置

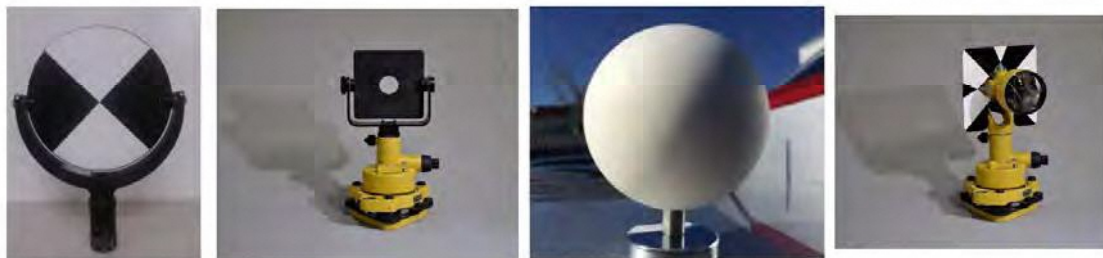
国土交通省国土地理院発行「地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)平成30年3月」によると、標識について以下のような解説が示されている。

### 【第28条(標識の設置) 解説】

地上レーザスキャナは、標識を自動的に観測する機能が本体または後処理ソフトウェアに備えられているため、地上レーザスキャナに適合した標識を使うと観測精度が担保される。また、円筒形あるいは球体以外の平坦な標識は、地上レーザスキャナに対して正対して設置する標識と同等の観測精度が得られる必要があり、メーカーは概ね $\pm 45^\circ$ 以内を推奨している。

標識の種類には、次のようなものがある。

- チェッカ : 拡散面に反射率の異なる領域を複数有するもの
- レトロリフレクタ : 再帰反射性を有する反射部を有するもの
- スフィア : 表面が拡散反射率90%以上の球体のもの
- コーナキューブ : 再帰反射性を有するプリズム



### 【第29条(標識の観測) 解説】

標識の観測には、二つの方法がある。一つは、地上レーザスキャナが標識を観測するための専用の機能を持ち、必要な精度を判断して観測する方法である。この場合は、専用の標識を用いるなど、メーカーの仕様にしたがう必要がある。もうひとつは、通常と同じに観測し、目視により三次元点群データから標識の中心を判読して観測するものである。この方法では、観測者自らが観測点間隔、標識の大きさや模様、標識表面の素材などに留意しなければならない。

## 3-4-4 山地での留意点

### ○植生の状況

地上レーザ測量においてもUAVレーザ測量と同様に、周辺の植生の繁茂状況によって、測量成果が大きく異なる。対象地の植生の状況によっては、伐開作業を行うか他の測量方法に変更することを検討する必要がある。

### ○未測定箇所発生の防止

地上レーザ測量を行う場合には、測定済みの範囲を適正に把握し、未測定箇所が発生しないように実施する必要がある。特に、山間地では、樹木等の植生や倒木などの障害物が点在することと、地表面も凹凸が多いことから、機械設置箇所からレーザが届かない場所が発生しやすい。地上レーザ測量では、測量中に未測定箇所を把握することは難しい。

よって、山地で地上レーザ測量を実施する場合には、様々な障害物や微地形を考慮して実施するとともに、現地もしくは近くの場所で測量成果の解析を行い、未測量箇所がないか確認することが望ましい。

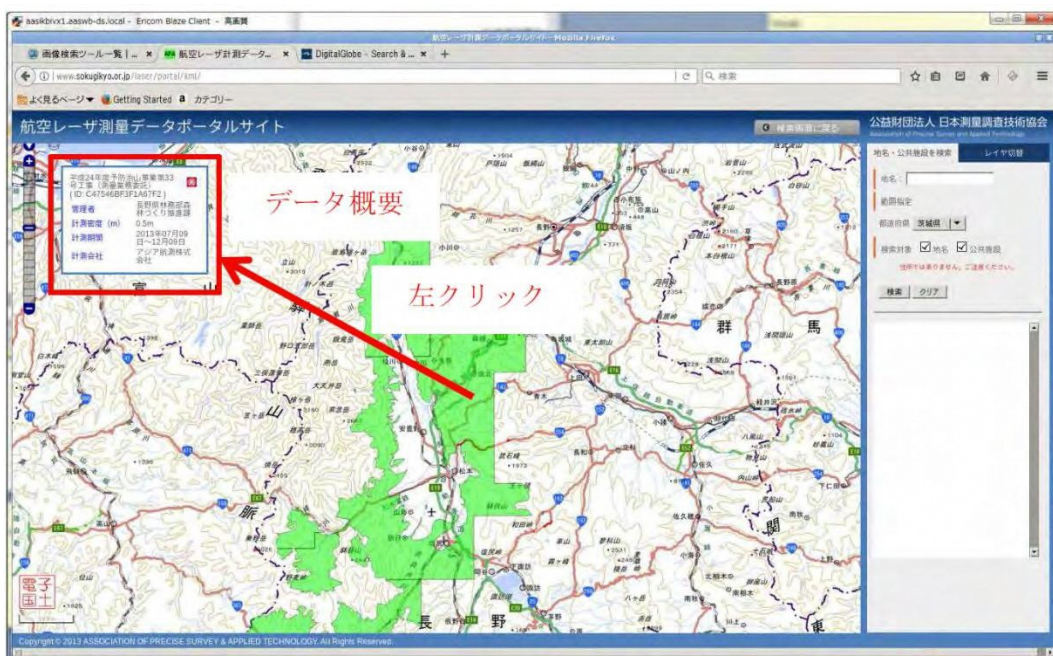
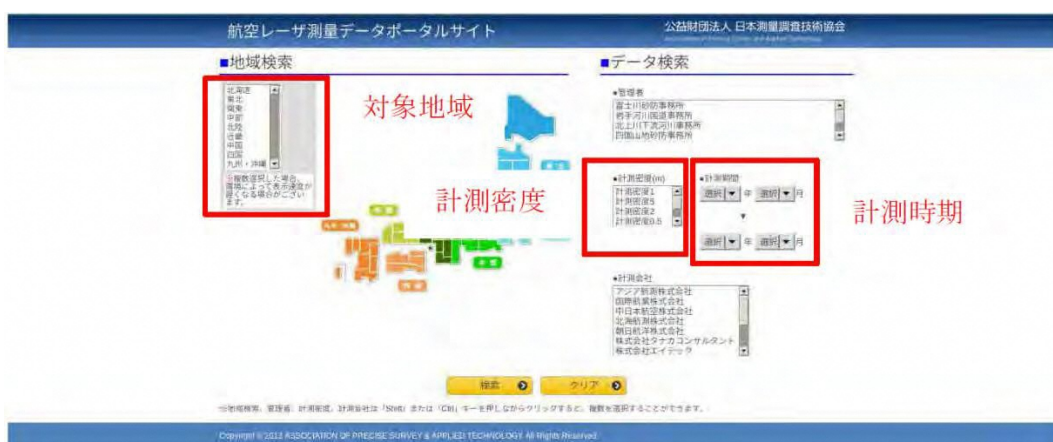
#### ○機材性能の動作確認

近年の地上レーザ計測機器には、自分姿勢及び完成運動を検出する I M Uセンサーや複数のカメラにより周辺の情報得て自分の位置を判断する視的管制システム (V I S) などの機能が付いている。これらの機能については、山地での動作確認を十分行った上で測量を行う必要がある。

### 3-5 航空レーザ測量成果の活用

有人の航空機による航空レーザ測量は、大面積に対応していることから、大規模な災害発生箇所や、広域の地形調査等に適している。また、近年大規模災害の発生箇所や都道府県単位で全県を対象とした地形データの作成が積極的に行われている。これら既存のデータについては、一般に公開されたものも多く、すぐに利用可能な状況にある。

一例として、過去に公共測量によって取得された航空レーザ測量の成果は航空レーザ測量データポータルサイト (<http://www.sokugikyo.or.jp/laser/portal/>) で確認することができる。





### 3-5-1 航空レーザ測量の特徴

航空レーザ測量の特徴として、治山事業で活用する場合の長所及び短所をまとめると以下ようになる。

#### 長所

- ・広域のデータを取得可能である。
- ・災害直後など多く路網が被災した場所でもデータを取得可能である。
- ・4点/m<sup>2</sup>以上のデータであれば、立木の判断も可能となる。
- ・既存の調査面積が広く過去の地形（アーカイブ）がある可能性が高い。
- ・既存のデータがあれば新たに地形データを取得するコストが削減できる。

#### 短所

- ・他の測量方法と比較して天候による影響（雲量など）を受けやすい。
- ・他の測量方法と同様に植生による影響を受ける。  
（特にうっ閉したササ、照葉樹林、ヒノキ林など）
- ・グラウンドデータがとれていない場所について把握する必要がある。  
（DEMデータや等高線データのみでは判断が困難）
- ・地上に基準点がない場合が多い。

### 3-5-2 治山事業での活用

航空レーザ測量では、現地に標定点のような基準となる点がない場合が多いことから、航空レーザ測量成果を測量設計業務で活用することは難しい。しかし、一方で、広域な情報を一度に得ることが出来る点や、災害により現地に到着する路網が被災した場合でも、路網の被災状況に関係なく調査が可能である点など航空レーザ測量が有利な点もある。

また、航空レーザは多くの実績があることから、被災箇所などで、被災前の地形データを取得できる可能性が高い。これにより、被災後に把握した地形データと比較することで、崩壊の大きさや影響範囲を具体的に把握することが可能となる。

治山全体計画調査や治山流域別調査などでは、現地に基準となる点が不要であることから、航空レーザ測量のデータが適している。直近の既存データが比較的新しい場合には、調査で使用する地形データとして活用することが出来る。

#### 治山事業での航空レーザの活用例

- ・大規模災害時の概況を把握する
- ・過去の地形データを活用して被災規模や影響範囲を把握する
- ・治山全体計画調査や治山流域別調査での活用



### 3-5-3 林道事業での活用

航空レーザ測量の長所に示した様に、路網の被災状況に影響を受けず測量が可能であることから、林道の被災状況の把握に活用することが出来る。

また、林道全体計画調査では、既存の航空レーザ測量成果がある場合には、路線選定、比較路線の検討での活用が効果的である。

その他、路網整備ではなく森林資源調査での活用に適している。森林資源調査では、広域の面積を調査する必要があり、現地踏査による作業ではコストがかかる。しかし、航空レーザ測量の場合、広域の情報を一度に得ることが可能となることから、効率的に情報を収集することが可能となる。この成果を林道全体計画調査で活用することで、精度の高い路網計画の立案に資することが出来る。

#### 林道事業での航空レーザの活用例

- ・大規模災害時の林道の被災概況を把握する
- ・林道全体計画調査での活用
- ・森林資源調査での活用

## 4. 治山事業

### 4-1 測量業務

治山の測量業務では、溪間工と山腹工を取り上げ示す。これ以外の測量についても、これに準じた測量方法で実施するものとする。

#### 4-1-1 溪間工の測量

溪間工の測量では、溪流部での測量が多くなる。溪流部は、その流量、地形などから溪床幅や勾配等の地形的要因が異なる。また、兩岸の地形条件や洪水の頻度などによって周辺の植生の成立状況が異なる。ICTを活用する場合には、これら地形及び植生状況を十分考慮し、従来のトータルステーション等による測角測距法と比較して効率的となる場合に実施する必要がある、現地の踏査選点時に適切な測量方法を決定する。

#### (参考) 溪床の状況と測量方法の判断例

##### ○UAV写真測量が適した溪流

調査範囲全域にわたり溪床幅が広く、上空から流水部分または構造物設置箇所を把握することが可能である、または、災害により溪岸部の植生が流出し上空から流水部分または構造物設置箇所が確認できる場合

##### ○UAVレーザ測量が適した溪流

溪床部には植生は少なく、兩岸の植生などにより上空から溪床及び構造物設置箇所が視認できない箇所が点在するが、樹冠が密ではない場合。

##### ○地上レーザ測量による測量が適した溪流

上空に樹冠が広がっており上空からのレーザ照射が困難であり、かつ立木や下層植生等の障害物の少ない横断測量または構造物計画位置横断測量を行う場合。

##### ○トータルステーションによる測量が適した溪流

溪床部に植生が繁茂し、刈り払い作業を行わないと溪床内を移動できない溪流で測量を行う場合。

横断測量及び構造物計画位置横断測量では、溪床部から溪岸部までの測量が必要となる。溪岸部は溪流部と比較して立木の樹冠等により地表部が覆われていることから、踏査選点時には、溪岸部の状況を十分把握し横断測量及び構造物計画位置横断測量に適した測量方法を決定する。

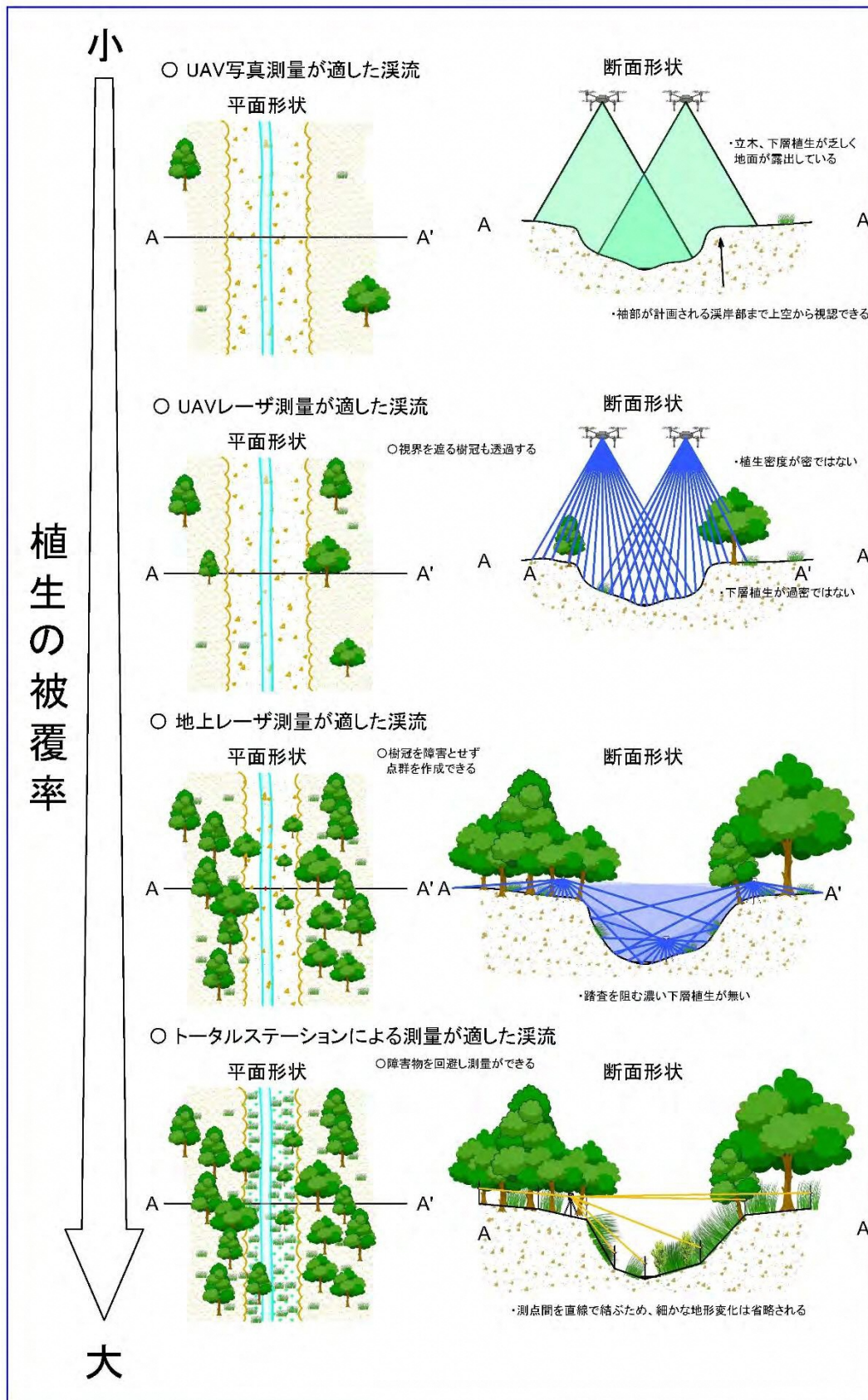


図 4-1 溪間工における測量方法別のイメージ図

#### 4-1-2 山腹工の測量

山腹工においても溪間工と同様に、地形及び植生状況を十分考慮し、従来のトータルステーション等による測角測距法と比較検討し、現地の踏査選点時に適切な測量方法を決定する。

山腹工の測量では、急傾斜地で高低差の大きい地形条件となりやすいことから、UAVを使用した測量を行う場合には、山腹下部と上部とでの精度の違いに留意する必要がある。また、UAV写真測量は、崩壊縁部での植生やハングオーバーした箇所等において地盤の状況が撮影困難となる場合があることから、上空からだけでなく斜め方向からの写真を多く撮影することで、上空から撮影できない箇所の地盤情報を把握することが可能となる。

#### (参考) 山腹斜面の状況と測量方法の判断例

##### ○UAV写真測量が適した崩壊地

比較的緩斜面で、崩壊地内に立木や倒木等が少ない。また、崩壊地周辺の立木密度が低く、上空から地山が確認できる。

##### ○UAVレーザ測量が適した崩壊地

基本的に前述のUAV写真測量と同様であるが、崩壊地内部及び周辺部での樹木の成層は単層程度であれば、対応可能である。

##### ○地上レーザ測量による測量が適した崩壊地

規模は小規模（1から0.5ha以下）で下層植生等の障害物の少ない崩壊地。ある程度の急峻な斜面や、周辺に高層木の樹冠が広がっていてもよい。崩壊地全体が眺望可能な箇所が複数ある。

##### ○トータルステーションによる測量が適した溪流

崩壊地内または周辺部の植生が旺盛で、人の移動には刈り払いが必要な崩壊地。特に林床部にササが密生している場合には、トータルステーションでの測量が適している。



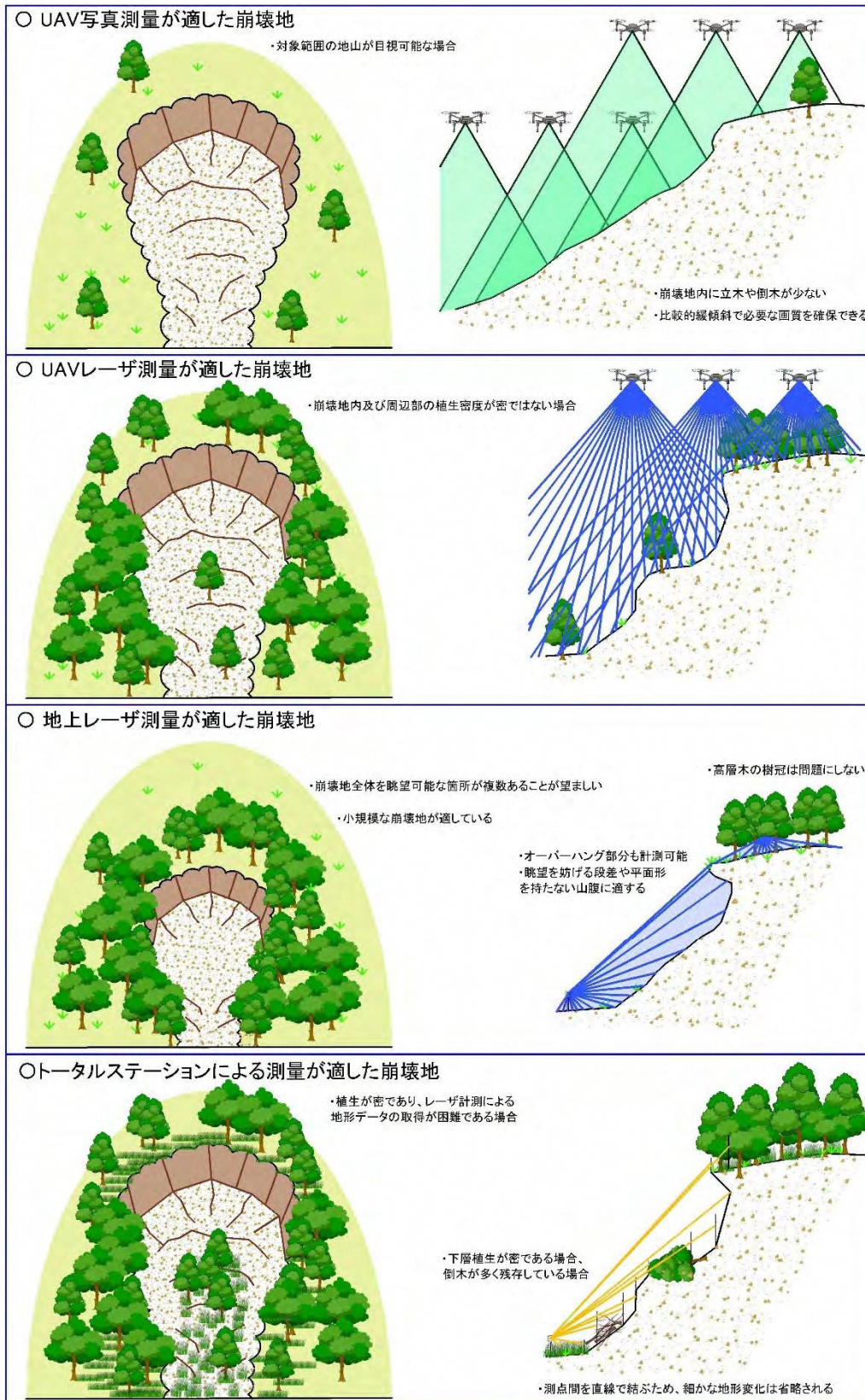


図 4-2 山腹工における測量方法別のイメージ図

## 4-2 設計業務

ここでは、ICTを活用した測量成果として得られる3次元のデータを用いる場合に、従来の設計作業に加え新たに必要となる作業とその利用方法について示す。

### 4-2-1 点群データ処理と構造化

点群データ処理とは、オリジナルデータ（観測した全てのデータ）から地形を捉えていない点を除去して、地表面のデータを作成する作業をいう。点群データは3次元の要素（X, Y, Z）を含むものとし、編集及び記録できる形式とする。

観測したオリジナルデータには、様々なノイズ（目的物以外のデータ）が多くある。特に山間部では、植物の枝葉などのノイズが多く観察される。これらのノイズを取り除く作業には、それに特化したソフトが開発されており、それを用いることが効率的であり、地表面のデータの精度も高くなる。

構造化は、3次元の点の地表面のデータを、作業しやすいデータに変換する作業をいう。この構造化ではTIN（不規則三角網）もしくはグリッドデータの形式とすることを原則とする。この構造化を行うことで、データサイズや解析作業を効率化することが可能となる。

（例）観測範囲：30ha 測量方法：地上レーザ測量 使用機械：Leica RTC360  
オリジナルの点群データ(テキスト形式)：8.00GB  
ノイズ処理後の点群データ(テキスト形式)：0.83GB  
TINデータ：0.12GB

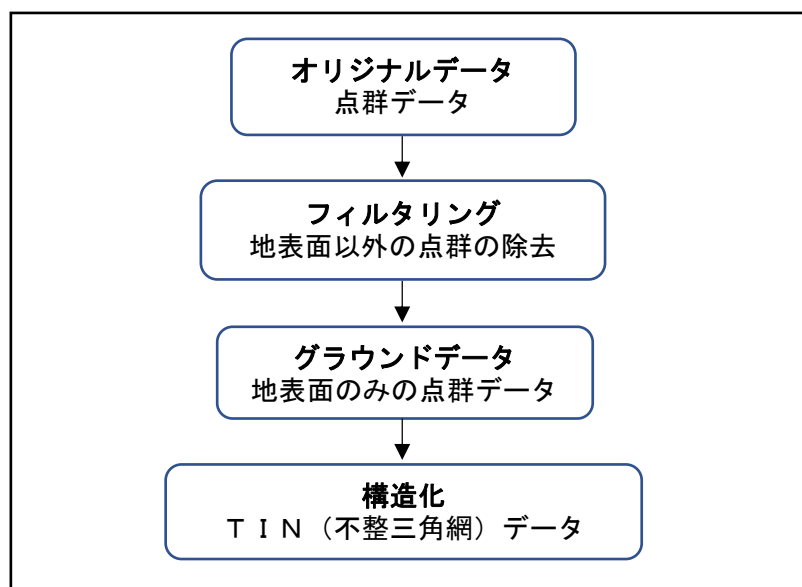


図 4-3 点群処理と構造化のフロー



#### 4-2-2 3次元データによる設計

治山設計では、ノイズ処理後の点群データもしくは構造化されたT I Nデータを用いて、構造物やのり切工等の計画を行い、図面類の作成及び各種数量計算書の作成を行う。

##### (参考) 3次元設計の利点

3次元設計は、点群データや構造化されたT I Nデータを取り扱う専用のソフトがあると非常に効率的に作業を行うことが可能である。こういったソフトでは、得られた地形データを自動的に読み込むことが可能で、それをもとに現地で計画した構造物計画位置また基線等の設定を容易に行うことが出来る。これにより、地盤データの入力ミスの防止や作業時間の短縮を測ることが可能である。

また、従来の測量方法であれば、測量杭のある点のみの地形データであるが、I C Tを活用した測量成果は面的な地形データであることから、構造物計画位置や基線等の追加や変更を行うことが可能で、図上検討をそのまま計画図面に反映させることが出来る。

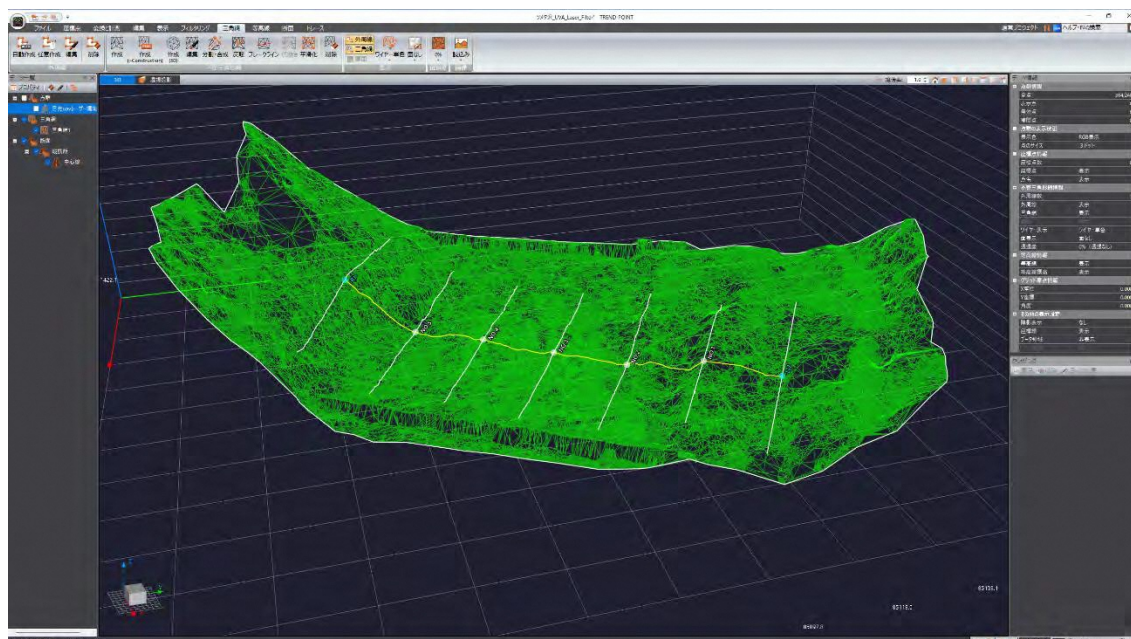


図 4-4 3次元設計の事例（使用ソフト：福井コンピュータ TrendPoint）

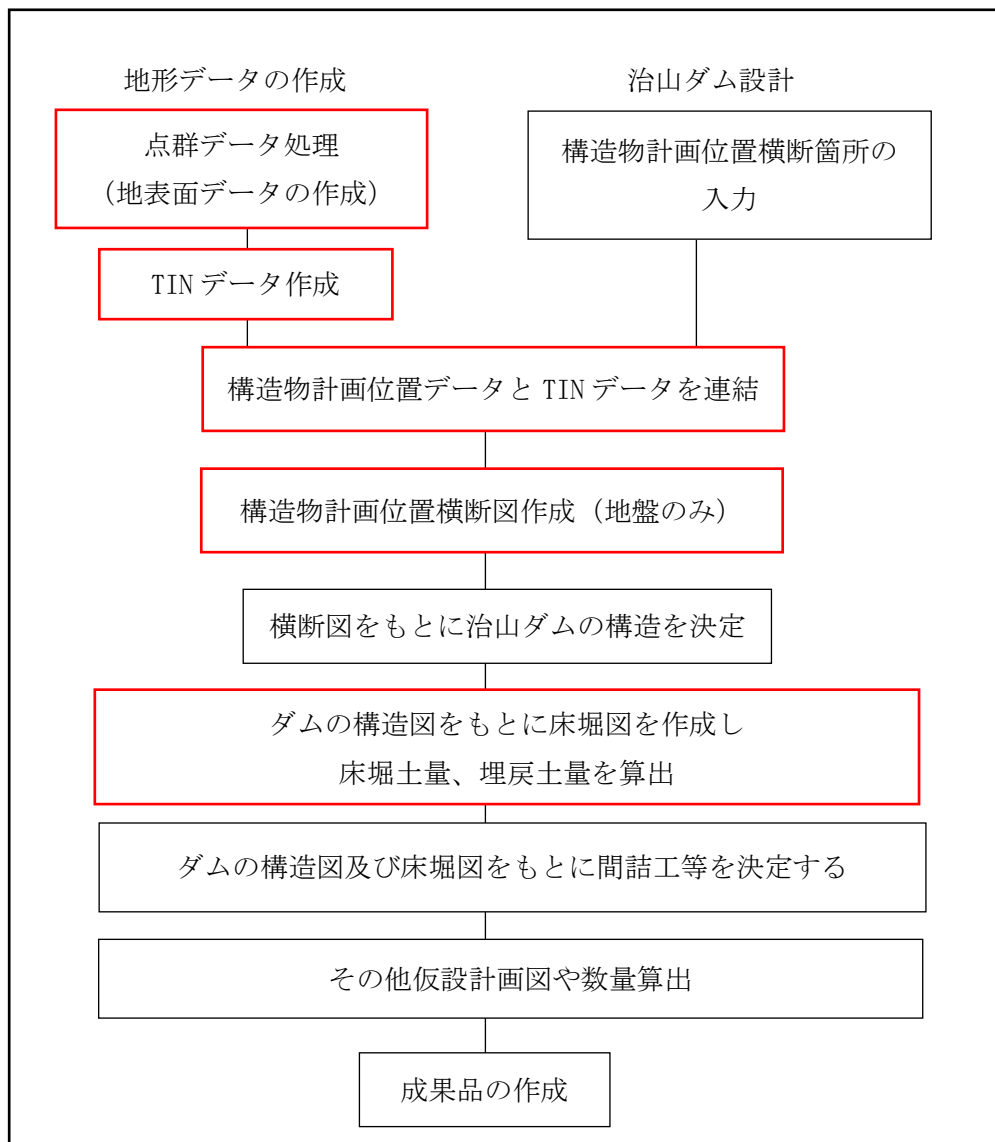


図 4-5 3次元設計の工程例 : ソフトによる自動処理

#### 4-3 測量設計業務以外での活用

ここでは、測量設計業務以外の業務での活用を検討することとし、災害時の概算数量把握と治山全体計画及び予備測量を取り上げ、その内容を示す。

##### 4-3-1 災害時の概算数量把握

迅速性が求められる災害時の概算数量把握においてICT技術を活用する場合には、UAV写真測量が効率的である。また、求める数量の精度によっては、標定点の設置を省略しても良いこととする。ただし、UAV写真測量と同様の工程、成果を得ることが可能であると判断される場合には、UAVレーザ測量等を用いてもよい。

##### (参考) 標定点の省略による効率化

UAV写真測量の工程の中で最も時間を要する工程は、標定点の設置であることから、これを省略することで作業時間を大きく減少させることが可能となる。

「令和3年度治山技術推進等調査業務」における現地調査では、標定点を省略した場合、現地での作業時間が5分の1となった。また、標定点を省略することで、現地が必要となる機材がUAVのみとなり、現地調査で必要となる機材を少なくすることが可能となる。災害時には林道等が不通となっている場合が多いことから、人肩運搬を必要とする機材の減少は、作業効率化に大きく寄与する。

##### (参考) 標定点を省略した場合の精度

「令和3年度治山技術推進等調査業務」で行った現地調査では、標定点を省略した場合と標定点を設置した場合との誤差について以下のように取りまとめられている。

平面座標の位置精度：平均4.03m（最大7.00m）

標高値の精度：平均9.17m（最大18.15m）

任意の点間距離精度：平均0.30m（誤差／距離：0.30%）

このことから、標高の値が最も誤差が大きく平面座標の数倍の誤差となっているが、任意の点間距離については誤差／距離が平均で1%以下となった。よって、平面座標や標高では誤差が生じるが、距離（面積）の誤差は僅かであることから、工事実施を行わない概算の規模を把握する場合には、標定点を省略しても良いと判断される。

##### 4-3-2 治山全体計画及び予備測量

治山全体計画及び予備測量では、基本的にUAVによる写真撮影を基に現状把握を行う。必要に応じて、UAV写真測量（標定点設置を省略）を行うことにより、効率的に定量的な調査結果を取得する。

治山全体計画及び予備測量では、崩壊地の有無、露岩地、沢の規模、倒木の有無等

の状況を把握することが目的であることから、上空から撮影された画像で十分である。しかし、荒廃の激しい箇所や具体的に施設の計画を行う箇所など、限定された箇所において**UAV写真測量（標定点設置を省略）**を行うことで、その規模（延長や面積）を把握することができる。また、荒廃の状況や施設計画の概要を示した鳥瞰図<sup>ちようかんず</sup>などを作成することが可能で、地元説明会などでの資料としての活用も考えられる。

この場合のUAV写真測量は、標定点の設置を省くとともに、定められた地上画素寸法を超える高度及び解像度で撮影して良い。

## 5. 林道事業

### 5-1 路線測量

ここでは、従来の方法も含めた測量方法の選定、図上設計が実施可能であるかの検討、新設や改良・改築などの路線区分別の測量方法の適用について示す。

#### 5-1-1 測量方法の選定

I C Tを活用した測量を行う場合には、従来の測量方法と比較検討して効率的となる場合に実施することとする。比較検討に当たっては、I C Tを活用した測量において障害となる樹木や下層植生の成立状況を十分考慮して行う必要がある。

路線測量は林道の新設や改築・改良のほか、災害復旧などで実施されている。この中で、林道の新設の場合には、伐開されていない林地を対象とすることから、植生の影響が強い。一方で、改築、改良及び災害復旧などでは、既存の林道があることから、植生の影響が低い。よって、改築、改良及び災害復旧では、比較的I C Tを活用した測量で効率化する場合が多いと考えられるが、新設ではよほど立地条件が良い場合（植生の成立が疎である等）でないと業務の効率化を図ることは困難である。

#### 5-1-2 図上設計の検討

適用の項でも示したように、路線測量では、「I.P の選定」、「中心線測量」、「縦断測量」、「横断測量」、「平面測量」、「伐開」がある。I C Tを活用した地形測量については、基本的に、「縦断測量」、「横断測量」、「平面測量」を対象とするが、現地の状況を判断し、図上設計が適していると判断した場合には、現地での「I.P の選定」、「中心線測量」を省略することが出来る。

#### ①現地で「I.P の選定」及び「中心線測量」を行う場合

現地での「I.P の選定」及び「中心線測量」は、新設や改築・改良等の延長が長い場合、崩土や湧水、流れ盤など、地表面のデータのみで判断できない箇所などで実施する。

このように、地形データの取得についてI C T技術を活用した手法で実施することを前提に中心線測量を従来のトータルステーション等を用いる場合の測量方法等を以下に示す。

- 座標系：公共座標の日本平面直角座標系
- 測量の精度：測角は秒単位、測距は mm 単位とする。
- 標定点設置：I.P または 100m毎に 1 箇所
- ベンチマーク：位置を座標で把握する。
- 検証点：ベンチマークまたは任意の測点 2 点以上

## ②図上で「I.Pの選定」及び「中心線測量」を行う場合

地形データをもとに図上で「I.Pの選定」及び「中心線測量」を行う場合は、短区間の林道災害などの、前後の I.P により中心線が決まってくる箇所等での実施が望ましい。

なお、ICT技術を活用した測量方法に加えて従来の方法で補完測量を行う場合には、前述の①の項に準じた測量方法を行う。

- 座標系：公共座標の日本平面直角座標系
- 測量の精度：測角は秒単位、測距：mm 単位とする。
- 標定点設置：原則 I.P または 100m毎に 1 箇所とするが測量範囲が 100m以内の場合は 2 点以上の標定点を設置する。
- 検証点：ベンチマークまたは任意の測点 2 点以上

なお、図上測量を行う場合には、現地において中心線が決定していないことから、伐開幅の想定が出来ない。よって、地形データの取得に当たっては、十分余裕のある範囲を測量する必要がある。

### 5-1-3 路線測量区分別の適用

路線測量では、新設、改築・改良、林道災害等に分けられる。これら路線測量の実施に当たっては、UAV写真測量、UAVレーザ測量、地上レーザ測量等の特徴を考慮し、効率的な測量方法を選定し実施する。



## (参考) 路線測量の種類別の検討内容例

### ○新設の路線測量の場合

新設の場合、自然の林内を対象としていることから、植生による影響が大きい。特に樹冠がうっ閉している箇所では、UAV写真測量やUAVレーザ測量の実施は困難である。また、樹冠の下部で作業が可能である地上レーザ測量においても、林床部の植生の伐開が必要となることが多く、従来のトータルステーションによる測量と比較して非効率となる場合がある。

また、測量延長が長い路線において図上測量でI.Pの選定を行い中心線を決定する場合、現地で検証を行い、中心線として妥当であるか確認する必要がある。

### ○改築・改良

改築とは既存の路線を上位の種類又は級別区分にするもので、改良とは級別の区分を変更せず曲線半径や拡幅量などを変更するものをいう。

いずれも既存の路線があることから、新設の場合と比較して植生の成立は少ない。このことから、UAV写真測量やUAVレーザ測量が活用できる可能性がある。ただし、開設後の経年とともに、路線周辺の枝葉が路線内に張り出した場合には、上空から確認することが困難となる。また、路線外の植生の成立が密である場合、地上レーザ測量を行う場合にも伐開作業が必要となる。

### ○林道災害

林道災害では、被災した林道が対象となることから、崩壊した地山が露出していることが多い。被災の規模によるが、上空からの眺望が望める場合には、UAV写真測量が効率的である。ただし、被災箇所の上空が十分開けていたとしても、被災地周辺に立木がある場合には、UAVレーザ測量や地上レーザ測量が効率的である場合もある。

### ○測量方法の組み合わせ

山地での測量では、地形や植生などの現場の状況が、測量範囲内でも大きく異なる場合が多い。このことから、一つの測量方法ではなく、特徴の異なる測量方法を組み合わせることで、効率的な測量を実施することが出来る。

一例としては、上空から地盤が十分確認できる場合にはUAV写真測量により効率的に地表面のデータを取得し、樹冠の下部では地上レーザ測量やトータルステーションによる測量で、地表面のデータを取得する方法等が上げられる。ただし、複数の測量法を組み合わせる場合には、座標系や位置の基準を合わせる必要がある。

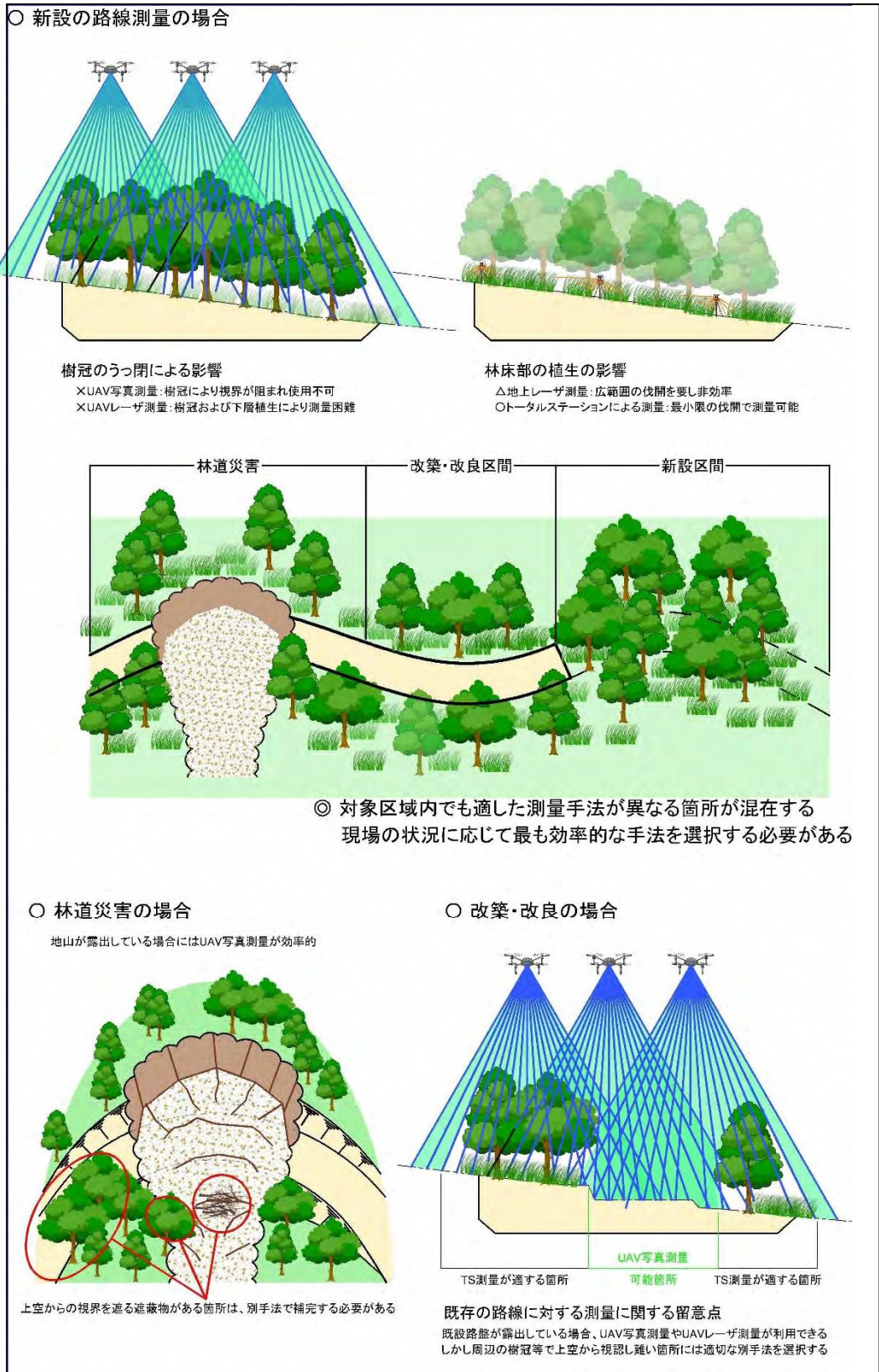


図 5-1 路線測量における測量方法別のイメージ図

## 5-2 林道設計

ここでは、ICTを活用した測量成果として得られる3次元のデータを用いる場合に、従来の設計作業に加え新たに必要となる作業とその利用方法について示す。

### 5-2-1 点群データ処理と構造化

林道設計における点群データ処理と構造化については、「4-2-1 点群データ処理と構造化」に準じて実施する。

### 5-2-2 3次元データによる設計

林道設計では、ノイズ処理後の点群データもしくは構造化されたTINデータもしくはグリッドデータを用いて、縦断計画の検討、横断計画の検討、構造物等の検討を行い、平面図、縦断面図、横断面図、構造物等の図面類の作成及び各種数量計算書の作成を行う。

#### (参考) 3次元設計

3次元設計では、「4. 治山事業」で示した内容と同様に、専用のソフトがあると効率的でミスの少ない作業が可能となる。

また、従来の測量方法であれば、測量杭のある点のみの地形データであるが、ICTを活用した測量成果は面的な地形データであることから、中心線の変更や構造物の追加などの設計内容の変更が容易となる。

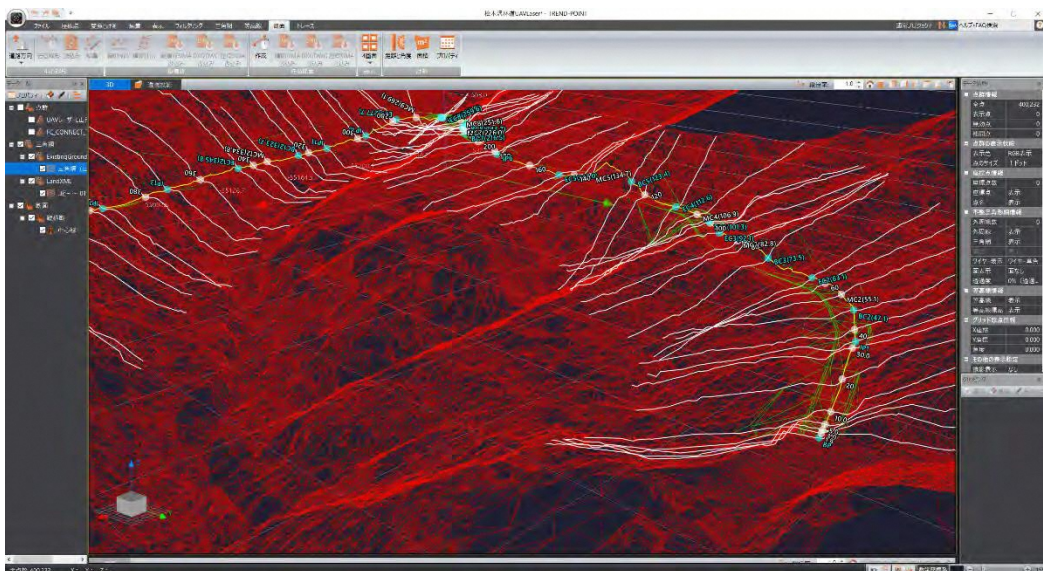


図 5-2 3次元設計の事例（使用ソフト：福井コンピュータ TrendPoint）



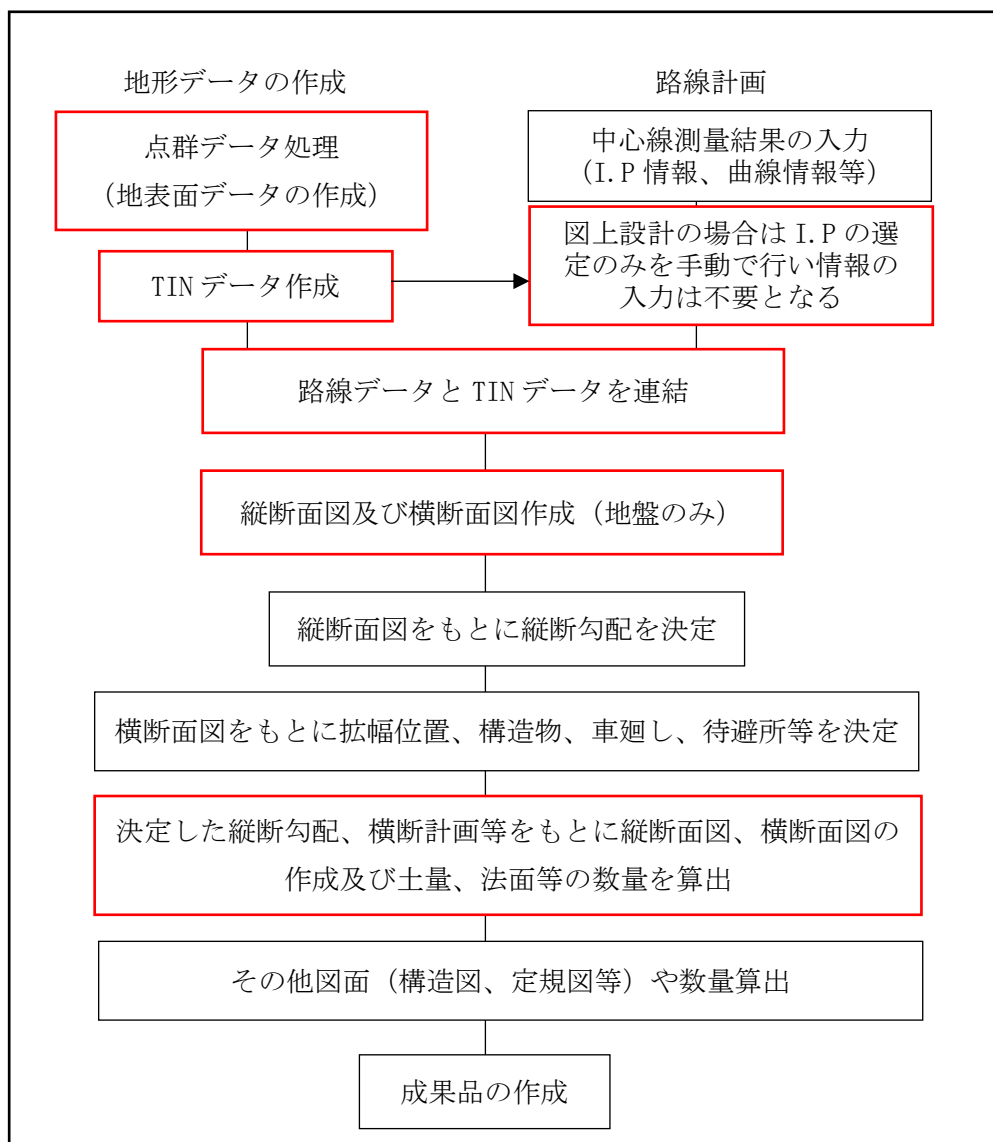


図 5-3 3次元設計の工程例

□: ソフトによる自動処理

### 5-3 測量設計業務以外での活用

ここでは、測量設計業務以外の業務での活用として、災害時の被災状況把握と施設点検（橋梁点検）を取り上げ、その内容を示す。

#### 5-3-1 林道の被災状況把握

迅速性が求められる災害時の被災状況を把握する場合には航空写真やUAVによる写真撮影が効率的である。多くのUAVではGNSS測位器が付いていることから、UAVで撮影された画像データにより、撮影場所の情報を把握することが出来る。また、必要に応じて、標定点を設置しないUAV写真測量を行うことにより、被災規模等を詳細に把握することが可能となる。

## 森林整備保全事業 UAV 写真測量標準仕様書 (案)

### 第1条 UAV写真測量による3次元点群作成

- 1 UAV写真測量とは、UAV（無人航空機）により撮影された異なる位置の多数の画像をもとに、撮影対象の地形情報を得る手法である。
- 2 3次元点群とは、地形に関わる情報の水平位置、標高に加え、空中写真の色情報を属性として、計算処理が可能な状態として表現したものをいう。
- 3 UAV写真測量により3次元点群を得るためには、以下の工程により行うこととする。
  - (1) 作業計画
  - (2) 補完測量
  - (3) 標定点及び検証点の設置
  - (4) 撮影飛行
  - (5) 3次元形状復元計算（点群編集、3次元点群データファイルの作成）
  - (6) 成果等の整理

### 第2条 3次元点群の精度

3次元点群の精度は、下表の地図情報レベルに応じた精度とする。森林土木事業では原則として地図情報レベル250と地図情報レベル500を適用する。地図情報レベル250は林道の設計業務等に適用し、地図情報レベル500は治山の設計業務等に適用することを基本とする。なお、ここでいう位置精度とは、作業範囲において観測した検証点の位置座標と、この地点に相当する3次元点群が示す位置座標のX、Y、Zそれぞれの成分の較差の許容範囲をいう。

表 地図情報レベル別の精度

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

### 第3条 作業計画

作業計画は、第1条に示す工程の内容に従って作成する。

### 第4条 補完測量

#### 1 補完測量計画

山地で行うUAV写真測量では、樹木の樹冠などの遮蔽物により、目的とする地形データの取得が困難となる場合がある。遮蔽物である植生の量が少ない場合には、伐開等により写真測量を実施することを検討するが、植生量が多い又は大径木であり伐採することが困難な場合には、トータルステーション等の他の測量方法で地形データを補完することを検討する。

補完測量必要性の判断基準は、UAV写真測量の撮影高度、解像度等により異なること



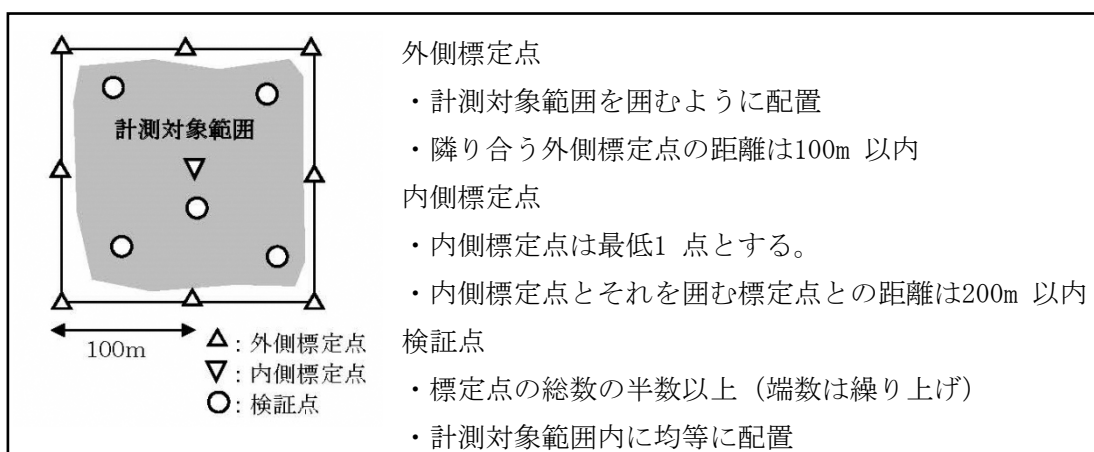
から、一定の値として示すことは出来ないが、上空の開空率が 5 割以下となった場合には、補完測量を実施することが望ましい。

## 2 補完測量の内容

補完測量は、中心線測量、縦断測量、横断測量により地形データを把握する。その精度は、中心線測量については、ICTを活用した調査・測量実施要領（治山・林道編）「5-1 路線測量」に示されている値、縦断測量、横断測量については、測量業務等標準仕様書「第 2203 条測量の精度等」に示されている値に準ずるものとする。

## 第5条 標定点及び検証点の設置

- 1 標定点とは、3次元形状復元計算に必要となる水平位置及び標高の基準となる点である。
- 2 検証点とは、3次元点群の検証を行う点である。
- 3 標定点及び検証点の配置は、計測対象範囲の形状、高低差、撮影コース、地表面の状態等を考慮して、以下の内容に留意して配置する。
  - (1) 標定点は、計測対象範囲を囲むように配置する「外側標定点」と計測対象範囲内に配置する「内側標定点」で構成する。
  - (2) 標定点の配置間隔は、外側標定点間が 100m 以内、内側標定点間が 200m となるように配置する（位置精度 0.10m 以内の場合）。
  - (3) 計測対象範囲の高低差が大きい場合には、標高の高い点と低い点に標定点を配置することが望ましい。
  - (4) 検証点は、標定点とは別に設置するもので、標定点から離れた場所で、計測対象範囲に均等に配置することを標準とする。また、検証点の設置数は、標定点の半数以上を標準とする。



- 4 標定点及び検証点には対空標識を設置する。
- 5 対空標識の様子は、次を標準とする。



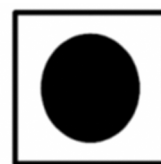
★型



X型



+型



○型

- (1) 対空標識の辺長又は円形の直径は、撮影する空中写真に 15 画素以上で写る大きさを標準とする。地上画素寸法が 0.02m以下となるように撮影することから、辺長及び円の直径は 0.30m以上あると 15 画素以上となる。
- (2) 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。
- (3) 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。
  - ア あらかじめ土地の所有者又は管理者の許可を得る。
  - イ UAV から明瞭に撮影できるよう上空視界を確保する。
  - ウ 設置する地点の状態が良好な地点を選ぶものとする。
- (4) 設置した対空標識は、撮影作業完了後、速やかに回収し原状を回復するものとする。
- (5) 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、その構造物を標定点及び対空標識に代えることができる。

#### 第6条 標定点及び検証点の測量及び成果簿の作成

- 1 標定点及び検証点は、公共座標系に準じて測量することが望ましいが、トータルステーション等により各点間の位置関係が正確に把握可能であれば任意座標でも良い。
- 2 トータルステーションを用いた標定点及び検証点の精度管理は次表を標準とする。

区分		水平角観測	鉛直角観測	距離測定
方法		2 対回 (0°, 90°)	1 対回	2 回測定
較差の許容範囲	倍角差	60"	60"	5 mm
	観測差	40"		

- 3 RTK (リアルタイムキネマティック) 法など、その点の座標を直接観測可能な機材を用いた場合には、観測を 2 セット行い、X 及び Y 成分は 20mm、Z 成分は 30mm を標準とする。ただし、ネットワーク型 RTK 法の場合、単点観測法による観測も可能である。
- 4 標定点及び検証点の成果は、それぞれの座標を示した「成果表」、それぞれの位置を示した「配置図」、測量後の誤差を示した「精度管理表」にまとめて提出する。

#### 第7条 UAVによる写真撮影

- 1 撮影する空中写真の地上画素寸法は、0.02m 以内 (位置精度 0.10m以内の場合) とし、対地高度等を検討する。
- 2 UAVの飛行速度は、写真の記録時間、撮影間隔等から適切な速度を設定する。
- 3 撮影コースは直線及び等高度で撮影することを標準とする。また、計測対象範囲内に空白部を生じさせないコース及び外側標定点が撮影範囲内に入るコースを設定する。
- 4 写真の重複度は、同一コース内の隣接する写真で 80%、隣接コース間の写真で 60%以

上を標準とする。

- 5 計測対象範囲内の高低差が大きい場合には、高度が高い箇所でUAVと地表との距離が短くなり撮影範囲が小さくなる。これにより期待する重複度が得られない場合が想定される。こういった場合には、計測対象範囲をいくつかのブロックに分けて撮影する必要がある。
- 6 使用するデジタルカメラによっては、カメラキャリブレーションを行い、焦点距離、画像中心からの主点位置のズレ、放射方向の歪み量、接線方向の歪み量等を把握する。3次元形状復元計算を行うソフトにはセルフキャリブレーション機能があるものがあり、これに対応したカメラを使用した場合にはカメラのキャリブレーションは不用である。

#### 第8条 UAVの性能等

- 1 自律飛行機能及び異常時の自動帰還機能を装備している。
- 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。
- 3 撮影時の機体の振動や揺れを補正し、デジタルカメラの向きを安定させることができる。

#### 第9条 使用するデジタルカメラの性能等

- 1 焦点距離、露光時間、絞り、ISO感度が手動で設定できる。
- 2 レンズの焦点の距離を調整したり、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。なお、地形形状等から、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、焦点距離の調整機能を解除できないデジタルカメラを使用することも可能である。
- 3 焦点距離や露光時間等の情報が確認できる。
- 4 十分な記録容量を確保できる。
- 5 撮像素子サイズ及び記録画素数の情報が確認できる。
- 6 撮影に使用するデジタルカメラのレンズは、単焦点のものを標準とする。

#### 第10条 撮影飛行

- 1 計画対地高度及び計画撮影コースを保持するものとする。計画対地高度に対する実際の飛行の対地高度のずれは、10%以内とする。
- 2 離着陸以外は、自律飛行で行うことを標準とする。
- 3 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。
- 4 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。
- 5 撮影結果については、撮影範囲、空中写真の画質、隣接空中写真間の重複度、標定点及び検証点が撮影されているか等について確認する。
- 6 撮影結果の確認作業において追加撮影の必要が生じた場合には、追加撮影を行う。

#### 第11条 3次元形状復元計算

- 1 3次元形状復元計算とは、撮影した空中写真及び標定点を用いて、空中写真の標定要素及び空中写真に撮像された地点の位置座標を求め、地形・地物の3次元形状を復元し、

オリジナルデータを作成する作業をいう。

- 2 3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、3次元点群の生成までの一連の処理を含むものとする。
- 3 3次元形状復元計算ソフトが出力する情報には、点検に利用可能な以下のようなものがある。
  - (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
- 4 あらかじめ求めた検証点の位置座標と、3次元形状復元計算で得られた検証点の位置座標との較差が、X、Y、Z いずれの成分も、作成する3次元点群の位置精度以内であることを確認する。
- 5 オリジナルデータの点群データから必要に応じて異常点の除去、あるいは、点群の補完等の編集を行ってグラウンドデータを作成し、所定の構造化を行う。
- 6 3次元点群の密度は $0.25\text{m}^2$  ( $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ ) につき1点以上であることを標準とする。部分的に低密度となった場合にはトータルステーション等で補完することも可能である。

#### 第12条 成果品

- 1 グラウンドデータ又は変換した構造化データから3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し、成果品とする。
- 2 3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、3次元点群としてはLAS形式、CSV形式、TXT形式が、サーフェスモデルとしてはLandXML形式やTIN形式が一般的である。
- 3 成果品として3次元点群データの他に、必要に応じて以下のものを提出する。
  - ・ カメラキャリブレーション実施記録
  - ・ UAV 撮影コース別精度管理表
  - ・ 空中三角測量精度管理表
  - ・ 3次元形状復元精度管理表
  - ・ 電子納品補足資料

#### 第13条 安全管理

UAVの飛行に当たっては、森林管理局等で定める安全管理に関する注意事項を周知の上厳守すること。なお、令和4年3月における各森林管理局のHPのURLを下記に示す。

北海道森林管理局

<https://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/apply/nyurin/drone.html>

東北森林管理局

<https://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/apply/nyurin/300326doronhikou.html>

関東森林管理局

[https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/apply/nyurin/mujinkoukuuki\\_300605.html](https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/apply/nyurin/mujinkoukuuki_300605.html)

中部森林管理局

[https://www.rinya.maff.go.jp/chubu/introduction/gaiyou\\_kyoku/nyurinkyoka/doronhikou.html](https://www.rinya.maff.go.jp/chubu/introduction/gaiyou_kyoku/nyurinkyoka/doronhikou.html)

近畿中国森林管理局

<https://www.rinya.maff.go.jp/kinki/apply/license/n-drone.html>

四国森林管理局

<https://www.rinya.maff.go.jp/kinki/apply/license/n-drone.html>

九州森林管理局

[https://www.rinya.maff.go.jp/kyusyu/apply/nyurin/formalities/case\\_mujin.html](https://www.rinya.maff.go.jp/kyusyu/apply/nyurin/formalities/case_mujin.html)