

事 務 連 絡
令和 5 年 3 月 31 日

各森林管理局 治山課長 殿
森林整備（第二）課長 殿

林野庁 計画課 施工技術班担当課長補佐
治山課 施設実行班担当課長補佐
業務課 路網整備班担当課長補佐
治 山 班担当課長補佐

森林整備保全事業における I C T 活用工事施工管理要領について

「森林整備保全事業における I C T 活用工事施工管理要領について」（令和 4 年 3 月 31 日
付け事務連絡）においてお知らせした森林整備保全事業における I C T 活用工事施工管理要
領（案）について、LiDAR 測量及び RTK・GNSS 測定の取扱いを追加しましたので送付します。

担当：計画課 積算基準係長
治山課 地すべり係長
業務課 森林土木専門官
災害対策分析官

森林整備保全事業における
I C T 活用工事施工管理要領（案）

目次

【用語の定義】	1
1. 総則	5
1. 1 目的	5
1. 2 適用	5
1. 3 本要領に記載のない事項	6
2. 施工計画	7
2. 1 施工計画書	7
2. 2 UAV写真測量の計画書	7
2. 3 UAVレーザ測量の計画書	9
2. 4 地上レーザ測量の計画書	10
2. 5 LiDAR 測量の計画書	11
2. 6 RTK・GNSS測量の計画書	11
3. 監督実施項目	13
3. 1 施工計画書の確認	13
3. 2 出来形計測の確認	13
4. ICTを活用した測量	15
4. 1 UAV写真測量	15
4. 2 UAVレーザ測量	26
4. 3 地上レーザ測量	33
4. 4 LiDAR 測量	37
4. 5 RTK・GNSS測量	38
5. 起工測量	40
5. 1 測量精度と計測密度	40
5. 2 UAV写真測量	40
5. 3 UAVレーザ測量	40
5. 4 地上レーザ測量	40
5. 5 LiDAR 測量	41
5. 6 RTK・GNSS測量	41
6. 出来高管理及び完成検査	42
6. 1 測量精度と計測密度	42
6. 2 測定箇所	42
6. 3 UAV写真測量	43
6. 4 UAVレーザ測量	43
6. 5 地上レーザ測量	44

6. 6	LiDAR 測量.....	44
6. 7	RTK・GNSS 測量.....	44
7.	管理資料の作成.....	45
7. 1	管理図表の作成.....	45
7. 2	数量算出.....	45
7. 3	成果品の作成.....	46

【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もとに、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

有人航空機によるレーザー測量とする。航空機にはUAV（無人航空機）も含まれるが、本要領では、UAVによるレーザー測量と区分するため、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のみを航空レーザー測量とする。

・ UAVレーザー測量

UAV（無人航空機）に搭載したレーザー測定器による測量方法を示す。

・ 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。

・LiDAR（ライダー）測量

UAVレーザ測量や地上レーザ測量と同様に、レーザ測定器により地形データを把握するものであるが、本要領では、移動しながら測位することが可能なSLAM（スラム）といわれる位置特定と地図作成を同時に実行するシステムを使用している測量機器を示す。

・SLAM（位置特定と地図作成の同時実行）

SLAM（スラム）とはSimultaneous Localization and Mapping（自己位置推定同時地図作成）の略で、移動体においてその位置特定と地図作成を同時に実行するシステムである。LiDAR 測量機では、定時的にレーザにより周辺の地形情報を取得している。これから得られる幾何学的な地形データを前回の観測結果と比較し、同だと推定される点（特徴点）を複数箇所抽出し、前回データに継ぎ足すことで、対象区域全体の地形データを構築するシステムである。

・GNSS

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である。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し、その他日本で運営しているQZSS、ロシアのGLONASS、ヨーロッパ連合のGalileo、中国のBeiDouなどがある。

・RTK・GNSS測量

GNSS測量にRTKを付加したものである。RTKとは、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点に固定局を設置し、そこで観測したGNSS測量結果から補正情報を作成し、位置を把握したい点に設置した移動局にその情報をリアルタイムで送ることで、その精度向上を図る測定方法である。

・ネットワーク型RTK・GNSS測量

RTK・GNSS測量で必要となる固定局からの補正情報を測定時（リアルタイム）にネットワークから取得する方法である。このため、ネットワークに接続するための通信契約と補正情報を得るための契約がそれぞれ必要となる。この測量方法には、複数の電子基準点を元に測定地点近傍に想定した仮想点での補正情報を得るVRS方式や、電子基準点を元に作成されたパラメータ平面上での位置を元に作成された補正情報を得るFKP方式がある。

- ・ **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。

- ・ **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点データの集合体である。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（las、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。

- ・ **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. 総則

1. 1 目的

本要領は、施工時に行う各種計測について、ICTを活用した計測方法を取り入れることで、効率的な施工管理を実施することを目的として策定したものである。

[解説]

ICTを活用した計測方法では、3次元の点群データを取得することにより、従来の巻尺やレベルによる長さの計測や、レベルによる高さの計測が不要となる。また、掘削時の形状や埋戻前の状況等を3次元データとして保存することが可能で、施工後においても掘削量や埋戻量を正確に把握することができる。

しかし、一方で3次元点群データを効率的に取り扱うためには専用のソフトの活用が必要となり、従来の施工管理方法とは異なることから、3次元点群データを活用するための手順や基準を明確に示す必要がある。

1. 2 適用

本要領は、施工時に実施する起工測量、出来形管理、完成検査等の計測を伴う作業に適用する。

また、本要領で取り上げるICTを活用した測量方法は、「UAV写真測量」、「UAVレーザ測量」、「地上レーザ測量」である。

[解説]

1. 対象となる作業の範囲

本要領で示す作業の範囲は図1-1の実線部分である。

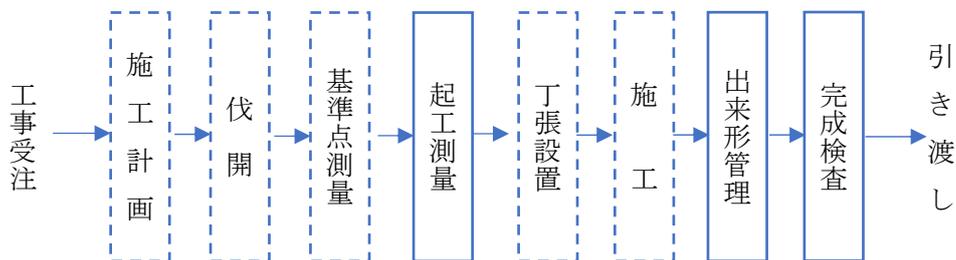


図 1-1 本要領の対象となる作業範囲

2. 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、その特徴を取りまとめる。なお、適用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

トについては、2021年度時点の一般的な機材を想定した。

表 1-1 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
適用条件	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
適用範囲	100ha程度以下	数百haまで	数ha以下
作業時間	◎	○	△
導入コスト	◎	△	○

1. 3 本要領に記載のない事項

本要領に定められていない事項は、以下の基準によるものとする。

- ① 森林整備保全事業工事標準仕様書（林野庁）
- ② 森林整備保全事業施工管理基準（林野庁）
- ③ 森林整備保全事業工事写真管理基準（林野庁）
- ④ 森林整備保全事業数量算出要領（林野庁）
- ⑤ ICTを活用した調査・測量実施要領（林野庁）
- ⑥ 空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）（国土交通省）
- ⑦ 無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案）（国土交通省）
- ⑧ 地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案）（国土交通省）
- ⑨ 3次元測量技術を用いた出来形管理要領（案）（国土交通省）

[解説]

本要領は施工中に実施する測量に関する事項について、ICTを活用した手法で実施する方法を定めたものである。本要領に記載のない事項については関連する基準類に準ずるものとする。

2. 施工計画

2. 1 施工計画書

I C Tを活用した測量方法を使用する場合には、以下の必要事項を施工計画書または添付資料に記載しなければならない。

- ① 適用工種
- ② 適用区域
- ③ 計測箇所、出来形管理基準及び規格値
- ④ 使用機器及びソフトウェア

[解説]

①適用工種

本要領により I C Tを活用した測量を行う工種を記載する。

②適用区域

本要領により I C Tを活用した測量を行う範囲を平面図等に示す。なお、I C Tを活用した測量範囲が当該工事範囲全域に及ぶ場合には、平面図等に「施工エリア全体」としてもよい。

③計測箇所、出来形管理基準及び規格値

計測箇所、並びに設計図書及び森林整備保全事業施工管理基準に示されている出来形管理及び規格値の測定基準を記載する。

④使用機器及びソフトウェア

I C Tを活用した測量を行う機器及び3次元点群データを作成するソフトウェアについて施工計画書または添付資料に記載する。

2. 2 U A V写真測量の計画書

U A V写真測量では、必要な性能を有し適正に管理された撮影機材及び必要かつ確実な機能を有するソフトウェアを使用し、その内容を記載する。また、U A V写真測量では、撮影コース及び重複度等を示した撮影計画についても記載する。

[解説]

①U A Vの機体

U A V写真測量に使用するU A Vは、撮影計画を満足する揚重能力および飛行時間を確保できる機体を使用すること。また、航行の安全確保のために、U A Vの保守点検を実施し、その有効期限内であることを示す記録を添付する。U A Vの保守点検は、1年に1回以上、製造元等による点検を行うこととする。

②デジタルカメラ

出来形管理用に利用するデジタルカメラ本体が所要の計測性能を有することを確認するとともに、必要に応じて製造メーカー等による機能維持のための点検（センサー等の整備及び機能確認など）を実施すること。

③ソフトウェア

UAV写真測量で使用するソフトウェアについて、ソフトウェアの詳細な内容が示されたもの（ソフトウェアのカタログあるいは仕様書等）を、施工計画書または添付資料として提出する。

④標定点及び検証点の設置

UAV写真測量成果の位置及び尺度等を補正するために設置する標定点とその精度を検証する検証点について、その外観、設置位置など平面図等に示す。

⑤地上画素寸法及び測定精度

地上画素寸法とは、UAVにより撮影された写真中の1画素の地上部での大きさ（寸法）のことである。UAV写真測量ではこの地上画素寸法により測定精度が異なる。また、その測定精度は、位置を把握している検証点と写真測量により求められた位置との差により求められる。

本要領では、この地上画素寸法や測定精度について、起工測量、出来形管理、完成検査などの工程別や、対象工種別に必要となる値を示している。これらの値について、工程及び対象工種とともに示し、施工計画書または添付資料として提出する。

⑥撮影計画

以下の項目に留意した撮影計画を立て施工計画書に示す。

- ・ 撮影画像の重複率、地上画素寸法が確保できる飛行経路及び飛行高度
- ・ 算出に使用するソフトウェアの名称
- ・ 標定点の外観及び設置位置、標定点位置の測定方法
- ・ 対地高度は、必要な地上画素寸法を確保できるよう、使用するカメラの素子寸法及び画面距離から求める（「4.1 UAV写真測量」参照）。
- ・ UAVを飛行するために必要となる手続き

2. 3 UAVレーザ測量の計画書

UAVレーザ測量では、必要な性能を有し適正に管理された撮影機材及び必要かつ確実な機能を有するソフトウェアを使用し、その内容を記載する。また、UAVレーザ測量では、飛行高度、飛行コース及び重複度（サイドラップ率）等を示した飛行計画書についても記載する。

[解説]

①UAV

UAVレーザ測量で使用するUAVは、レーザ計測器、GNSS測量機、IMUなどの必要機材を付属した機体を浮上される揚力を有している機体、および計測に必要な飛行時間を確保できる機体を使用すること。また、航行の安全確保のために、UAVの保守点検を実施し、その有効期限内であることを示す記録を添付する。UAVの保守点検は、1年に1回以上、製造元等による点検を行うこととする。

②レーザ計測器

UAVレーザ測量の性能は、使用しているレーザ計測器及び位置と方向を制御するIMU等により大きく影響を受ける。さらに、計測時の飛行対地高度等の計測条件により計測精度が異なってくる。このため、所要の精度を満足する機器を使用するとともに、UAVレーザ機器及びIMUの点検を実施し、所期の機能及び精度を有していることを確認する必要がある。

③ソフトウェア

UAVレーザ測量で使用するソフトウェアについて、ソフトウェアの詳細な内容が示されたもの（ソフトウェアのカタログあるいは仕様書等）を、施工計画書または添付資料として提出する。

④標定点及び検証点

UAVレーザ測量成果の位置等を補正するために設置する標定点（調整用基準点）とその精度を検証する検証点について、その外観、設置位置などを平面図等に示す。

⑤測定精度

測定の精度は、位置を把握している検証点とUAVレーザ測量により求められた位置との差により求められる。本要領では、起工測量、出来形管理、完成検査などの工程別や、対象工種別に必要となる値を示している。この値について、工程及び対象工種とともに示し、施工計画書または添付資料として提出する。

⑥飛行計画

以下の項目に留意し、飛行計画を立て施工計画書に示す。

- ・ 所定の精度が確保できる飛行経路及び飛行高度
- ・ 算出に使用するソフトウェアの名称
- ・ 標定点（調整用基準点）の外観及び設置位置、標定点位置の測定方法
- ・ 測定範囲については対象範囲から十分余裕（5m程度）をもった範囲とする
- ・ UAVを飛行するために必要となる手続き

2. 4 地上レーザ測量の計画書

地上レーザ測量では、必要な性能を有し適正に管理された撮影機材及び必要かつ確実な機能を有するソフトウェアを使用し、その内容を記載する。

[解説]

①地上レーザ測量機器

地上レーザ測量で使用する機器は、以下の性能を有するものとする。また、計測機器の性能を確保するために1年に1回以上の保守点検を行うこととする。

- ・ 地上レーザスキャナの距離観測方法はTOF方式^{※1}又は位相差方式^{※2}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。
- ・ 標準的な地形及び地物が入射角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

②ソフトウェア

地上レーザ測量で使用するソフトウェアについて、ソフトウェアの詳細な内容が示されたもの（ソフトウェアのカタログあるいは仕様書等）を、施工計画書または添付資料として提出する。

③標定点及び検証点

地上レーザ測量成果の位置等を補正するために設置する標定点とその精度を検証す

る検証点について、その外観、設置位置などを平面図等に示す。

④測定精度

測定の精度は、位置を把握している検証点と地上レーザ測量により求められた位置との差により求められる。本要領では、起工測量、出来形管理、完成検査などの工程別や、対象工種別に必要となる値を示している。この値について、工程及び対象工種とともに示し、施工計画書または添付資料として提出する。

2. 5 LiDAR 測量の計画書

LiDAR 測量では、必要な性能を有し適正に管理された撮影機材及び必要かつ確実な機能を有するソフトウェアを使用し、その内容を記載する。

[解説]

①LiDAR 測量機

LiDAR 測量機は、要求仕様を満たす成果が得られることを確認するための精度・性能試験を行ったものでなければならない。機器の精度・性能試験は、オリジナルデータを作成し、標定点残差と検証点較差を確認するとともに、標識又は標高値が既知である一定のサイズの平坦面の5か所以上において、点密度及び計測点の標高のバラつきを確認する。また、計測結果により当該機器の有効範囲を設定し、有効範囲内において概ね満たすことができる点密度を把握する。

②ソフトウェア

LiDAR 測量で使用するソフトウェアについて、ソフトウェアの詳細な内容が示されたもの（ソフトウェアのカタログあるいは仕様書等）を、施工計画書または添付資料として提出する。

③標定点及び検証点

LiDAR 測量成果の位置等を補正するために設置する標定点とその精度を検証する検証点について、その外観、設置位置などを平面図等に示す。

2. 6 RTK・GNSS測量の計画書

RTK・GNSS測量では、必要な性能を有し適正に管理された機材及び必要かつ確実な機能を有するソフトウェアを使用し、その内容を記載する。

[解説]

① R T K ・ G N S S 測量機

R T K ・ G N S S 測量で使用する機材は、国土地理院認定 1 級（2 周波）に指定された機種、またはそれと同等以上の性能を有し、適正な精度管理が行われている機種とする。

② ソフトウェア

R T K ・ G N S S 測量で使用するソフトウェアについて、ソフトウェアの詳細な内容が示されたもの（ソフトウェアのカタログあるいは仕様書等）を、施工計画書または添付資料として提出する。

3. 監督実施項目

3. 1 施工計画書の確認

監督職員は、施工計画書及び添付資料の記載内容をもとに、下記の事項について確認を行う。

- ①適用工種
- ②出来形計測箇所、出来形管理基準及び規格値等

[解説]

①適用工種

I C Tを活用した測量を行う工種について確認する。

②出来形計測箇所、出来形管理基準及び規格値等

適用工種の測定箇所、出来形管理基準及び規格値等について、森林整備保全事業施工管理基準に示されている出来形管理及び規格値の測定基準に基づき確認する。

③使用機器及びソフトウェア

使用する機器及びソフトウェアについて、出来形計測を実施する性能を有しているか、その使用方法は適正であるか等について確認する。

3. 2 出来形計測の確認

監督職員は、計測の実施に当たり、下記の事項について確認を行う。

- ①施工計画書に示された I C Tを活用した測量方法等との整合
- ②3次元データの確認
- ③計測結果等の確認

[解説]

①施工計画書に示された I C Tを活用した測量方法等との整合

出来形計測で用いられた測量機材及び実施された測量方法が施工計画書に示された内容と同じであるか確認する。

②3次元データの確認

I C Tを活用した測量方法により取得した3次元地形データが、工程区分及び工種別に定められた精度内のデータであることを確認する。

③計測結果等の確認

3次元地形データを用いて、対象となる工種の測定項目について、対応する規格値以内になっていることを確認する（「森林整備保全事業施工管理基準」内の「出来形管理及び規格値」の測定基準参照）。

4. ICTを活用した測量

4.1 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、以下の工程で実施する。

- ① UAVの選定
- ② UAVの運航条件の確認
- ③ 数値地形図の地図情報レベル及び精度
- ④ 標定点及び検証点の設置
- ⑤ 標定点及び検証点の測量
- ⑥ 写真撮影
- ⑦ 点群処理
- ⑧ 3次元地形データによる設計
- ⑨ ICTを活用した施工管理（起工測量、出来形管理、完成検査）の実施

[解説]

① UAVの選定

公共事業において使用する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）により示されている。本要領においても、安全面から原則としてこれに準じた機体を使用することとする。

使用するUAV「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）」から抜粋

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25 kg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、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。

②UAV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5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

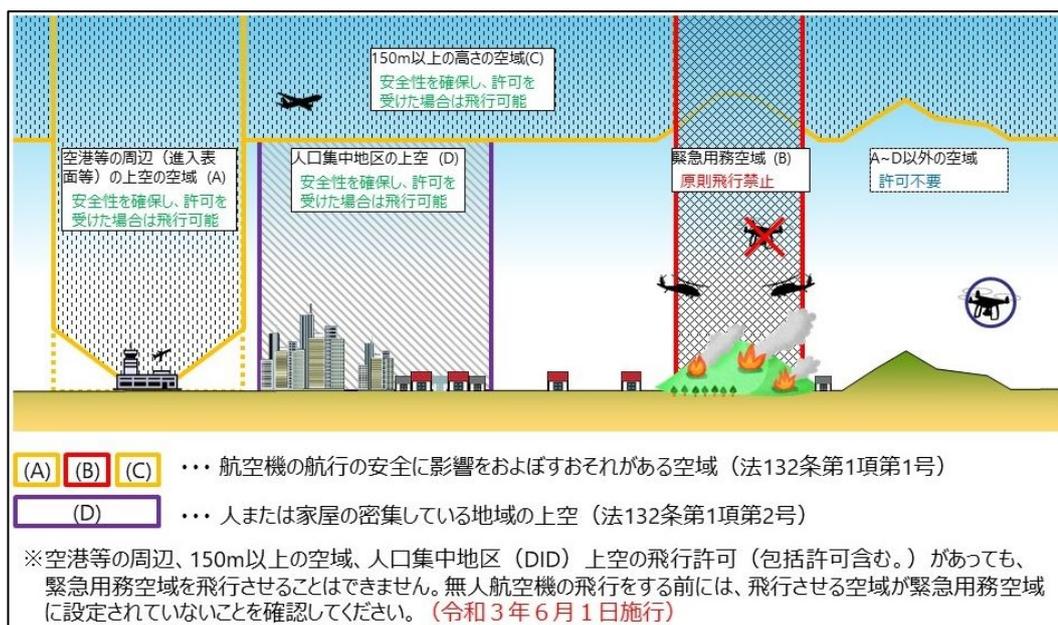


図 4-1 飛行の許可が必要となる空域イメージ図（国土交通省ホームページより）

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>

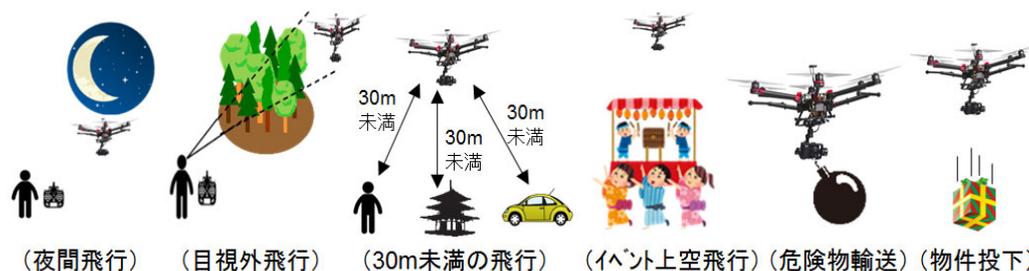
(参考) 無人航空機の飛行の方法 (国土交通省ホームページより)

- [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 >

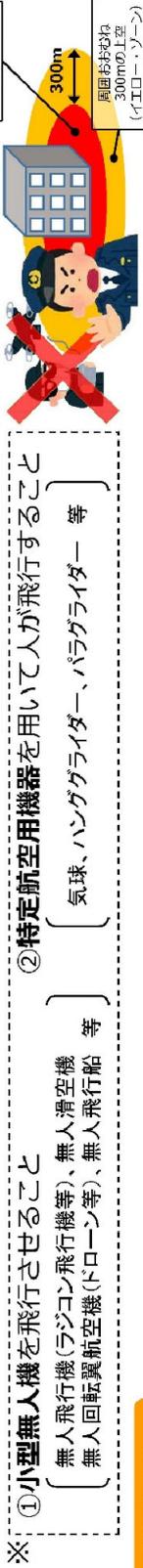


< 承認が必要となる飛行の方法 >



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



対象施設

① 国の重要な施設等 国政の中核機能等の維持

- ・ 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 外国公館等 [外務大臣指定] 良好な国際関係の維持

③ 防衛関係施設 我が国を防衛するための基盤の維持

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

④ 空港 [国土交通大臣指定] 国民生活及び経済活動の基盤の維持

⑤ 原子力事業所 [国家公安委員会指定] 公共の安全の確保

飛行禁止の例外

	原則		防衛関係施設・空港 周囲300m
	敷地又は区域	周囲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ない。
 ※ 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。

違反に対する警察官等※による命令・措置

- 警察官等は、違反者に対して、機器の退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、機器の破損その他の必要な措置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),施設警護自衛官(防衛関係施設),空港管理者等(空港)も対処。

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 を標準とし、地図レベル 250 では出来形検査及び完成検査で適用し、地図レベル 500 は起工測量で適用する。

表 4-1 地図情報レベル別の精度（赤枠：施工管理で適用するレベル）

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

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

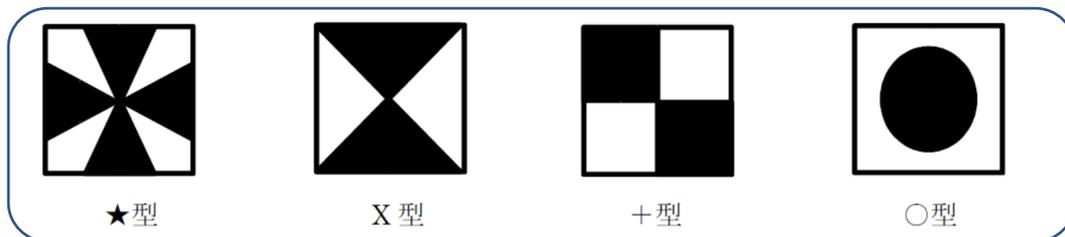


図 4-2 対空標識例

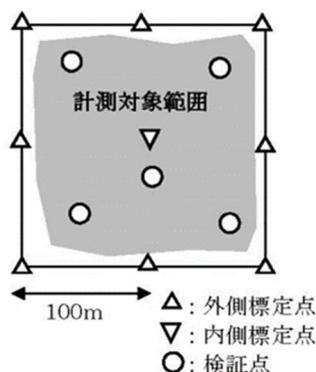
(「UAVを用いた公共測量マニュアル平成 29 年 3 月改定版」より引用)

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

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、国土地理院認定1級の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している場合が多いことから、携帯電波の受信可能圏内である必要がある。また、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 4-1 RTK-GNSS測位器による観測状況
(Leica 社 GS18T)

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。

4) 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画素（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/画素以内
500	0.03m/画素以内

(参考) 地上画素寸法と撮影高度の関係

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（表 4-2）。

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

表 4-2 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)		1/2.3型 6.2 × 4.7		焦点距離(mm)		4.39	
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)		5472 × 3648		画素数		20,000,000 (20M)	
イメージセンサーサイズ (mm)		1型 13.2 × 8.8		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				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)		4/3型 17.3 × 13.0		焦点距離(mm)		15.00	
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)		1型 35.9 × 24.0		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

⑦点群処理

UAVにより撮影された写真データをもとに、SfM (Structure from Motion) ソフトウェアを用いて3次元点群データを作成する。

3次元点群データは、対象物以外のデータが多く含まれることから、これを除去するフィルタリング作業を行う。また、必要に応じて、点群データをより効率的に作業を行うため TIN (不規則三角網) やグリッドデータを作成する。

最終的な地形データとなるグリッドデータの大きさについては、測定項目別の規格値を考慮して決定するものとするが、原則として起工測量では 1 m²、出来形管理及び完成検査では 0.25 m²とする。

3次元点群データの作成に当たっては、検証点での誤差の確認等をまとめた品質レポートを取りまとめる。

⑧3次元地形データによる設計

3次元データをもとに、3次元設計用ソフトウェアを用いて、対象となる測定項目等を測定する。

⑨ICTを活用した施工管理（起工測量、出来形管理、完成検査）の実施

森林整備保全事業施工管理基準内の出来形管理及び規格値の測定基準に示されている測定項目別の規格値と比較する。

4.2 UAVレーザ測量

UAVレーザ測量は、UAVに搭載されたレーザ測量機によって地形を測定するものであり、以下の工程で実施する。

- ①UAVの選定
- ②ポアサイトキャリブレーションの実施
- ③UAVの運航条件
- ④要求点密度の設定
- ⑤計測の実施
- ⑥点群処理
- ⑦3次元地形データによる設計
- ⑧ICTを活用した施工管理（起工測量、出来形管理、完成検査）の実施

[解説]

①UAVの選定

使用するUAVは原則として、「4.1 UAV写真測量」で示した「UAVの選定」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 RTK-GNSS のシステム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。

(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 ^{※1}	3.0m rad 以内
	マルチパルス ^{※2}	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。

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。

以上のことから、UAV レーザ測量に使用する機材については、ボアサイトキャリブレーションを実施することとし、その作業は測量作業前 6 か月以内に行うことを標準とする。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。

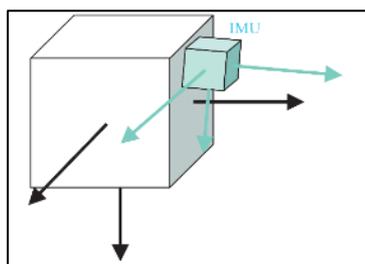


図 4-3 IMU とレーザ測量機の誤差イメージ図

③UAV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。以下に示した安全対策については、現地の状況を鑑み必要に応じて実施することとする。

1) 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、樹木の枝葉や地形が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で飛行テストを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。

2) 安全確保対策

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機体が一般市民に影響がある場合には、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、取扱いには万全の安全確保の体制が必要とされる。

④要求点密度の設定

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作成することができる。

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し、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、巻末資料に成果品の要求仕様として以下の内容が示されている。本要領においてもこれに準じ、工程（起工測量、出来形管理、完成検査）や対象工種に応じた要求点密度を設定する。

(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 ² *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 ² *1
数値図化(地図情報レベル 500)	400 点/m ²
数値図化(地図情報レベル 1000)	100 点/m ²

※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/m²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 ² *2
起工測量	4 点/m ² *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キャ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。

⑤計測実施

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 4-3 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 (θ) 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角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。

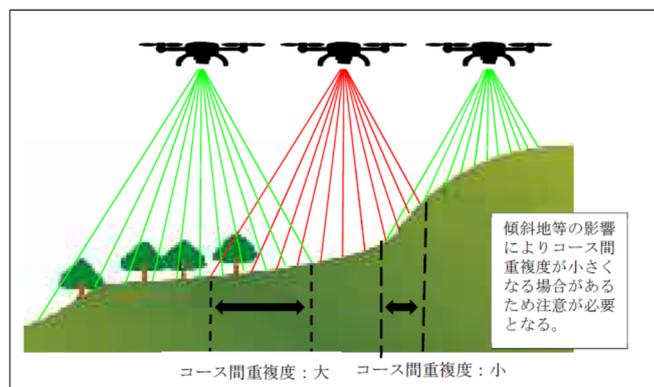


図8 レーザ計測幅と地形による影響

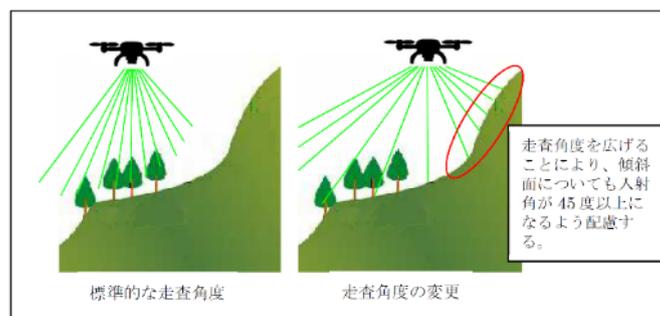


図9 レーザ走査角と地表面に対する入射角の関係

⑥点群処理

「4. 1 UAV写真測量」と同じ処理を行う。

⑦3次元地形データによる設計

「4. 1 UAV写真測量」と同じ作業を行う。

⑧ICTを活用した施工管理（起工測量、出来形管理、完成検査）の実施

「4. 1 UAV写真測量」と同じ作業を行う。

4. 3 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、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、以下の工程で実施する。

①地上レーザ機器の選定

②標定点の設置

③標識の配置

④観測点間隔

⑤計測の実施

⑥点群処理

⑦3次元地形データによる設計

⑧ICTを活用した施工管理（起工測量、出来形管理、完成検査）の実施

[解説]

①地上レーザ機器の選定

使用する地上レーザ測量機器は原則として、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^{※1}又は位相差方式^{※2}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

②標定点の設置

1) 標定点の数

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。この標定点については、レーザ観測の方法により区分されており、次のとおり設置することを原則とする。

なお、異なる地点から複数回観測する場合には、標定点の数は冗長性が保てる範囲で減らすことができる。

- ・相違変換による方法の場合は4点以上
- ・後方交会による方法の場合は3点以上

2) 標定点の精度

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

3) 標定点間の距離

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	0.01m
20m以上	$S / 2,000m$

S：点間距離の計算値 (m)

4) 標定点設置の留意点

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

③標識の配置

標識は、地上レーザ測量計測器の位置及び測定箇所を把握するために配置するもので、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。この標識の配置に当たっては、以下の点に留意することとする。

- 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。

④観測点間隔

観測点の間隔は、地形の観測と地物の観測に区分し、地形の観測条件は放射方向の観測点間隔、地物の観測条件は放射方向の観測点間隔とスポット長径によって決定するものとする。それぞれ値は地図情報レベルによって区分され、下表の値を標準とする。

表 4-4 地図情報レベル・地形地物別の観測点間隔

地図情報レベル	地形	地物	
	放射方向の観測点 間隔[mm]	放射方向の観測点 間隔[mm]	放射方向のスポット 長径(FWHM)[mm]
250	330	25	50
500	330	50	100

⑤計測実施

地上レーザ測量の計測では、所要の測定範囲、観測点間隔が得られるよう、適正な位置に測定器を設置して行う。

また、地上レーザ計測では、複数回機械を移動して対象の地形や地物の形状を把握するものであるが、機械設置箇所から測定可能な範囲は、地形の凹凸や植生等によって変化するとともに、観測時点で正確な観測範囲を把握することは難しい。よって、機械設置位置の選点に当たっては、重複率に余裕を持った位置に設置することが望ましい。

⑥点群処理

点群処理については「4. 1 UAV写真測量」と同じ処理を行う。

⑦3次元地形データによる設計

「4. 1 UAV写真測量」と同じ作業を行う。

⑧ICTを活用した施工管理（起工測量、出来形管理、完成検査）の実施

「4. 1 UAV写真測量」と同じ作業を行う。

4. 4 LiDAR 測量

LiDAR 測量は、移動しながら一定間隔でレーザ光を照射し、地形データを連続的に取得し、そのデータを基に自己位置の推定と点群データのマッピングを行い、計測範囲の 3 次元点群データを取得するもので、以下の工程で実施する。

- ①LiDAR 測量機の選定
- ②標定点の設置
- ③標識の配置
- ④計測の実施
- ⑤点群処理
- ⑥ 3 次元地形データによる設計
- ⑦ ICT を活用した施工管理（起工測量、出来形管理、完成検査）の実施

[解説]

①LiDAR 測量機の選定

使用する LiDAR 測量機は、要求仕様を満たす成果が得られることを確認するための精度・性能試験を行ったものとする。LiDAR 測量機については、キャリブレーションは必要としない。

（参考）

LiDAR 測量の精度は、SLAM のアルゴリズム等の内部的なプログラム等が関連するもので、キャリブレーション等により付帯する機器の精度を検証しても、データの精度を確認することはできない。

②標定点の設置

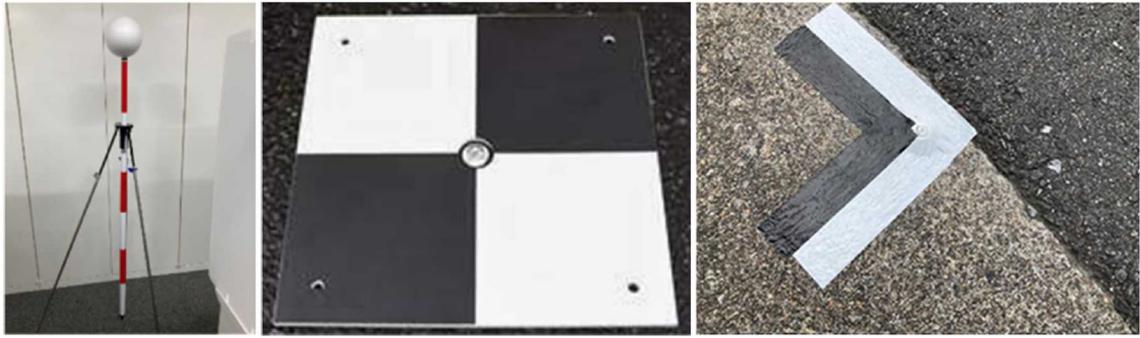
LiDAR 測量機器は多様な性能があり、測定距離 5m 程度のものから 100m 程度のものまである。標定点及び検証点の設置については、使用する機器の性能及び測量範囲に応じ、設置することを原則する。

機器の性能及び測量範囲に応じて標定点の設置数を決定しがたい場合には、調査範囲を囲むように 4 点以上を設置し、検証点は標定点の半数以上とする。

③標識の配置

標定点及び検証点の基準位置を点群上で特定するために、標識を設置する。標識の素材は LiDAR 測量機からのレーザが反射するものでなければならない。また、点群上で標識の基準位置を読み取れる大きさや形状とする。

以下に、設置する標識の例を示す。



④計測実施

LiDAR 測量では、定期的にレーザを照射して地形を計測する手法であることから、移動速度が点密度に影響を与える。よって、LiDAR 測量の計測に当たっては、使用する LiDAR 測量機の推奨する計測速度を把握し、その速度で計測することとする。

⑤点群処理

点群処理については「4. 1 UAV写真測量」と同じ処理を行う。

⑥3次元地形データによる設計

「4. 1 UAV写真測量」と同じ作業を行う。

⑦ICTを活用した施工管理（起工測量、出来形管理、完成検査）の実施

「4. 1 UAV写真測量」と同じ作業を行う。

4. 5 RTK・GNSS測量

RTK・GNSS測量は、衛星からの電波を受信し、その位置情報を得るもので、既知点での補正情報を得ることで、その精度を向上させた測量方法で、以下の工程で実施する。

- ①RTK・GNSS測量機の設定
- ②固定局の設置（ネットワーク型RTK法の場合には不要）
- ③計測の実施
- ④観測手簿及び記録簿の作成
- ⑤点群処理
- ⑥3次元地形データによる設計
- ⑦ICTを活用した施工管理（起工測量、出来形管理、完成検査）の実施

[解説]

①RTK・GNSS測量機

RTK・GNSS測量で使用する機材は、国土地理院認定1級（2周波）に指定され

た機種、又はそれと同等以上の性能を有し、適正な精度管理が行われている機種とする。

②固定局の設置

固定局を設置する既知点について明示する。なお、ネットワーク型RTK法の場合この固定局の設置は不要である。このネットワーク型RTK法の場合は、観測後に観測記録簿等で仮想基準点やパラメータ平面の情報を明示する必要がある。

③計測の実施

実施する測量が、「ICTを活用した調査・測量実施要領_治山・林道編」に示されている、高精度の測量であるか一般の測量であるか、測量対象物によって決定する。高精度の測量の場合、単点観測法を2セット行い、2セット間の差が公差以内であれば、2セット目の値を使用する。一方一般の測量の場合、単点観測法を1セット行い、示されるRMSの値が公差以内であればその値を使用する。

④観測手簿及び観測記録簿の作成

観測結果、使用した衛星の種類と数、使用した楕円体、解の種類、RMSの値等を示した観測手簿及び観測記録簿を作成する。

⑤点群処理

点群処理については「4. 1 UAV写真測量」と同じ処理を行う。

⑥3次元地形データによる設計

「4. 1 UAV写真測量」と同じ作業を行う。

⑦ICTを活用した施工管理（起工測量、出来形管理、完成検査）の実施

「4. 1 UAV写真測量」と同じ作業を行う。

5. 起工測量

5. 1 測量精度と計測密度

I C Tを活用した測量方法で起工測量を実施する場合には、測量精度を±100mm 以内、計測密度を0.25 m² (0.5m×0.5mメッシュ) 当たり1点以上を原則とする。
また、標定点等の基準については地図情報レベル 500 を原則とする。

[解説]

起工測量では、測量設計において設置した測点等を標定点として測量を行い、設計内容と現地の地形を合わせる。

5. 2 U A V写真測量

起工測量においてU A V写真測量を活用する場合には、地上画素寸法を地図情報レベル 500 である0.03m/画素とする。

[解説]

起工測量においてU A V写真測量を活用する場合には、伐採箇所の縁部の立木に留意して実施する。具体的には、大径木が伐採区域外の境界近くに成立していた場合、対象区域内に樹冠が覆い、上空から対象区域内の地盤が視認できないことが想定される。こういった場合には、樹冠の下部を視認できる箇所からの斜め写真等を追加する必要がある。

5. 3 U A Vレーザ測量

起工測量においてU A Vレーザ測量を活用する場合には、最終成果としてのグリッド化の要求点密度が4点/m² (0.25 m²当たり1点)であることを考慮してオリジナルデータの点密度を決定する。

[解説]

オリジナルデータとグリッド化後のグラウンドデータの差は、植生の成立状況、既設などによって変化する。落葉前の広葉樹林では、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%以下になる場合もある。よって、地形条件や植生の状況を現地で十分検討し、適正なオリジナルデータの要求点密度を決定することが重要である。

5. 4 地上レーザ測量

起工測量においてU A Vレーザ測量を活用する場合の観測点間隔は、330mm 以内 (地図情報レベル 500 で対象物が地形の場合) とする。

[解説]

オリジナルデータとグリッド化後のグラウンドデータの差は、植生の成立状況、既設などによって変化する。落葉前の広葉樹林では、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%以下になる場合もある。よって、地形条件や植生の状況を現地で十分検討し、適正なオリジナルデータの要求点密度を決定することが重要である。

5. 5 LiDAR 測量

起工測量においてLiDAR測量を活用する場合の点群密度は1点以上/0.25㎡とする。

[解説]

オリジナルデータとグリッド化後のグラウンドデータの差は、植生の成立状況、既設などによって変化する。落葉前の広葉樹林では、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%以下になる場合もある。よって、地形条件や植生の状況を現地で十分検討し、適正なオリジナルデータの要求点密度を決定することが重要である。

5. 6 RTK・GNSS測量

起工測量においてRTK・GNSS測量を活用する場合の点群密度は1点以上/0.25㎡とする。

[解説]

RTK・GNSS測量の場合は、隣接する立木の樹冠などにより観測が出来ない場合が考えられる。RTK・GNSS測量の場合、観測できない箇所が把握可能であることから、観測不可能箇所については、他の測量方法で補完しつつ観測する必要がある。

6. 出来高管理及び完成検査

6. 1 測量精度と計測密度

ICTを活用した測量方法で出来形管理及び完成検査を実施する場合には、「森林整備保全事業施工管理基準」に示された規格値に応じて適正な測量精度及び計測密度を検討する。また、標定点等の基準については地図情報レベル 250 を原則とする。

なお、森林整備保全事業施工管理基準内の測定基準に「3次元データによる出来形管理を実施する場合」の記述が示されている場合には、その内容に準ずることとする。

[解説]

森林整備保全事業施工管理基準内の測定基準では、「3-2-1-6 掘削工」、「3-2-1-7 盛土工」、「3-2-1-11 残土処理工」、「3-2-1-12 路体盛土工」の測定基準に3次元データによる出来形管理を実施する場合の記述が示されている。

また、構造物等では、規格値が原則として示された測量精度より低い値もあることから、ICTを活用した測量方法で管理及び検査を行う場合には、測量精度を上げるか、従来の測量方法とするか検討する必要がある。

6. 2 測定箇所

法面や残土処理場等の造成された地形を測定する場合の測定箇所について、のり肩、のり尻、ステップ等の勾配の変化点から±50mm 以内の箇所は評価から外してもよい。

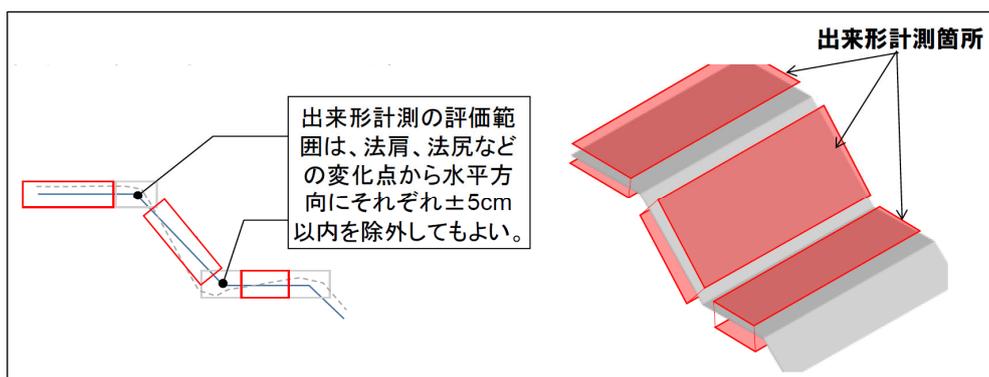


図 6-1 出来形計測箇所例

[解説]

森林整備保全事業施工管理基準の出来形管理基準及び規格値には以下のように示されている。

2	掘削工 (面管理の場合)		平均値	個々の計測値	<p>1. 3次元データによる出来形管理を実施する場合、発注者が指定する基準に規定する計測精度・計測密度を満たす計測方法により出来形管理を実施する場合に適用する。</p> <p>2. 個々の計測値の規格値には計測精度として±50mmが含まれている。</p> <p>3. 計測は平場面と法面(小段を含む)の全面とし、全ての点で設計面との標高較差または水平較差を算出する。計測密度は1点/m²(平面投影面積当たり)以上とする。</p> <p>4. 法肩、法尻から水平方向に±5cm以内に存在する計測点は、標高較差の評価から除く。同様に、標高方向に±5cm以内にある計測点は水平較差の評価から除く。</p> <p>5. 評価する範囲は、連続する一つの面とすることを基本とする。規格値が変わる場合は、評価区間を分割するか、あるいは規格値の条件の最も厳しい値を採用する。</p>	3-2-1-6
		平場	標高較差	±50		
		法面 (小段含む)	水平または 標高較差	±70	±160	

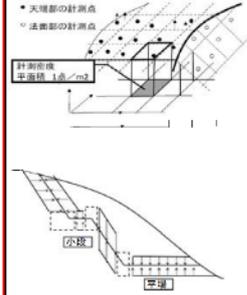


表 6-1 森林整備保全事業施工管理基準での記述例 (3-2-1-6 掘削工)

6. 3 UAV写真測量

UAV写真測量により出来形管理及び完成検査を実施する場合には、測定項目又は規格値を考慮して対象工種を適正に選択する。

[解説]

UAV写真測量では、上空から撮影することから、ある程度の広がりを持った工種が適しており、具体的には掘削工、盛土工、伏工、のり砕工等が挙げられる。

6. 4 UAVレーザ測量

UAVレーザ測量により出来形管理及び完成検査を実施する場合には、測定項目又は規格値を考慮して対象工種を適正に選択する。

[解説]

UAVレーザ測量では、上空から撮影することから、概ねUAV写真測量と同様のある程度の広がりをもった工種の測量に適している。ただし、UAV写真測量と比較して細かな起伏を捉えることが可能である。一例として、現場打ちコンクリートのり砕工では、レーザの点密度を上げることにより、施工面積に加え、砕高や砕寸法の検証を行うことも可能となる。

6. 5 地上レーザ測量

地上レーザ測量により出来形管理及び完成検査を実施する場合には、測定項目又は規格値を考慮して対象工種を適正に選択する。

[解説]

地上レーザ測量では、地上からレーザを照射することから、小規模な構造物や壁構造の施設等の測量に適している。また、橋梁などの複雑な構造物に対しても効果的で、機械設置箇所や点密度を調整することにより、橋梁の下部や部材の詳細な状態を把握することも可能である。

6. 6 LiDAR 測量

LiDAR 測量により出来形管理及び完成検査を実施する場合には、測定項目又は規格値を考慮して対象工種を適正に選択する。

[解説]

LiDAR 測量は、地上レーザ測量と同様に地上からレーザを照射することから、小規模な構造物や壁構造の施設等の測量に適している。また、橋梁などの複雑な構造物に対しても効果的で、機械設置箇所や点密度を調整することにより、橋梁の下部や部材の詳細な状態を把握することも可能である。

6. 7 RTK・GNSS測量

RTK・GNSS測量により出来形管理及び完成検査を実施する場合には、測定項目又は規格値を考慮して対象工種を適正に選択する。

[解説]

RTK・GNSS測量は、単点を測量するものであることから、変化点の少ない単純な構造物の測量に適している。ただし、その測量には上空の開空率が高いことが条件となることから、現地の状況を十分把握して使用する必要がある。

7. 管理資料の作成

7. 1 管理図表の作成

3次元点群データとして把握した対象物の位置と設計面との差等を管理図面及び表として取りまとめる。

[解説]

管理図表とは、3次元点群データと設計面の差を、図表で取りまとめたものである。3次元点群データと設計面との差については、森林整備保全事業施工管理基準に示されている規格値と比較し、良否の結果を平面図等にプロットした分布図を作成する。図の作成に当たっては、規格値の±50%以内、±80%以内、±100%以内等の段階的に色分けを行い、結果が明確となるよう努める。

また、表については、評価面積、データ数、棄却点数、差の平均値、差の最小値、差の最大値等を取りまとめる。

7. 2 数量算出

設計時もしくは起工測量時に3次元の地形データが計測されている場合、出来形計測結果を用いて出来形数量の算出を行うことができる。

[解説]

数量計算方法については、対象となる工種に適した算出方法を監督職員と協議の上決定する。

(参考) 数量算出方法の事例

・点高法

同等の精度及び規格のグリットデータがあり、比較検討できる場合には適した方法で、グリット（メッシュ）毎の標高差等を比較して算出する方法である。

・T I N分割等を用いた求積

T I N（不規則三角網）を構成する三角形の各頂点の標高を平均して、三角形の標高を求める。これとある一定の標高値との差を算出し、それに平面積を乗じた体積を総和することで体積を求める方法である。

・プリズモイダル法

施工前と施工後のT I N（不規則三角網）データを合わせ新たな三角網を形成する。この新たな三角網の水平面積と施工前との高低差を乗ずることで一つの三角網の体積

が算出される。この全ての三角網の体積を合計することで、全体の体積を算出する方法である。

7. 3 成果品の作成

I C Tを活用した計測に関する成果品は、以下のとおりである。

- ①施工計画（I C Tを活用した計測に関する資料）
- ②計測実施記録（標定点及び検証点、計測諸元等）
- ③3次元設計データ（使用ソフト、オリジナルデータ、グラウンドデータ等）
- ④管理資料（結果を取りまとめた図表等）
- ⑤写真等

[解説]

①施工計画

施工計画書又は添付ファイルに、I C Tを活用した計測を行った適用工種、適用区域、出来形計測箇所、出来形管理基準及び規格値、写真撮影計画、使用機器及びソフトウェアをまとめる。

②計測実施記録

計測に使用した標定点及び検証点の位置を図面に示す。また、U A V写真測量やU A Vレーザ測量では、飛行に関する諸元（飛行ルート、高度、地上画素寸法、点密度等）を取りまとめる。

③3次元設計データ

計測により得られたデータについて、点群作成及び3次元設計に使用したソフト名、オリジナルデータ、フィルタリング作業後のグラウンドデータをまとめる。3次元のデータについては、第三者が使用できるようファイル構造についても明記する。

④管理資料

3次元データをもとに起工測量、出来形管理、完成検査を行った結果（管理図及び表）を取りまとめる。

⑤写真等

起工測量、出来形管理、完成検査の対象工種、検査時の状況、計測範囲等を撮影し写真として提出する。