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）

平成 30 年 3 月
（令和 2 年 3 月改正）

国土交通省国土地理院

目　　次

概説 1
１．これまでの経緯 1
２．本マニュアルの全体概要 1
第１章　総則 7
第２章　【計画機関向け】UAV レーザ測量による成果品の要求仕様の策定 15
第３章　【作業機関向け】UAV レーザ測量の作業仕様の策定 21
第４章　【作業機関向け】UAV レーザ測量によるオリジナルデータの作成 31
第１節　概説 31
第２節　作業準備 31
第３節　UAV レーザ計測 35
第４節　最適軌跡解析 37
第５節　オリジナルデータの作成 39
第５章　【作業機関向け】UAV レーザ測量のオリジナルデータの点検 44
第６章　【作業機関向け】その他の成果データの作成 48
巻末資料１　要求仕様及び作業仕様における標準値 54
巻末資料２　精度管理表及び成果簿の様式 57

概説

１．これまでの経緯

国土地理院は、無人航空機（UAV：Unmanned Aerial Vehicle）を用いた公共測量を円滑に実施するため、平成 28 年 3 月に「UAV を用いた公共測量マニュアル（案）」（以下「UAV 写真測量マニュアル」という。）を制定した。このマニュアルでは、UAV から撮影したデジタル画像を利用して空中三角測量を行い、数値図化によって数値地形図を作成する方法を定めている。

また近年、SfM/MVS（Structure from Motion/Multi View Stereo）ソフトウェア（「三次元形状復元計算ソフト」とも呼ばれる。）を利用して三次元モデルを作成する技術が普及している。UAV 写真測量マニュアルにおいても、UAV から高重複度で撮影したデジタル画像を用いた、SfM ソフトウェアによる三次元点群データの作成方法を別途定めている。その後、利用者からの意見や要望等を踏まえ、作業の簡素化や明確化に向けたマニュアルの改定を平成 29 年 3 月に行っている。

一方、UAV に搭載する測量機器として、レーザスキャナも拡大の途上にある。レーザスキャナ及び GNSS/IMU システムの小型化の進歩は著しく、UAV への搭載を目的とした機器も登場している。国土交通省では、i-Constructionの取組の 1 つとして、ICT 土工における高効率・高精度な施工管理に用いる三次元点群データの作成を行うため、「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）」を平成 29 年 3 月から公開している。

このような社会的状況を踏まえ、「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）」（以下「本マニュアル」という。）は、UAV に搭載されたレーザスキャナを用いた測量について、品質を確保した成果品を得るための作業内容の明確化や標準化を行い、公共測量において円滑に実施できる環境の構築を目的として、平成 30 年 3 月に公開された。

本マニュアルの制定から約二年が経過し、現場での利用も進んだ結果、従来より航空レーザに従事している技術者に加え、応用測量を含む広範な測量に従事する技術者より様々な質問や意見が国土地理院に寄せられた。

これらを踏まえ、記載内容の明確化や精度維持を踏まえた条件の緩和等について再検討し、令和２年３月に本マニュアルを改正した。

本マニュアルでは、UAV レーザ測量を円滑に実施できる環境の構築を目的として、条文の中に公共測量を実施する上での運用等を記載するなど実用的な構成となっており、UAV レーザ測量のより一層の活用が期待される。

２．マニュアル改正の主な変更点

令和 2 年 3 月の改正において、作業に関わる主な変更内容は以下の通りである。

第２章　【計画機関向け】UAV レーザ測量による成果品の要求仕様の策定

■点間距離の設定(第 25 条運用基準、第 31 条運用基準)

・要求点間距離と計測点間距離の意味と関係を定義。

第４章　【作業機関向け】UAV レーザ測量によるオリジナルデータの作成

■調整点の数(第 37 条運用基準)

・調整点の数を 2 点以上設置することを標準とした。

■調整点の構造(第 37 条運用基準)

・対空標識の大きさとして、「要求点間距離」の 5 倍以上の辺長に変更。

・反射強度を利用した水平位置特定を可とした。

巻末資料１　成果品要求仕様書と成果品作業仕様書

■成果品要求仕様書(例)の見直し

・成果品要求仕様書(例)を実態に即して見直し。

■成果品作業仕様書(例)の追加

・成果品作業仕様書(例)を新たに追加。

巻末資料２　様式

■各種様式の見直し

・不要な記入項目の削除

・計算式の見直し

３．本マニュアルの全体概要

測量作業の標準的な方法等を示すために整備されている作業規程の準則（平成 20 年国土交通省告示第 413 号。以下「準則」という。）や、準則第 17 条第 3 項の規定に基づいて国土地理院が整備した新たな測量技術に関する従来の作業マニュアルでは、作成する測量成果を地図情報レベルや精度区分等で分類し、それぞれについて要求精度等の一定の仕様を設定している。その上で、仕様を満たす成果品を作成するための標準的な測量作業工程や手順等を定めている。また、各作業工程において点検や精度管理を行うことで、最終的な成果品の品質を担保している。

一方、本マニュアルで規定する UAV に搭載されたレーザスキャナを用いた測量（以下「UAV レーザ測量」という。）において、従来と同様の考え方で仕様を設定する場合、下記に示す多様な条件をカバーすることが求められる。

- UAV レーザ測量の成果品の利用用途は多岐に渡っており、用途によって要求点密度や要求精度等の仕様が大きく異なる。
- レーザスキャナで計測したデータから、様々な種類の三次元点群データや数値地形図データ等が作成可能であり、それぞれ利用目的や利用場面が異なる。
- レーザスキャナや GNSS/IMU 等、計測に用いる機器の組合せが多様に存在する。また、現在も技術開発が進行中で、今後も進化する可能性がある。
- UAV レーザ測量の作業の全体工程は概ね共通であるが、データの解析や調整等の詳細な作業方法や内容は、作業に用いる解析ソフトウェア等によって異なる。また、各ソフトウェア内で行われている具体的な処理内容等が明確でない場合もある。

測量計画機関（測量作業の発注者であり、成果品の利用者となる者。以下「計画機関」という。）の観点からいえば、UAV レーザ測量の成果品に求める仕様は、利用目的に応じて多岐に渡っており、例えば「要求点密度」や「要求精度」も利用目的毎に異なる。本マニュアルにおいて画一的に成果品の仕様を定めた場合、目的によっては利用できないマニュアルとなる恐れがある。このため、計画機関が、成果品に対する要求仕様を必要な形で自由に、かつ、明確に示すことができる

ようにして、測量作業機関（測量作業を行う者で、基本的には測量業者。以下「作業機関」という。）が、それに適切に対応した成果品を作成できることが望ましい。作業機関の観点からいえば、UAV レーザ測量を行う上では多様な機材構成、計測・処理手法等があるため、作業機関がある程度自由に作業手法等を選択できることが望ましい。こうした点を満足できるよう、本マニュアルでは規定を設けている。

UAV レーザ測量については、従来の準則等のように全ての作業工程やその内容等を明確に定め、各作業工程において精度管理を行うことで測量成果の品質を担保することは難しい。そのような中で、UAV レーザ測量の成果品が一定の品質を担保するため、本マニュアルでは、使用する UAV レーザ機材について使用前にあらかじめ調整を行い、得ることができる成果品の品質等を確認することを求めている。また、成果品の精度に影響を及ぼす重要な一部の工程を対象に、一定の方法で検証を行い、精度管理することを求めている。さらに、最終的に作成される測量成果が計画機関の要求仕様を満たしているかを、点検測量を行って確認することで品質を確保することとしている。

このような方針のもと、本マニュアルにおける UAV レーザ測量では、次のような大きく分けて５段階の手順で作業を進めることとしている。なお、本マニュアルでは、これらの段階別に章で区切って規定を設けている。また、全体のフローのイメージは、図１のとおりである。

① 作成する成果品の仕様（要求仕様）の策定【第２章】
② 成果品を作成する方法（作業仕様）の策定【第３章】
③ オリジナルデータの作成【第４章】
④ オリジナルデータの点検（点検測量）【第５章】
⑤ その他の成果データの作成【第６章】

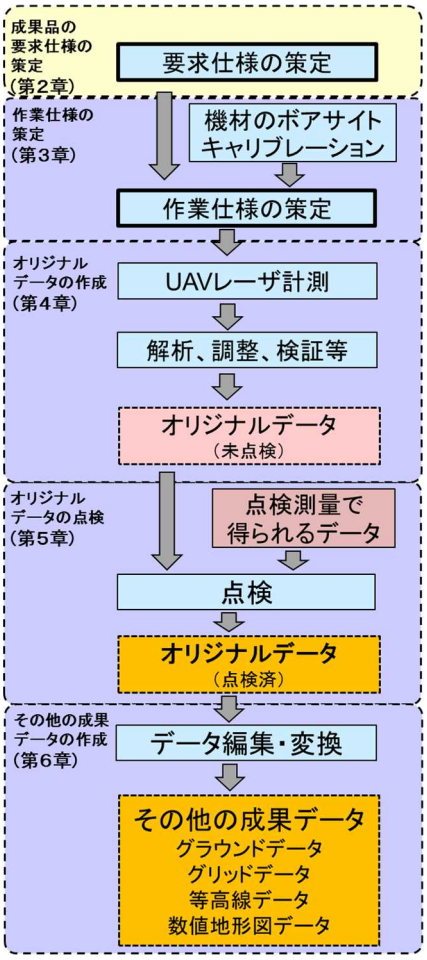

図１：本マニュアルにおける
UAV レーザ測量の全体のフロー

① 作成する成果品の仕様（要求仕様）の策定【第２章】

UAV レーザ測量により作成する成果品の内容や品質を明らかにするために、測量作業開始前に計画機関が行う作業である。どのような成果品を作業機関が作成するか、利用目的などを踏まえて具体的に示すものであり、測量の重複や手戻り等を防ぎ、効率的、かつ、確実に作業を進めるために重要な作業である。

この作業では、計画機関が以下の事項について決定し、成果品要求仕様書に取りまとめることを標準としている。

１） 作成する成果品の品目
２） 作成する成果品の要求点密度
３） 作成する成果品の要求精度

４）　フィルタリングを行う場合のフィルタリング項目

なお、計画機関において要求仕様を具体化することが難しい場合には、測量成果の利用目的や利用方法等を示し、作業機関等と協議して要求仕様を定めることもできることとしている。

② 成果品を作成する方法（作業仕様）の策定【第３章】

計画機関が作成する成果品要求仕様書を基に、要求仕様を満たす成果品を作成する作業方法等を作業機関が検討し、UAV レーザ測量で使用する機材や、具体的な作業方法等を定めた作業仕様を作成する作業である。

要求仕様を満たす成果品を作成する際に、どのような性能を有する UAV レーザ機材を使用するかは、重要な決定事項となる。UAV レーザ機材は、製品によって大きく性能が異なっており、さらに同一製品の機材であっても個々の機材によって特性が異なる。このため、UAV レーザ測量に使用しようとする機材については、ボアサイトキャリブレーションによって正しく調整を行うとともに、どの程度の品質のデータを作成できるかを事前に確認しておくための作業である機材の精度試験を行うことが必要である。

この確認の結果も踏まえ、作業機関は、以下の事項について決定し、成果品作業仕様書に取りまとめることを標準としている。

１）　成果品作成の全体作業工程

２）　用いる UAV レーザ機材

３）　標準的な計測諸元（計測条件等）

４）　調整点に関する事項

５）　点検測量の方法

作業機関は作成した成果品作業仕様書を計画機関に示し、作業開始前に計画機関の了承を得ることとしている。なお計画機関は、公共測量の実施計画書の提出の際に、①で作成する成果品要求仕様書と、②で作業機関が作成する成果品作業仕様書を合わせて添付することで、国土地理院より具体的な技術的助言を受けることが可能となる。

③　オリジナルデータの作成【第４章】

UAV レーザ測量では、様々な種類の測量成果を作成することが可能であるが、どの種類の成果品が必要であるかは、目的等によっても異なる。本マニュアルでは、UAV レーザ測量において必ず作成するオリジナルデータを基礎的な測量成果と位置付け、その他の成果データが必要な場合には、オリジナルデータを編集して作成することを標準的な手順としている。

こうしたことから、本マニュアルでは、オリジナルデータの作成方法について規定し、加えてオリジナルデータが一定の品質を有していることを確認するための点検測量の手法を定めている。なお、点検測量については、第５章に規定している。

オリジナルデータ作成の作業フローは図２のとおりである。オリジナルデータの作成について本マニュアルでは標準的な作業工程を示しており、精度管理に大きく影響を及ぼす工程では、適切な検証を行い、精度管理表等を作成することを定めている。一方、計測や調整等における具体的な作業方法や作業内容等は、作業機関の裁量である程度自由に決定することができる。

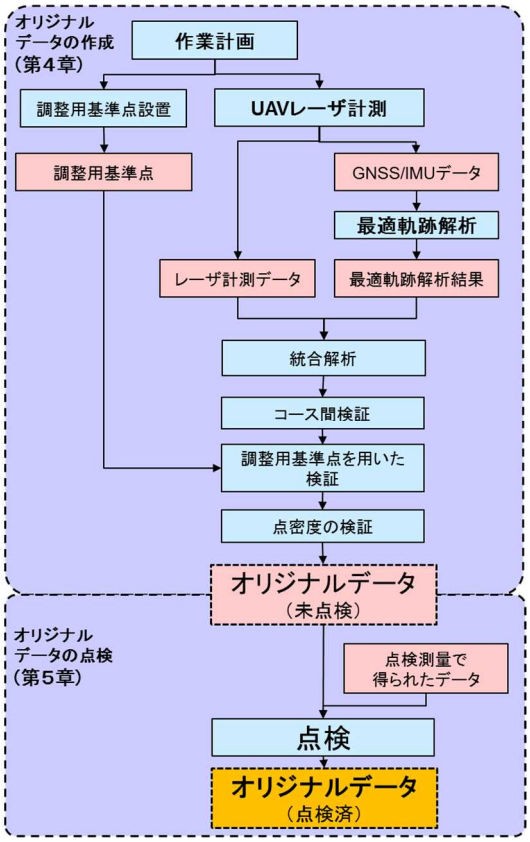

図２：本マニュアルにおける
オリジナルデータの作成及び点検フロー

なお、第４章で示すオリジナルデータは、点検が行われていないため、成果品として扱うことはできない。

④　オリジナルデータの点検（点検測量）【第５章】

オリジナルデータの作成とは別に点検測量を行い、オリジナルデータと点検測量のデータとを比較することで、オリジナルデータが要求仕様を満たしているかを確認する作業である。点検を終えたオリジナルデータは、測量成果として扱うことができ、後続のその他の成果データの作成へ利用することできる。

点検測量は、以下のいずれかの手法で行うことを標準としている。

１）　UAV レーザ測量（再計測等）

２）　検証点の設置

３）　横断測量による横断面図の作成

４）　地上レーザスキャナ等、他の測量手法による三次元点群データの作成

点検測量の方法は、要求仕様や測量の実施地域の状況などを踏まえて作業機関が②で策定する成果品作業仕様書の中で定める。本マニュアルでは、点検測量の方法や作業量、点検測量データを用いた具体的な点検方法について、標準的な考え方を示している。

⑤　その他の成果データの作成【第６章】

点検済みのオリジナルデータを編集して、他の成果データ（グラウンドデータ、グリッドデータ、等高線データ、数値地形図データ等）を作成する作業である。この作業は、計画機関の要求仕様に基づいて必要に応じて行うものであり、全ての種類の成果データを必ず作成しなければならないものではない。全体フローは図３のとおりである。また、オリジナルデータをフィルタリングし、グラウンドデータ及びグリッドデータ作成までの概念図を図４に示す。

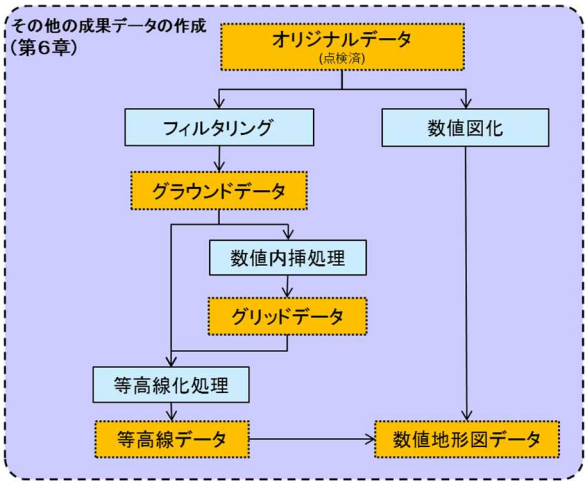

図３：本マニュアルにおける
その他の成果データの作成フロー

なお、数値地形図データを作成する際には、数値図化対象地物の輪郭が確認できる一定以上の点密度が必要である。また、数値図化対象地物が植生等で遮蔽されていた場合にはオリジナルデータのみから数値図化ができないため、補測が必要となる。この場合は、他の測量手法の利用の要否を判断し、適宜対応することに留意する。

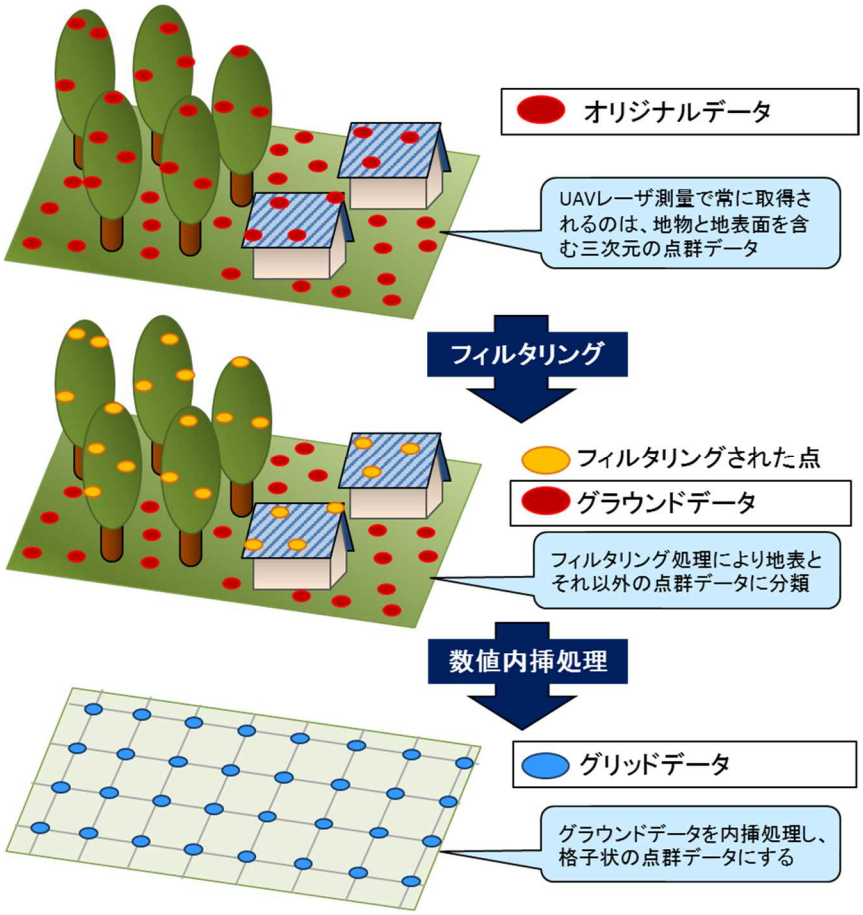

図４：オリジナルデータ、グラウンドデータ、グリッドデータの概念図

第１章　総則

（目的）

第１条　本マニュアルは、UAV に搭載するレーザスキャナを用いた公共測量（以下「UAV レーザ測量」という。）について、その標準的な作業方法等を定めることにより、円滑な測量作業の実施及び必要な精度の確保に資することを目的とする。

【解説】

本マニュアルは、UAV レーザ測量を実施するに当たり、計画機関と作業機関の視点から、それぞれ行うべき事項を定め、円滑、かつ、効率的に測量作業を行うための指針を示している。

（用語）

第２条　本マニュアルにおける用語は、次の各号に定めるとおりとする。

一　「要求仕様」とは、UAV レーザ測量の成果品の利用目的を踏まえて定める、成果品の品目、要求点密度、要求精度等の仕様をいう。

二　「作業仕様」とは、要求仕様を満たす成果品を作成するために定める、UAV レーザ測量作業における使用機材、計測諸元、精度管理、点検方法等の仕様をいう。

三　「UAV レーザ機材」とは、UAV レーザ測量に使用する機器及びソフトウェアで、第２７条に定めるものをいう。

四　「三次元点群データ」とは、地形を表す三次元の座標データ及びその内容を表す属性データを、計算処理が可能な形態で表現したものをいう。

五　「オリジナルデータ」とは、UAV レーザ機材で取得したデータを処理して作成するデータで、位置及び高さの三次元座標を持つ点群によって地形及び地物の表面の位置、形状等を表現したものをいう。

六　「調整点」とは、オリジナルデータの水平位置及び標高の精度を確認及び調整するための基準となる点のことをいう。

七　「フィルタリング」とは、オリジナルデータを構成する点群の中から、地表面以外を表現した点群を除去する作業をいう。

八　「グラウンドデータ」とは、オリジナルデータをフィルタリングして作成するデータをいう。

九　「グリッドデータ」とは、グラウンドデータ等を計算処理して作成するデータで、一定の格子間隔による平面上の位置における高さを表現したものをいう。

十　「等高線データ」とは、グラウンドデータ等を用いて作成するデータで、同じ高さの地点を線でつないで表現したものをいう。

十一　「数値地形図データ」とは、オリジナルデータ等を数値図化機により数値図化し、現地調査、数値編集、補測編集等を加えて作成するデータであって、地形及び地物の位置、形状等を描画して表現したデータをいう。なお、等高線のみを表現したデータはこれにあたらない。

十二　「その他の成果データ」とは、UAV レーザ測量で作成するオリジナルデータから作成されるグラウンドデータ、グリッドデータ、等高線データ、数値地形図データの総称をいう。

【解説】

マニュアルでは、UAV レーザ測量を行うに当たって、成果品の要求仕様は原則として計画機関が定め、これを踏まえた作業仕様は作業機関が定めることとしている。それぞれの具体的な内容は、要求仕様は第２章、作業仕様は第３章で示されている。

オリジナルデータは、本マニュアルでは標準的な成果品と位置付けている。オリジナルデータの作成に関わる項目は、第４章と第５章で示されている。

調整点は、オリジナルデータの三次元位置を確認及び調整するための基準となる点である。改正前の本マニュアルでは「調整用基準点」とされていたものだが、本マニュアルでは調整点とする。なお、出来形管理のための測量においては、「調整用基準点」と読み替えるものとする。

その他の成果データ（グラウンドデータ、グリッドデータ、等高線データ、数値地形図データ）はオリジナルデータを編集して作成するデータであり、要求仕様に応じて必要なデータのみを作成する。その他の成果データ作成に関わる項目は、第６章で示されている。

なお、多くの場面で一般的に使用されている用語である三次元点群データとは、位置及び高さの三次元座標を持つ点群で構成されたデータの総称であり、本マニュアルの成果品の場合、オリジナルデータ、グラウンドデータ、グリッドデータといった様々なデータがこれに該当する。それぞれのデータは特徴等が大きく異なることから、データの作成や利用に当たっては、具体的にどのデータを指しているのか明確にすることが必要である。

（全体工程）

第３条　UAV レーザ測量の全体工程は、次の各号を標準とする。ただし、第五号の工程については、第一号で策定する要求仕様の内容を踏まえ、必要となる作業のみを行うものとする。

一　成果品の要求仕様の策定

二　作業仕様の策定

三　オリジナルデータの作成

四　オリジナルデータの点検

五　その他の成果データの作成

（計画機関による成果品の要求仕様の策定）

第４条　測量計画機関（以下「計画機関」という。）は、本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、測量を行う目的、実施地域、作業量、期間等を踏まえ、当該測量によって得られる成果品の内容、精度等の要求仕様を明らかにし、第２章に定める内容に従って成果品要求仕様書を作成しなければならない。

２　計画機関は、前項の成果品要求仕様書の作成に当たり、当該作業地域における基本測量及び公共測量の実施状況について調査し、利用できる測量成果、測量記録及びその他必要な資料の活用を図ることにより、測量の重複を避けるよう努めなければならない。

（作業機関による作業仕様の策定）

第５条　本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、測量作業機関（以下「作業機関」という。）は、前条第１項の規定により計画機関が作成する成果品要求仕様書の内容を踏まえ、当該仕様書に示された要求仕様を満たす成果品を作成するための測量作業方法等を計画し、第３章に定める内容に従って成果品作業仕様書を作成しなければならない。

２　作業機関は、成果品の作成を開始する前に、作成した成果品作業仕様書を計画機関に提出して、その承認を得なければならない。成果品作業仕様書の内容を変更しようとするときも同様とする。

（オリジナルデータの作成及び点検）

第６条　本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、作業機関は、前条の規定により作業機関が作成し計画機関が承認した成果品作業仕様書の内容を踏まえ、第４章に定める内容に従って UAV レーザ測量を行い、オリジナルデータを作成する。

２　作業機関は、オリジナルデータについて、要求仕様を満たしているかを確認するため、第５章に定める内容に従ってオリジナルデータの点検を行わなければならない。

３　点検したオリジナルデータは、UAV レーザ測量における測量成果の１つである。作業機関は適切にデータを管理し、その他必要な成果品等と合わせ、作業終了後に計画機関に提出しなければならない。

（その他の成果データの作成）

第７条　本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、作業機関は、前条の規定に基づいて作成した点検済みのオリジナルデータを用いて、第４条の規定により計画機関が作成する成果品要求仕様書の内容を踏まえ、第６章に定める内容に従って必要となるオリジナルデータ以外の成果データを作成する。

（測量の基準）

第８条　本マニュアルに基づき実施する UAV レーザ測量において、位置は、特別の事情がある場合を除き、平面直角座標系（平成１４年国土交通省告示第９号）に規定する世界測地系に従う直角座標及び測量法施行令（昭和２４年政令第３２２号）第２条第２項に規定する日本水準原点を基準とする高さ（以下「標高」という。）により表示する。

２　成果品の位置及び標高は、0.001 メートル単位とすることを標準とする。

（測量法及び関連法の順守等）

第９条　本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、計画機関及び作業機関並びに作業に従事する者（以下「作業者」という。）は、作業の実施に当たり、測量法（昭和２４年法律第１８８号。以下「法」という。）を遵守しなければならない。

２　本マニュアルにおいて使用する用語のうち、法において使用する用語については、その法の例によるものとする。

３　計画機関及び作業機関並びに作業者は、作業の実施に当たり、財産権、労働、安全、交通、土地利用規制、環境保全、個人情報の保護等に関する法令を遵守し、かつ、これらに関する社会的慣行を尊重しなければならない。

（測量法に基づく手続）

第１０条　本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、計画機関は、法第３９条において読み替えて準用する法第１４条第１項、同条第２項（実施の公示）、法第２１条（永久標識及び一時標識に関する通知）及び法第２６条（測量標の使用）並びに法第３０条第１項（測量成果の使用）、法第３６条（計画書についての助言）、法第３７条（公共測量の表示等）、法第４０条第１項（測量成果の提出）等の規定による手続を適切に行わなければならない。

２　本マニュアルは、作業規程の準則（平成２０年国土交通省告示第４１３号。以下「準則」という。）第１７条第３項に示す国土地理院が定めるマニュアルである。本マニュアルに基づき公共測量を実施する場合には、計画機関が作成する計画書にその旨を記載する。計画書の提出に当たっては、第４条で計画機関が作成した成果品要求仕様書及び第５条で作業機関が作成し計画機関が承認した成果品作業仕様書（キャリブレーション記録簿を含む。）を添付しなければならない。

【解説】

本条の第１項は、UAV レーザ測量を行う場合に、計画機関は必要な手続きを遅滞なく実施しなければならないことを示している。

本条の第２項では、UAV レーザ測量による測量手法が準則に反映されていない現状において、本マニュアルの内容に基づいて公共測量を実施する場合に、準則第１７条第３項に基づいて行う場合に該当することを示している。この場合、UAV レーザ測量が適切な精度を確保して実施されるかどうか、国土地理院が技術的助言を行うため、成果品要求仕様書及び成果品作業仕様書の提出を求めている。

（測量業者以外の者への発注の禁止）

第１１条　本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、計画機関は、法第１０条の３に規定する測量業者以外の者に、本マニュアルを適用して行う測量を請け負わせてはならない。

（作業計画の作成）

第１２条　本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、作業機関は、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、日程等について適切な作業計画を作成し、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ときも同様とするものとする。

（実施体制）

第１３条　本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、作業機関は、測量作業を円滑、かつ、確実に実行するため、適切な実施体制を整えなければならない。

２　作業機関は、作業計画の立案、工程管理及び精度管理を総括する者として、主任技術者を選任しなければならない。

３　前項の主任技術者は、法第４９条の規定に従い登録された測量士であり、かつ、高度な技術と十分な実務経験を有する者でなければならない。

４　作業機関において、技術者として本マニュアルに基づく UAV レーザ測量に従事する者は、法第４９条の規定に従い登録された測量士又は測量士補でなければならない。

（安全の確保）

第１４条　本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、作業機関は、特に現地での測量作業において、作業者の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 を飛行させるに当たり、航空法に基づく必要な許可又は承認を得るとともに、国土交通省航空局が定めるガイドラインに従って作業を行うものとする。

【解説】

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ため、取扱いには万全の安全確保の体制が必要とされる。

（工程管理）

第１５条　本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、作業機関は、第１２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

【解説】

工程管理は、計画機関が定める納期を遵守する目的だけでなく、各工程において適切に成果品が作成され、精度が担保されているか確認するために必要である。

UAV レーザ測量は、飛行条件や天候等にも左右されるため、適切に工程管理することが求められる。

（精度管理）

第１６条　本マニュアルに基づき UAV レーザ測量を実施する場合、作業機関は、測量の正確さを確保するため、本マニュアルに定められている適切な確認、検証、点検等の精度管理を行い、この結果に基づいて品質評価表及び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。

【解説】

作業機関は、計画機関が定める要求仕様に基づき、各工程での確認と検証、並びに成果品に対する点検測量を行い、要求精度を満たしているか確認しなければならない。また、成果品データに対して、論理的な点検も行い、品質評価表に整理する必要がある。

（第三者機関による検定）

第１７条　計画機関が指定する場合、作業機関は、本マニュアルに基づき作成する成果品について、検定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。

【解説】

測量成果の検定は、作成した成果品が要求仕様を満たし品質が確保されているか第三者機関が評価するものである。成果品の検定は納品前に実施し、合格であれば第三者機関の検定証明書等の書類が発行される。なお、UAV レーザ測量実施の場合、要求仕様が成果品要求仕様書に定められている。作業機関は第三者機関による検定を受ける際に、成果品要求仕様書等の添付が必要である。

（成果品及び資料等の様式）

第１８条　UAV レーザ測量の成果品、資料等は、本マニュアルに規定する標準的な様式で作成するものとする。ただし、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。

（成果品等の提出）

第１９条　作業機関は、本マニュアルに基づき実施する UAV レーザ測量における成果品、資料等について、作業が終了した時は遅滞なく計画機関に提出しなければならない。

（運用基準）
第２０条　本マニュアルの運用に必要な事項は、本マニュアルの中に運用基準として定める。

（適用地区）
第２１条　UAV レーザ測量の適用範囲は、UAV を安全に飛行させることができる場所であって、かつ、UAV レーザ機材から照射するレーザ光が計測対象物に到達できる場所とする。

【解説】

本マニュアルで定める測量は、UAV による飛行を前提としているため、航空法に基づいて UAV が安全に飛行可能な範囲で行う必要がある。

UAV レーザ測量では、UAV レーザ機材からレーザ光を照射し、計測対象物から反射したレーザ光を計測する。このため、計測対象物に対してレーザ光が到達し、反射光が一定の強度で受光部に到達しなければ、計測ができない。例えば植生のある場所での UAV レーザ測量では、植生の隙間をレーザ光がすり抜けて地物や地表面等の計測対象物を捉える可能性があるが、その程度は予測が難しい。広葉樹や竹林等の樹種、熊笹等の下層植生の状況によっては、レーザ光が地表面等の計測対象物に到達する確率は低下する。このため UAV レーザ測量を行うに当たっては、周囲の植生状況の事前把握を行うことが推奨される。また、できるだけレーザ光を計測対象物に到達させるため、計画機関と協議の上、落葉時期等植生の影響が少ない時期に UAV レーザ測量を実施することも考えられる。

（作業規程の準則の準用）
第２２条　本マニュアルに定めのない事項については、準則の規定を準用する。

第２章　【計画機関向け】UAV レーザ測量による成果品の要求仕様の策定

（要旨）
第２３条　本章は UAV レーザ測量を行う目的等を踏まえ、測量により作成する成果品の内容、精度等を計画機関が明らかにして要求仕様として取りまとめることで、作業機関が円滑に測量作業方法等を決定し、作業を行うことができるようにするとともに、測量の正確さの確保や重複の排除を目指すことを目的とする。

【解説】

本章は、UAV レーザ測量により作成する成果品の内容や品質を明らかにするために、測量作業開始前に計画機関が行う作業についての規定である。本マニュアルの基本的な成果品は「オリジナルデータ」であり、オリジナルデータから作成されたグリッドデータや等高線データは「その他の成果データ」として位置づけられる。ただし、計画機関が「その他の成果データ」を成果品として指定する場合はその限りでない。

計画機関が UAV レーザ測量の成果品に対する要求仕様を明確にすることで、作業機関が要求仕様に応じた成果品を作成するための作業計画の立案や測量作業の実施が可能になる。要求仕様が明確でない場合、過剰な精度の成果品が作成され費用と時間に無駄が生じること、精度不足の成果品が作成され使用目的を実現できないこと、不要な成果品が作成されること、必要な成果品が作成されないことなどが起こり得る。また、利用されない成果品が作成されることや必要な成果品が作成されないことなども起こり得る。

成果品の要求仕様の策定は、計画機関が意図する成果品を確実に入手するとともに、測量の重複や手戻り等を防ぎ、効率的、かつ、確実に測量作業を進めるため、重要な作業となる。

（目的の明確化）
第２４条　計画機関は UAV レーザ測量を行うに当たって、当該測量により得られる成果品の使用目的を明らかにしなければならない。

【解説】

UAV レーザ測量により作成される成果品の使用目的が提示されない場合、作業機関は計画機関の意図を理解できずに測量を行うことになり、計画機関の本来の目的を達成できない危険性がある。

使用目的が提示されていれば、作業機関は第３章で示す作業仕様の策定において、最適な作業方法を採用することができる。例えば、森林部の地表面の三次元点群データ取得が目的の場合は、できるだけ地表面を計測できるような UAV レーザ機材の選定やコース間重複度の設定など、計画機関の使用目的の実現に向けた立案が可能になる。また、UAV レーザ測量による効率的な作業が難しい場合には、UAV 写真測量等の他の最適な測量手法を提案したり、一部の地物だけを地上レーザスキャナ等の他の測量手法で取得して組み合わせることを提案したりすることも可能とな

る。

（成果品要求仕様書の作成） 第２５条　計画機関は、前条の目的を踏まえ、UAV レーザ測量による成果品の内容、種類、精度、点密度等の要求仕様を定め、成果品要求仕様書を作成する。 ２　計画機関において自ら成果品要求仕様書の作成が困難な場合は、計画機関は前条の目的を作業機関又は関係者に示し、成果品要求仕様書の作成の支援を受けることができる。

＜第２５条　運用基準＞

１　成果品要求仕様書には、次の各号に示す事項を定めることを標準とする。

(1)　成果品の品目及び使用目的

オリジナルデータ、グラウンドデータ、グリッドデータ、等高線データ、数値地形図データ等の成果品のデータの品目及び使用目的を定める。

(2)　成果品の要求点密度

成果品が三次元点群データの場合、成果品に求める標準的な要求点密度、要求点間距離、又は格子間隔を定める。また必要に応じて、点密度等の達成要求を定める。

(3)　成果品の要求精度

成果品に求める精度を定める。成果品が三次元点群データの場合、各点の標高（必要に応じて水平位置を含む。）の精度を定める。成果品が数値地形図データ等の場合、位置精度又は地図情報レベルを定める。

(4)　フィルタリング項目

フィルタリングを行う場合、フィルタリングの対象を定める。

【解説】

（成果品の品目）

UAV レーザ測量を行って最初に得られる成果品は、計測範囲に存在するすべての地物の表面や植生下の地表面を三次元点群データとして表現した「オリジナルデータ」である。計測範囲に樹木がある場合、オリジナルデータには樹木の葉や枝に当たって反射した点と樹木の隙間を通過して地表面に当たって反射した点が混在する。オリジナルデータから、建物や植生などを除去するフィルタリング処理により地表面等の形状のみを表現した三次元点群データである「グラウンドデータ」を作成することができる。また、これらのデータは、UAV レーザ機材から計測される、離散的に分布する三次元点群データであるが、これを計算処理することで、一定の間隔に整形された「グリッドデータ」を作成することができる。

「オリジナルデータ」、「グラウンドデータ」、「グリッドデータ」の概念図として、概説の図４を参照されたい。

これらのデータを用いて、地図として表現したデータを作成することもできる。グラウンドデータやグリッドデータを用いて地形の起伏を等高線として表現した「等高線データ」や、オリジナルデータを用いて建物やその他の地物の形状を表現した「数値地形図データ」などがこれに該当する。このように、UAV レーザ測量により、様々な種類の成果品を作成することが可能である。

このため、UAV レーザ測量を行う目的を踏まえ、どのような内容、種類の成果品を作成するかを定めることが不可欠である。全ての種類のデータを成果品として作成する必要はない。計画機関の利用目的に応じた成果品の品目を定めることにより、コストの縮減にもつなげることができる。

また、計画機関が求める成果品が明らかになれば、これを作成するために必要となるその他の成果品についても仕様が明らかになる。例えば、最終的な成果品として等高線データのみを計画機関が求めた場合、これを作成するために必要なオリジナルデータやグラウンドデータは、いわば中間的な成果品となるが、これらの成果品の仕様は、最終的な成果品である等高線データの仕様に基づいて決まることになる。中間的な成果品については、計画機関にとっては必ずしも必要としないデータの可能性があるが、測量作業を行う上では重要なデータであり、作業機関はその仕様をあらかじめ定めて作業に着手することが必要である。また、こうした中間的な成果品についても、作業終了後は併せて計画機関に提出することが望ましい。

（成果品の要求点密度）

利用目的に応じて計画機関が設定した点密度のことを「要求点密度」とする。

i-Construction の ICT 土工で用いる三次元点群データを作成する場合、起工測量と出来形計測では、要求される三次元点群データの点密度は異なる。また、一様に平坦な場所の大まかな地形形状を知ることが目的であれば高密度な三次元点群データは過剰と考えられるし、地形や地物形状を詳しく把握したいのであれば、高密度なデータが求められる。このように利用目的等を踏まえ要求点密度を設定する必要がある。

なお、要求点密度は、オリジナルデータを対象として設定することを前提とする。

（点密度、点間距離、格子間隔の関係）

本マニュアルにおいて、「点密度」とは単位面積あたりの点の数を示し、三次元点群データの密度を示す指標である。「○点／m^2」というように表現され、標準的に利用される。このとき、単位面積あたりの点数が多いほど測量としての条件は厳しいものとなる。

「点間距離」は、UAV レーザ測量時の三次元点群データが一定の間隔で分布することを示した数値であり、例えば、「△m 間隔」や「1 点／△㎡」と表現できる。点間距離は、点密度から計算式「1÷√(点密度)」により求める。この式に基づき、要求点密度から換算された点間距離のことを「要求点間距離」とする。

なお、点密度と点間距離の定義には注意が必要である。例えば、点間距離が 0.25m 間隔で分布する点群データを考えた場合、「1 点／0.25m四方」と表現できるが、1m^2 あたりで見ると 16 点となることから、点密度は「16 点／m^2」と表現される。この「1 点／0.25m四方」と「16 点／㎡」は、一見同じ条件に見えるが、図 5 の例のように、「16 点／m^2」という条件は満たしても「1 点／0.25m四方」という条件は満たすことができない場合がある。要求点密度の設定内容は、作業量や作業方法に直接影響することから、過不足のない設定が望ましい。

一方、格子間隔は、格子状に再配置されたグリッドデータに用いられる表現である。例えば、格子間隔 0.25m の三次元点群データとは、0.25m 間隔の格子状に配置された標高値を持つ点群デ

ータとなる。グリッドデータの各点の標高は、オリジナルデータ又はグラウンドデータの標高値を用いて、計算処理により求められている。なお、グリッドデータの格子間隔は、スポット径（地上部）以下であってはならない。

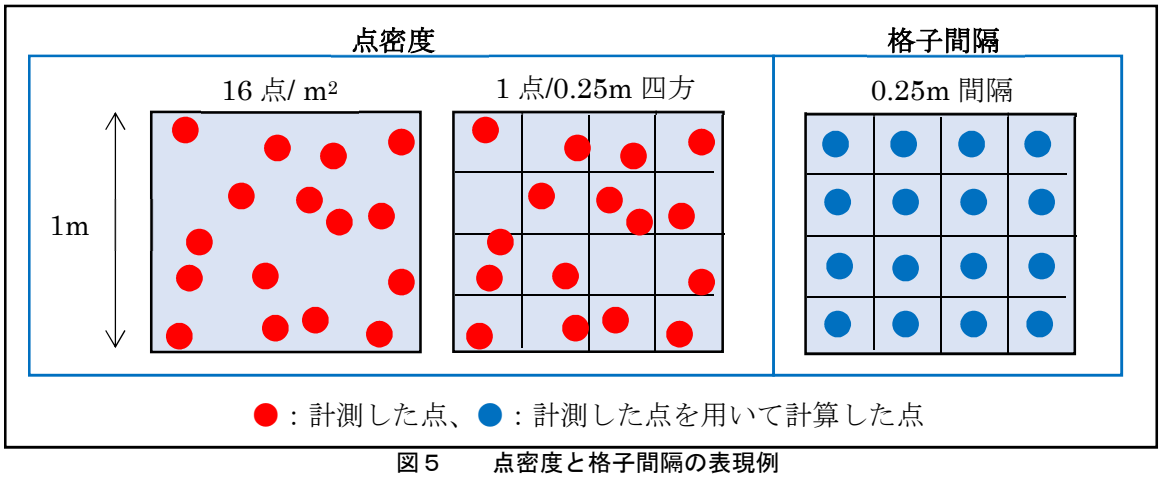

図５　　点密度と格子間隔の表現例

（点密度等の達成要求（欠測率の目標値））

オリジナルデータは、離散的に分布した計測点で構成され、地形や計測時の状況等の影響で必ずしも均一な点密度になるとは限らない。要求点密度の達成度を判断する場合は、オリジナルデータを用いた欠測率（点密度検証精度管理表）で評価することとする（第４７条で規定）。なお、オリジナルデータをフィルタリングして作成されるグラウンドデータでは、植生等の影響で計測点が除去されるため、要求点密度を満たさない部分が出てくることが通常である。

点密度等の仕様を決める際には、その達成要求（どの程度まで許容するか）を計画時に定めることが望ましい。要求する達成度が高い場合、作業機関はより高密度に計測を行うことが必要となり、経費等にも影響が生じる可能性があるため注意が必要である。

準則の航空レーザ測量では、グリッドデータを作成する際に、点群が取得できない格子の割合を欠測率として定めている。準則第４３５条では『欠測率＝(欠測格子数／格子数）×100)』と定め、格子間隔が 1m を超えるグリッドデータを作成する場合の欠測率は 10%以下、1m 以下の場合は 15%以下を標準としている。

（成果品の要求精度）

利用目的に応じて成果品の要求精度を設定することが必要である。UAV レーザ測量で作成する成果品の場合、標高に対する要求精度の設定は必須とする。

i-Construction では、ICT 土工の出来形計測で三次元点群データを作成する場合、計測点の精度は、各調整用基準点（本マニュアルにおける「調整点」）座標と、計測点の X、Y、Z 各成分の平均値との較差の絶対値が 50mm 以内とされている。（出来形管理要領による。）このように出来形管理のための三次元点群データの作成や、大縮尺の数値図化データ作成など、特に精度の高い成果品を作成する場合、水平座標の要求精度を設定する場合もある。

また、現状の測量技術では、UAV レーザ測量で作成するオリジナルデータの各点の位置精度は

数センチメートルレベルが限界である。ミリメートルレベルの過剰な要求精度は実現が困難であることも理解した上で設定する。

（精度の表現・評価手法（最大値、標準偏差等）について）

要求精度は、「最大値」や「標準偏差」を用いて表現する方法が一般的である。多くの場合、より高精度な測量で得たデータを基準として、これとの較差を用いて表現される。

最大値は、例えば「較差の絶対値の最大値が 10cm 以内」とした場合、全ての点における較差の絶対値が 10cm 以内に収まっていなければならないことを示す。

一方、標準偏差は、例えば「較差の標準偏差が 10cm 以内」とした場合、±10cm 以内に約 68%の点が、また±20cm 以内に約 95%の点が入ることを示している。

UAV レーザ測量は、意図した箇所を「狙って」計測することができない。そのため、UAV レーザ測量で作成する三次元点群データの標高値を基準点の標高値と比較して精度を確認する場合は、点群データから基準点の周辺部の点群だけを抽出し、統計的な計算を行う。一般的には複数の点群の標高値を用いて平均値を求め、これと基準点の標高値とを比較して精度を確認している。これは、いわゆる正確度の確認といえる。

一方で、UAV レーザ測量で得られる各計測点の標高値は、同一の水平面を計測した場合でも、誤差（バラつき）が生じる。バラつきの大きさは使用する機材によっても異なるが、バラつきの大きさ（いわゆる「不確かさ」であるが本マニュアルでは「均一度」と表現する。）も精度に重要な指標となる。

要求精度を設定する際には、こうした点を踏まえて設定することが必要である。なお測量では成果品を作成する上で様々な誤差が累積することが通常であることから、許容条件としては標準偏差を用いることが一般的である。ただし許容条件として最大値を設定する、又は両者を併用することも可能である。現状の UAV レーザ測量技術では、「較差の最大値が±2cm 以内」といった要求精度の設定は非現実的である。要求精度や要求点密度が高くなると、直接、作業量や経費に影響することから、過不足のない要求精度や要求点密度を設定することが重要である。

（フィルタリング項目）

地表面の地形形状を表現するグラウンドデータやグリッドデータは、オリジナルデータを基に、フィルタリング処理によって作成される。フィルタリング処理は、地表面以外を全て除去するが、利用目的によっては地表面以外の地物に当たった計測点を残す場合もある。そのため、除去する対象項目や残存させる対象項目を定める必要がある。例えば山間部においてグラウンドデータを作成する場合、樹木等の植生は除去するが、地面以外にも砂防堰堤などの構造物は残すといったことが考えられる。要求仕様の中では、こうしたことを定めることが必要である。

なお、こうした成果品要求仕様書に示す各事項を具体的に示すためには、成果品の特徴等を把握していることが必要である。このため、計画機関が具体的な成果品要求仕様書の事項を定めることが困難な場合は、成果品の利用目的を明らかにして、作業機関又は測量に精通した関係者と相談の上、成果品要求仕様書の内容を定めることが考えられる。こうした作業を、測量作業とは別に委託することも考えられる。

第３章　【作業機関向け】UAV レーザ測量の作業仕様の策定

（要旨）
第２６条　本章は第２章で計画機関が作成する成果品要求仕様書の内容を踏まえ、これに示された要求仕様を満たす成果品を作成するために使用する UAV レーザ機材を準備するとともに、これを用いた作業の方法等を定め、作業仕様として取りまとめることを目的とする。

【解説】

本章は、計画機関の要求仕様を踏まえ、これを満たすために行う測量作業の方法等を作業機関が決定する事項等を規定したものである。

（UAV レーザ機材）
第２７条　UAV レーザ機材は、GNSS 受信アンテナ、GNSS 受信機、IMU（慣性計測装置）及びレーザ測距装置の各機器と、これらを搭載する UAV 並びに解析ソフトウェアから構成する。

＜第２７条　運用基準＞

1　構成する機器等の性能は、次の各号のとおりとする。

(1)　GNSS 受信アンテナ及び GNSS 受信機

①　GNSS アンテナは、UAV の頂部に確実に固定されていること。

②　GNSS 観測データを１秒以下の間隔で取得できること。

③　２周波で搬送波位相を観測できることを標準とする。

(2)　IMU（慣性計測装置）

①　センサ部の３軸の傾き（ローリング、ピッチング、ヘディング）及び加速度を計測可能なこと。

②　レーザ測距装置との位置関係を堅ろうに固定できるものとし、レーザ測距装置に直接装着することを標準とする。

(3)　レーザ測距装置

①　スキャン機能を有すること。

②　眼等の人体に悪影響を与えない機能を有していること。

③　安全基準が明確に示されていること。

(4)　UAV

①　自動飛行機能及び異常時の自動帰還機能を装備していること。

②　航行能力は、計測が想定される飛行域の地表風に耐えることができること。

(5)　最適軌跡解析ソフトウェア

①　GNSS 及び IMU から得られたデータを用いて推定した誤差モデルから再度軌跡を計算する繰り返し計算によって誤差モデルを改善し最適解を算出できること。

② 解析結果の評価項目を表示できること。

(6) 統合解析ソフトウェア

① 最適軌跡解析で得た結果とレーザ測距データを統合解析し、計測点の三次元位置が算出できること。

【解説】

GNSS 受信アンテナ及び GNSS 受信機の機器性能は、第３６条に規定される固定局が以下条件に適合する場合のみ搬送波位相の観測を１周波としてよい。

・固定局を近傍に新たに設置する場合

・10 キロメートル以内の電子基準点を用いる場合

（UAV レーザ機材のボアサイトキャリブレーション及び精度試験）

第２８条　作業機関は、UAV レーザ測量に使用する UAV レーザ機材について、機材の特性や機材で作成できるデータの品質を確認するために、ボアサイトキャリブレーション及び機材の精度試験を実施しなければならない。

2　ボアサイトキャリブレーションでは、UAV レーザ機材のキャリブレーション値を確認する。

3　機材の精度試験では、UAV レーザ機材で作成できるデータの正確度及び均一度を確認する。

4　ボアサイトキャリブレーションの結果は、キャリブレーション記録簿に整理する。

5　機材の精度試験の結果は、UAV レーザ機材精度試験記録に整理する。

6　ボアサイトキャリブレーション及び機材の精度試験は、機材を使用する測量作業前 6 か月以内に実施することを標準とする。

＜第２８条　運用基準＞

1　UAV レーザ機材のキャリブレーションは、ミスアライメント値及びレバーアーム値を求めることで行う。

2　UAV レーザ機材で作成できるデータの正確度及び均一度の確認（以下「機材の精度試験」という。）は、最新のミスアライメント値とレバーアーム値を用いて実施し、ボアサイトキャリブレーションを実施する範囲内に設置した基準点を中心とする一定範囲内の計測データを対象に、その基準点の成果値との較差及び統計量（標準偏差、平均二乗誤差、最大値等）を求めることで行う。

3　機材の精度試験は、ミスアライメント値及びレバーアーム値の調整に用いたボアサイトキャリブレーションのデータを利用できるものとする。

4　機材の精度試験は、標高の確認を標準とし、必要に応じて水平位置の確認を行う。

5　キャリブレーション記録簿は、巻末資料２　様式１－１（キャリブレーション記録簿（UAV レーザ機材点検記録））及び様式１－２（UAV レーザ機材精度試験記録）に基づいて作成する。

6　ボアサイトキャリブレーションを実施した UAV レーザ機材は、状態を維持できるよう適切に管理しなければならない。

7　UAV レーザ機材を構成する各機器を取り外し IMU とレーザ測距装置との位置関係を保持できない場合や、機材に対して強い衝撃を与えた場合等、ボアサイトキャリブレーションで確認した値に影響が生じる可能性がある事象が生じた場合には、再度ボアサイトキャリブレーションを実施するものとする。

【解説】

UAV レーザ機材のボアサイトキャリブレーション及び機材の精度試験は、次の二つの目的で行われる。

（1）IMU の取り付け角の調整値（ミスアライメント値）及び GNSS 受信アンテナ、IMU とレーザ機器の三軸の距離（レバーアーム値）の算出

（2）UAV レーザ機材の計測精度の確認

このうち（1）は、UAV レーザ計測によって得られたレーザ測距データと最適軌跡解析のデータを統合処理によって三次元座標を持つ計測点のデータを作成するための設定値であり、三次元座標を持つ計測点のデータを作成する際の位置精度を左右する重要な情報である。この値に変動があれば、オリジナルデータの精度に影響することから、定期的に数値の変動が無いか確認を行うこととし、変動があれば適宜新たな調整値を求める。また、計測点のデータにこれらの設定値に起因する傾向の誤差が見られる場合は、適宜調整を行うこととする。

一方（2）は、作業機関が調整を行うことが困難な特性を、UAV レーザ機材が有するか判断することを目的としている。上空から平坦な箇所を計測した際の計測データの標高の誤差（正確度）及び計測データの標高のバラつき（均一度）を求め、UAV レーザ機材の計測精度を評価する。計測データの標高の誤差やバラつきが大きい場合、成果品の要求仕様を満たさないことがある。

なお、ボアサイトキャリブレーションの具体的な例は、別途示す補足資料「UAV レーザ機材の精度試験と評価方法の例」を参照のこと。

（要求仕様の内容の確認）

第２９条　作業機関は、作業仕様の策定に当たって、計画機関が作成した成果品要求仕様書の内容について疑義等がないか確認し、不明確な点については、あらかじめ計画機関に確認しなければならない。

【解説】

作業機関は、計画機関の定める要求仕様について理解に努め、これを踏まえた適切な成果品作業仕様書を策定することが必要である。計画機関と作業機関の間で要求仕様に対する認識を一致させることは、計画機関において確実な成果品の入手が保証され、作業機関において手戻りなどのリスクを低減できることに繋がり、双方にメリットがある。

また、作業機関は、成果品の要求精度や点密度などの定量的な仕様のみを根拠に成果品作業仕

様書を策定するのではなく、成果品の利用目的や用途に着目し、指定された定量的な仕様が適切であるか判断することも求められる。計画機関の成果品の利用目的に対し、要求仕様が過剰な精度や精度不足、不必要な成果品の有無などの疑問を持った際には、計画機関に対して確認を行うことが重要である。確認後の状況によっては、より適切な要求仕様を示すことが作業機関の責務でもある。

（成果品作業仕様書の作成）

第３０条　作業機関は、第２８条で実施したボアサイトキャリブレーション及び機材の精度試験の結果を踏まえ、成果品要求仕様書に示された要求仕様を満たす成果品を作成するため、次の各号に関する作業仕様を定めた成果品作業仕様書を作成する。

一　成果品作成の全体作業工程

二　UAV レーザ測量に用いる UAV レーザ機材

三　UAV レーザ計測に当たっての標準的な計測諸元

四　調整点の設置場所、点数及び観測方法

五　点検測量の方法

２　成果品要求仕様書に示された要求仕様を満たす成果品を作成するために、成果品要求仕様書に示された成果品以外の成果品（その他の成果データ）を作成することが必要な場合は、当該成果品の内容、精度、密度等の要求仕様を作業機関が定め、成果品作業仕様書の中に示さなければならない。

＜第３０条　運用基準＞

１　全体作業工程は、第４章から第６章に示す作業方法を標準とし、成果品要求仕様書に示された要求仕様の内容を踏まえ、具体的にどのような作業工程により成果品を作成するのかを示すものとする。

２　UAV レーザ測量に用いる UAV レーザ機材は、第２８条に示すボアサイトキャリブレーション及び精度試験を実施した機体とし、機器の固有番号等を含めて定めるものとする。

３　UAV レーザ測量に用いる UAV レーザ機材は、ボアサイトキャリブレーション及び機材の精度試験の結果が成果品の要求仕様を満たしているものを原則とする。ただし、他の精度管理を行うことで要求仕様を満たす成果品を作成できることが明らかな場合は、計画機関と協議の上、計画機関の了解を得て用いることができる。

４　点検測量の方法は、第５章に示す方法を標準とし、成果品要求仕様書に示された精度を有しているか確認する方法を具体的に示すものとする。

【解説】

（１）成果品作成の全体作業工程

成果品作成の全体作業工程は、要求仕様に定められた成果品の品目、要求点密度、要求精度及び利用目的に応じ、採用すべき UAV レーザ機材、精度管理手法、点検測量手法、成果品の作成手

法を選定し、正しく成果品を作成できるよう構築するよう留意する。

オリジナルデータの作成に関しては、計画機関の要求仕様や成果品の利用目的を正確に理解して全体の作業工程を組む必要がある。計画機関の意図を理解せずにオリジナルデータを作成した場合、オリジナルデータを変換等して作成するその他の成果データにも影響を及ぼし、多大な手戻りが発生することになる。

その他の成果品データは、基本的にはオリジナルデータから編集作業によって作成されるが、どのような作業工程で作業を行うか、また、どのような成果品を途中で作成することが必要となるか、といったことをあらかじめ計画することが必要である。また、数値地形図データを作成する場合には、他の測量方法による補測作業が必要になることも想定されることから、その対策や工程を考慮しなければならない。

なお、UAV レーザ測量の作業工程のうち、精度に大きく影響を及ぼす工程では、精度管理を適切に行う必要がある。第４章から第６章の規定を参照に、そうした工程では精度管理表や検査表として記録を残すことが必要である。

（２）UAV レーザ測量に用いる UAV レーザ機材

計画機関が定めた成果品に対する要求仕様に対し、それを実現するための UAV レーザ機材の選定が必要となる。

UAV レーザ機材は、第２７条のとおり、レーザ測距装置・GNSS/IMU・UAV 機体の機器から構成されている。各機器の基本仕様を踏まえ、成果品を作成する性能を持つか判断する必要がある。例えば、高密度計測が求められた際に十分な計測点密度を確保できる機材なのか、周辺地形の影響により高い高度から UAV レーザ計測を行う場合に UAV 機体の運用やレーザ測距装置の計測可能距離を満たすのかなどの判断が求められる。

また、UAV レーザ機材の精度試験の結果と成果品要求仕様の精度を比較して、レーザ測量に用いる UAV レーザ機材を決定することも必要である。機材の精度試験の結果、成果品に求める要求仕様を満たさない場合は、原則として当該 UAV レーザ機材を利用してはいけない。例えば、精度試験において計測データの標高のばらつき（標準偏差）が 10cm 以上あることが分かった機材は、要求精度が 5cm の成果品を作成する業務には原則として使用できないということである。

通常は、精度試験の結果が成果品の要求仕様よりも良好であることが前提となるが、後続の作業における調整や計算処理等によって要求仕様を満たすことが可能であれば、その限りではない。

なお、ボアサイトキャリブレーション及び精度試験の結果は、同種の UAV レーザ機材であっても個々の機材によって異なるため、機材を選定する際には、機材の固有番号についても指定することが必要である。

（３）UAV レーザ計測に当たっての標準的な計測諸元

計画機関が定めた成果品に対する要求仕様に対し、それを実現するための UAV レーザ機材の標準的な運用方法を決定する。具体的には、レーザ走査角やコース間重複度、飛行高度などの運用条件を定める。

なお、計測諸元については、次条（第３１条）の規定も参照のこと。

（４）調整点の設置場所、点数及び観測方法

調整点は、UAV レーザ測量の作業工程において位置及び標高の精度を確認するための重要な指標である。作業機関は、調整点を計測範囲のどの場所に、どれだけの数、どのような構造、どのような方法で設置するのかを作業仕様書に定め、計画機関の承認を得るものとする。

なお、調整点については第３７条の規定も参照のこと。

・調整点の設置場所

調整点は、平坦、かつ、周囲に上空を遮るものがない場所に設置する。計測範囲が山間部などで平坦地が限られる場合は、このような場所が確保できるかを事前に確認する必要がある。またこの場合、上空からの計測が可能な場所に平らな板などを用意し、水準器などを用いて水平に設置して、調整点として使用することも考えられる。

・調整点の数

UAV レーザ測量は、航空レーザ測量と比べると狭小の範囲を対象とすることが一般的である。航空レーザ測量やUAV レーザ測量では、主にGNSSによる観測結果を用いて標高を求めており、調整点は標高の確認・調整を行うために利用されている。航空レーザ測量のように広域にわたる計測を行う場合は、標高値の確認を行うために調整点が複数必要となるが、UAV レーザ測量のように限定された範囲（1ｋ㎡程度）であれば、理論的には調整点による標高値の補正は１か所でも精度が担保できることとなる。

しかし、より正確に標高の精度を確保するためには、複数の調整点を設置することが望ましい。要求仕様として水平位置について一定の精度が要求される場合には、本マニュアルでは条件に応じて２点以上の調整点を設置することを標準としている。このように、要求仕様の内容を踏まえ、調整点の設置点数を定めることが必要である。

・調整点の構造

本マニュアルでは、調整点の水平位置を特定する場合、地表から突出した対空標識を採用することを標準としている。また、反射強度を取得できるレーザ計測機器を用いる場合、反射強度の強弱により水平位置を判読可能な模様を描いた対空標識を採用することも可能としている。調整点の構造は、取得された点群から水平位置及び標高位置の特定が可能な形状、大きさ、模様を作業機関が選定し、計画機関の承認の上、採用することとする。調整点の具体的な構造例として、第３７条の解説に示している。

なお、対空標識に反射の強い素材や半透明の素材を使用した場合、位置誤差(特に標高方向)を生じるおそれがあるため、取り扱う場合には、UAV レーザ機材の精度試験で確認の上で利用することが肝要である。また、調整点の形状は円と四角形があるが、同じ辺長(直径)の場合、円は四角形に対して面積が小さくなることに比例して調整点を捉えるレーザ計測点も少なくなることに留意する必要がある。

・調整点の観測方法

調整点の位置及び標高を求める場合は、要求仕様で示された測量精度を満たすことができる観測方法を選択するとともに、必要以上に高精度な観測方法を採用しないよう配慮することが必要である。例えば、標高の要求精度が 20cm（標準偏差）である成果品を作成する場合には、調整点

は、準則における TS 点の設置と同等の測量方法で十分であると考えられる。一方、例えば標高の要求精度が 5cm（標準偏差）である成果品を作成する場合、調整点の観測は、これよりも高精度で行うことが必要であることから、TS を用いた放射法による測量や、水準測量を併用することが考えられる。このように、要求仕様に基づいて調整点の適切な観測方法を採用することにより、作業の効率化やコストの削減にも寄与することになる。

（５）点検測量の方法

本マニュアルでは、UAV レーザ測量の成果品の一つであるオリジナルデータに対して点検測量を行うことを規定しており、これにより成果品が要求精度を満たしているか確認と保証をするものである。

点検測量は、第５章で示される手法が推奨される。いずれの手法を採用するかは、成果品の利用目的や計測対象地域の周辺条件など多岐に渡る条件から判断することになる。

なお、点検測量の方法を検討する際には、採用する点検測量を本来作業の工程の中に適切に組み込むことを検討することが重要である。例えば、検証点の設置による点検を行う場合は、検証点の設置を、調整点の設置と同時に行うことで作業を効率化することができる。UAV レーザ測量の再計測による点検の場合は、UAV レーザ計測作業の最後に点検測量のための計測飛行を行うよう、飛行計画を立案する必要がある。

点検測量を確実に実施することで、成果品の精度を確かなものにすることができる。一方で、点検測量の作業が過大なものとならないよう、作業機関には適切な作業仕様を作成することが求められる。

（計測諸元）

第３１条　UAV レーザ計測に当たっての標準的な計測諸元は、UAV レーザ測量に用いる UAV レーザ機材のボアサイトキャリブレーションの結果や、測量作業範囲の地形条件等を踏まえ、必要とする成果品を作成できるように設定するものとする。

＜第３１条　運用基準＞

１　計測諸元は、次の各号について定めることを標準とする。

(1)　標準的な計測点間距離

(2)　対地高度

(3)　飛行速度

(4)　パルスレート

(5)　レーザ走査角

(6)　コース間重複度

２　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。

計測点間距離＝要求点間距離／θ　（θ：1.1～1.5）

3　標準的な計測点間距離以外の計測諸元は、標準的な計測点間距離を満たすことができるように設定するものとし、巻末資料１の２．②に示す内容を標準として設定する。

4　レーザ走査角は、計測対象物へのレーザ光の入射角が 45 度以上となるとともに、必要な計測距離を満たすように定めることを標準とする。

5　前項の計測距離は、使用するレーザ測距装置の最大測距距離の 80 パーセント以下で計測を行うように定めることを標準とし、最大測距距離を超えないものとする。

6　コース間重複度は、欠測が生じないこと及び第４５条で行うコース間重複部における標高値の検証に使用する箇所を確保することを踏まえて設定するものとし、30 パーセント以上とすることを標準とする。

7　計測諸元は、巻末資料２の様式２「飛行・計測諸元計画表」に基づいて整理する。

【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。

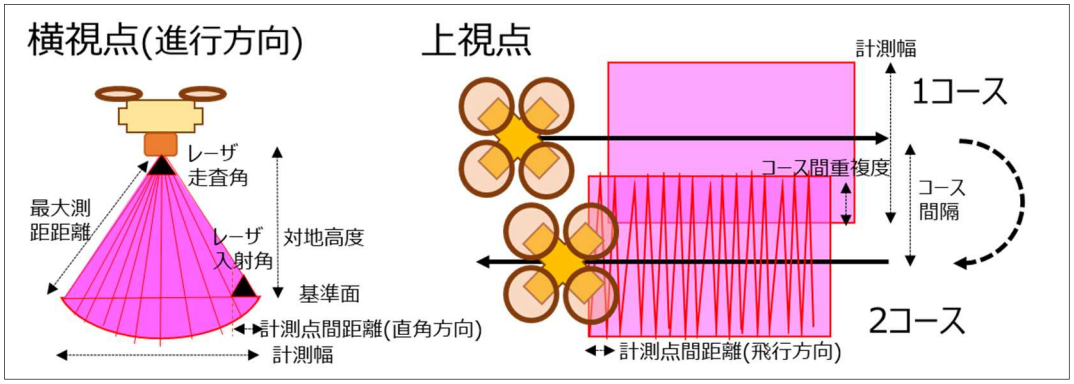

図６　計画諸元を決定するための基本事項

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。

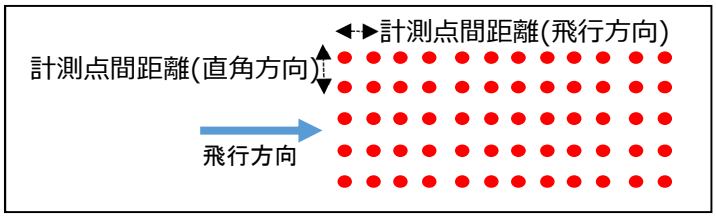

図７　計測点間距離の概念図

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。

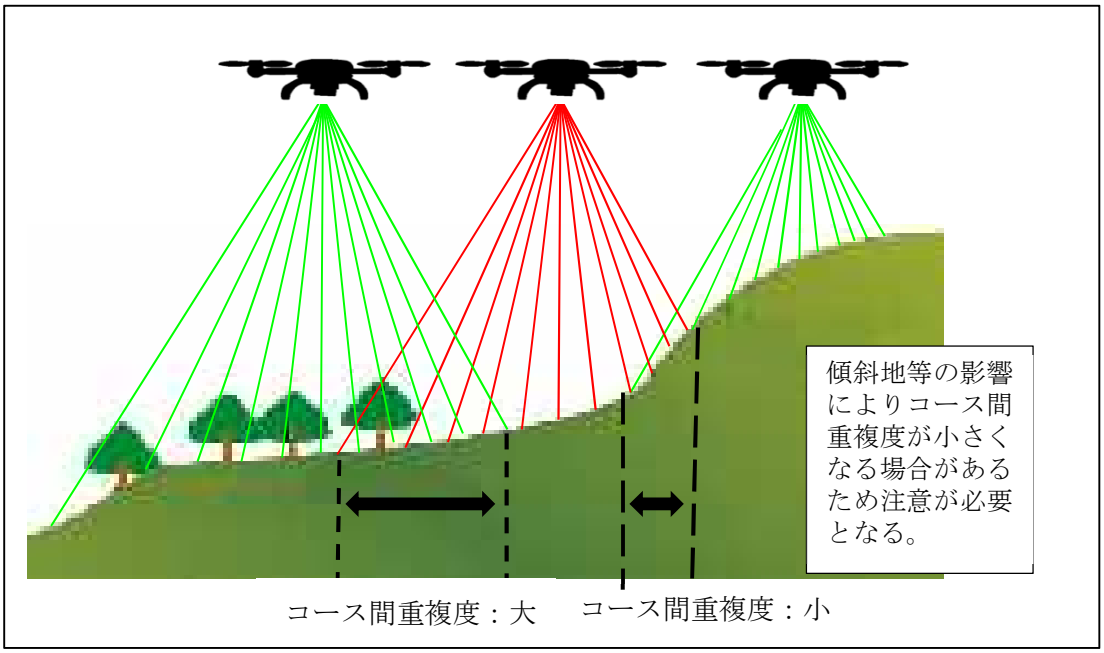

図８　レーザ計測幅と地形による影響

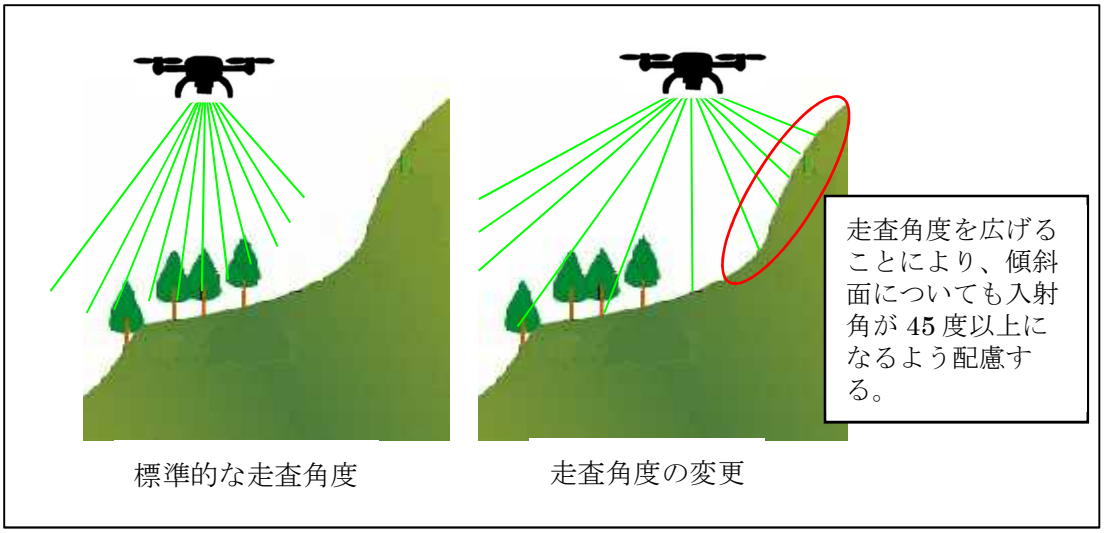

図９　レーザ走査角と地表面に対する入射角の関係

（成果品作業仕様書の計画機関による承認）

第３２条　作業機関は、作成した成果品作業仕様書について、キャリブレーション記録簿その他必要な資料を添えて計画機関に提出し、次章の作業を開始する前に計画機関の承認を得るものとする。

【解説】

成果品作業仕様書で定める調整点の数、点検測量の手法などは、成果品の品質と作業経費に直接関係することから、計画機関と作業機関は成果品作業仕様書の内容について十分な意思疎通を図ることが重要である。

第４章　【作業機関向け】UAV レーザ測量によるオリジナルデータの作成

第１節　概説

（要旨）

第３３条　本章は、UAV レーザ測量によるオリジナルデータの作成における標準的な作業方法及び留意事項を定めることにより、円滑に作業を実施することを目的とする。

（標準的な作業工程）

第３４条　UAV レーザ測量によるオリジナルデータの作成における標準的な作業工程は、次の各号のとおりとする。

一　作業準備

二　UAV レーザ計測

三　最適軌跡解析

四　オリジナルデータの作成

第２節　作業準備

（作業計画の作成）

第３５条　作業機関は、成果品作業仕様書を踏まえ、オリジナルデータの作成における具体的な作業方法、計測範囲、具体的な計測諸元、UAV の飛行コース、固定局、調整点、作業要員、作業日程等について定めた作業計画を作成する。

＜第３５条　運用基準＞

1　UAV レーザ計測を行う計測範囲は、作成する成果品の範囲の外周から 10m 又は計測幅の 50 パーセント以上延伸した範囲を標準とする。

2　具体的な計測諸元は、成果品作業仕様書に定められた計測諸元を標準とし、計測地域の地形条件等を考慮して決定する。

3　UAV の飛行コースは、計測諸元を踏まえ、これを満たすことができるよう、計測地域の気象条件等も踏まえ設定するものとする。また、UAV レーザ計測時には、UAV が計測範囲内を等速飛行できるよう設定するものとする。

4　UAV レーザ計測の作業日程は、作業予定日の気象条件のほか、GNSS 観測を行う際の受信可能な衛星数等を確認し、これらを踏まえて定めるものとする。

（固定局の設置）

第３６条　UAV レーザ計測における位置の決定は、GNSS によるキネマティック法で行うものとし、キネマティック解析で用いる固定局には、電子基準点を用いることを原則とする。なお、必要に応じて新たに固定局を設置することができるものとする。

２　固定局は、計測範囲から 50 キロメートルを超えない点を用いるものとする。

３　新たに固定局を設置する場合は、１級基準点測量及び３級水準測量により位置及び標高を求めるものとする。

４　新たに固定局を設置して観測する場合は、次の各号について確認を行うものとする。

一　上空視界の確保

二　GNSS アンテナの固定の確保

三　データ取得の有無

５　新たに固定局を設置した場合は、固定局明細表を作成するものとする。

＜第３６条　運用基準＞

１　固定局明細表は、巻末資料２の様式３「固定局明細表」に基づいて作成する。

【解説】

固定局は、電子基準点を用いることを標準としており、計測範囲から 50km を超えないこととしている。現在の電子基準点の設置状況を考慮すると、離島を除けば日本国土はほぼ 50km 圏内に入る。ただし、キネマティック解析を行う場合、電子基準点からの距離が遠くなると、精度が悪くなることも考えられることから、この場合には計測範囲の近傍に新たに固定局を設置することも考えられる。

また、作業現場に工事用基準点などが既に設置されており、これに整合させた成果品を作成することが必要な場合は、これらの上に固定局を利用することが適切な場合がある。必要とする精度や、固定局を新たに設置する場合の作業量や費用等を勘案して判断することが求められる。

（調整点の設置）

第３７条　オリジナルデータの位置及び標高の精度を検証及び調整するために、計測範囲内に調整点を設置するものとする。

２　調整点を複数設置する場合は、計測範囲内に偏りなく配置するものとする。

３　調整点は平坦で明瞭な地点とするか、調整点に適切な大きさの対空標識又はこれに相当するものを設置することを標準とする。

４　調整点の位置及び標高は、作成するオリジナルデータの要求仕様を踏まえ、これと同等以上の精度で求めるものとする。

５　設置した調整点の調整点配点図及び調整点明細表を作成するものとする。なお、調整点明細表には現況等を撮影した写真を添付するものとする。

＜第３７条　運用基準＞

1　調整点の数は、要求仕様に基づき水平位置と標高の両方について検証及び調整を行う場合、２点以上設置するものとする。第５８条に基づき数値地形図データを作成する場合は４点以上設置するものとする。標高だけの検証及び調整を行う場合は１点以上設置するものとする。なお、調整点を１点とする場合は、計画機関の了承を得るものとする。

2　対空標識の大きさは、UAV レーザ計測により標識の場所や形状等が計測できる大きさとし、要求点間距離の５倍以上の辺長を標準とする。

3　水平位置の検証を行う場合は、水平位置を特定可能な大きさ及び形状で、地表から突出した対空標識等を設置することを標準とする。ただし、レーザ計測点の反射強度を利用して水平位置の特定が可能であれば、対空標識を十分に平らな地表面に設置してもよい。

4　標高だけの検証及び調整の場合は、対空標識を用いず十分に平らな地表面に設置できるものとする。

5　調整点の位置及び標高は、準則第３編第２章第４節第１款の TS 点の設置に準じた観測により求めることを標準とする。ただし、作成するオリジナルデータの要求仕様に示される位置精度が 0.05 メートル以内の場合には、準則第１１８条に示す TS 等を用いる TS 点の設置に準じて行うものとする。TS 等を用いる TS 点の設置に準じて行う場合は、準則第６０４条第３項を準用し、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”		

6　前項の TS 点の設置に準じた観測をキネマティック法、RTK 法又はネットワーク型 RTK 法により行う場合は、準則第１１９条及び第１２０条に準じて行うものとする。いずれの方法においても、観測は２セット行うものとする。１セット目の観測値を採用値とし、２セット目を点検値とする。セット間の較差の許容範囲は、X 及び Y 成分は 20mm、Z 成分は 30mm を標準とする。

7　必要に応じて、調整点の標高を準則第２編第３章で規定する４級水準測量により求めることができるものとする。

8　調整点配点図は、巻末資料２の様式４「調整点・検証点・コース間検証箇所配点図」に基づいて作成する。

9　調整点の観測結果については、調整点明細表にまとめるものとし、巻末資料２の様式５「調整点明細表」に基づいて作成する。

【解説】

要求仕様に応じた調整点の設置点数については、次の表のように整理できる。ただし、出来形計測及び起工測量における設置点数は「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の監督・検査要領（土工編）（案）」（平成３０年３月：国土交通省）における「調整用基準点」の数を参照すること。

	例	調整点による検証及び調整の対象		調整点の点数
		水平位置	標高	
水平位置についても高い精度を求める場合※1	要求仕様に水平位置及び標高の検証が求められている場合	○	○	【計測範囲の面積(km²)／0.25＋１】※2 点が標準。 ただし最低２点とする。
	数値図化による数値地形図データの作成	○	○	【計測範囲の面積(km²)／0.25＋３】※2 点が標準。 ただし最低４点とする。
それ以外の場合	要求仕様で標高の検証のみ求められている場合		○	【計測範囲の面積（km²）／0.25】※2 点が標準。 ただし最低１点とする。

※1　水平位置の検証及び調整を行うためには、対空標識に 100 点程度以上の計測点が必要。

※2　面積（km²）／0.25 の小数点以下は切り上げる。

なお、上記の表はあくまでも目安であり、計測範囲の形状に応じて、適宜調整点を設置することが必要である。急峻な斜面や高密度の植生内等の理由により調整点の設置が困難な場合には、計画機関と協議のうえで調整点の数を決定することができる。

調整点の測量は、準則第 119 条及び第 120 条に定める TS 点の設置に準じ、TS による放射法、GNSS によるキネマティック法、RTK 法、ネットワーク型 RTK 法により行うことができる。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り、いわゆる GNSS ローバーを使用することも可能である。ただし、出来形管理のための測量など、作成するオリジナルデータの要求精度が 0.05m 以内の場合には、準則第 118 条で定める TS を用いた測量のみ行うこととしている。

調整点を多く設置することは精度確保には役立つが、設置する点が多くなりすぎると作業効率が低下する。作業機関は、要求仕様を満たすように、UAV レーザ測量の全体工程のバランスを踏まえて調整点の数を設定するよう留意する。

調整点として使用する対空標識の構造は、取得された点群から水平及び標高位置の特定が可能となるよう形状、大きさ、模様を作業機関が選定する。選定した調整点の構造は作業仕様書に記載し、計画機関の承認の上、採用するものとする。調整点の代表的な構造例を図１０に示す。

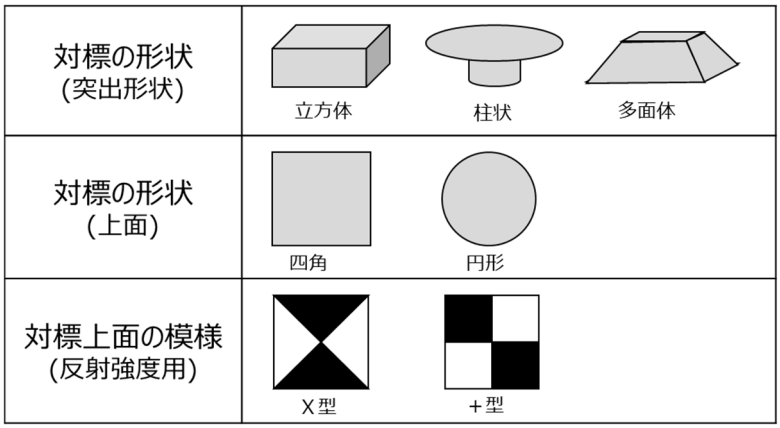

図１０　対空標識の構造例

調整点の解説については、第３０条の【解説】（４）も参照のこと。

第３節　UAV レーザ計測

（UAV レーザ計測）

第３８条　UAV レーザ機材を用いて UAV レーザ計測を行い、UAV レーザ機材における GNSS 観測データ、IMU 観測データ及びレーザ測距データ並びに固定局における GNSS 観測データを取得する。

＜第３８条　運用基準＞

１　UAV レーザ機材及び固定局における GNSS 観測については、次の各号のとおり行うものとする。

(1)　GNSS 観測のデータ取得間隔は１秒以下とする。

(2)　観測する GNSS 衛星の数は、準則第３７条第２項第二号の規定を準用する。

２　UAV レーザ計測の前後及び一定時間経過毎に、UAV レーザ機材の製造元が推奨する方法により初期化（イニシャライズ）を行うものとする。

【解説】

UAV レーザ計測は、UAV レーザ機材を用いてオリジナルデータを作成するための所定のデータを取得する作業工程である。

初期化（イニシャライズ）とは、整数値バイアス決定及び IMU のドリフトの初期化等を実施する作業であり、地上で一定時間静止状態の維持、あるいは計測コースへ進入前に機体の旋回や意図的に動揺させることをいう。初期化（イニシャライズ）を行わない状態で計測を行った場合、最適軌跡解析等で意図しない誤差が発生することがあるため、注意が必要である。

（UAV の飛行に当たっての留意事項）

第３９条　作業機関は、UAV を飛行させるにあたり、航空法に基づく必要な許可又は承認を得るとともに、国土交通省航空局が定めるガイドラインに従って作業を行うものとする。

２　UAV レーザ計測における UAV の飛行は、自動飛行方式により行うことを標準とする。また、計測範囲内については直線、かつ、等高度で飛行することを原則とし、対地速度は一定の速度を保つように努めるものとする。

＜第３９条　運用基準＞

１　UAV の飛行前には、次の各号の事項について確認する。

(1)　周辺環境等

①　天気、風速等の気象条件

②　建物や樹木、鳥獣など安全飛行に影響を及ぼす地物の有無

③　高圧電線や鉄塔などの電波干渉の可能性がある施設の有無

④　鉄板などの機体コンパスエラーを生じさせる可能性がある地物の有無

⑤　離発着場及び飛行経路と第三者（人又は物件）との距離が 30m 以上確保されていること

(2)　UAV 及び計測機器等

①　飛行高度及び飛行距離の範囲制限

②　機体キャリブレーションの必要の有無

③　機体外観、ネジなどの緩み、プロペラの割れ及び歪み、モーターの異音の有無

④　機器のバッテリーの充電状態

⑤　周辺の電波状況による通信支障の有無

【解説】

航空局では、「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」など、UAV を飛行させる上で順守が必要なルール等を各種定めている。作業機関は、これらの最新版を入手し、確実に理解した上で、安全運航の取組を行うことが必要である。

UAV レーザ計測を行う際の UAV の飛行は、機体の姿勢を安定及び一定速度を維持するため、自動飛行方式が望ましい。機体の姿勢の維持はコース間の欠損などを回避することにつながり、一定速度の維持は均一な点密度を確保することにつながる。

（UAV レーザ用数値写真）

第４０条　フィルタリング、数値図化等において画像による地物確認に用いるため、必要に応じて UAV レーザ用数値写真を撮影する。なお、UAV レーザ用数値写真の撮影は、計測範囲の状況等が変化しないよう、可能な限り UAV レーザ計測と同時期に行うものとする。

２　UAV レーザ用数値写真の解像度等は、利用目的を踏まえて決定するものとする。

【解説】

計測範囲に植生に覆われた部分が多い場合は、後で実施する点検測量を行う場所の選定やフィルタリング等の作業において、計測範囲の状況を理解するために写真が必要になる場合がある。UAV レーザ用数値写真の撮影は、必要な場合にのみ、必要な方法で行えばよい。撮影は、UAV を用いて行う方法が一般的ではあるが、状況に応じて地上写真などで補備することも可能である。

（UAV レーザ計測の確認）

第４１条　UAV レーザ計測終了後、速やかに UAV レーザ計測の状況及び取得した各データの状況について確認を行い、UAV レーザ計測記録簿に記録するとともに、必要に応じて再計測を行うものとする。

＜第４１条　運用基準＞

１　次の各号の事項については、UAV レーザ計測直後に、計測作業現場において確認を行うことを標準とする。

(1)　UAV レーザ機材及び固定局における GNSS 測量機の作動及びデータ収録状況の良否

(2)　レーザ測距装置の作動及びデータ収録状況の良否

２　次の各号の事項については、UAV レーザ計測で取得したデータを分析して確認を行う。

(1)　収録した各データの展開及び処理の可否

(2)　計測範囲内におけるコース間重複状況及び未計測箇所

３　UAV レーザ計測の記録として、次の各号に関する資料を作成する。

(1)　UAV レーザ計測記録簿

(2)　UAV レーザ計測作業日誌

(3)　固定局観測記録簿（電子基準点以外の固定局を使用した場合に限る。）

４　UAV レーザ計測記録簿は、巻末資料２の様式６「UAV レーザ計測記録簿」に基づいて作成する。

【解説】

現状の UAV レーザ機材では、GNSS 観測データや IMU 観測データ、レーザ測距データ等の取得状況を計測中にリアルタイムにモニタリングすることが難しい。このため、機器等をデータ取得状態にしたまま UAV の飛行を行い、UAV の帰還後にデータ収録状況を確認することが一般的である。

UAV レーザ測量のデータは容量が大きく処理にも時間を要するため、収録データの成否の判断は作業現場で全て行うことは困難である。作業現場ではデータの収録状況のみ確認を行うことが一般的であり、データが収録できていない状況であれば、対策を講じて再計測を行うこととする。

データの正常性（データの展開及び処理の可否）は、解析ソフトウェアで適切にデータが展開・処理できるか確認する。また、データを解析してコース間の重複状況を確認し、欠測の有無を調査する。これらの確認で異常が発見された場合は、データ処理では補完できないことから、速やかに再計測を行うことが必要となる。

第４節　最適軌跡解析

（最適軌跡解析）

第４２条　最適軌跡解析は、GNSS 観測データ及び IMU 観測データを用いて、Loosely Coupled 方式又は Tightly Coupled 方式で行うことを標準とする。

【解説】

最適軌跡解析は、これまで Loosely Coupled 方式が一般的に利用されていた。Loosely Coupled 方式は、まず GNSS 衛星を利用したキネマティック解析により機体の三次元位置を特定し、IMU のデータを反映して最適軌跡解析を行うプロセスを経る。キネマティック解析時には GNSS 衛星

が 5 個以上必要となり、5 個以下になると著しく精度が低下する。そのため、計測飛行時は機体の傾きを抑制するよう配慮が必要となる。また、山間部等では GNSS 衛星が十分に確保できない可能性があるため、事前に GNSS 衛星の配置状況を把握しておくことが重要である。

一方、近年では Tightly Coupled 方式による最適軌跡解析が普及しつつある。この方式は（簡易的に言えば）キネマティック解析と最適軌跡解析を同時に行う手法であり、GNSS 衛星の衛星数が一時的に不足しても、解析処理は一定の精度を維持できることが特徴である。

この２つの解析方式は、状況に応じて使い分けを行ってもよく、最終的に成果品が要求仕様を満たしていれば、いずれの方式でもかまわない。ただし作業機関は、最適軌跡解析に使用した解析ソフトウェアが、いずれの方式を採用して解析を行ったかを理解した上で使用することに留意する。

（最適軌跡解析の確認）

第４３条　最適軌跡解析におけるキネマティック解析結果については、次の各号に関する確認を行い、最適軌跡解析記録簿に記録するとともに、必要に応じて再解析又は再計測を行うものとする。

一　最少衛星数

二　DOP 値

三　位置の往復解の差

四　解の品質

五　位置の標準偏差の平均値と最大値

２　最適軌跡解析における最適軌跡解析結果については、次の各号に関する確認を行い、最適軌跡解析記録簿に記録するとともに、必要に応じて再解析又は再計測を行うものとする。

一　GNSS 解と IMU 解の整合性

二　位置の標準偏差の平均値と最大値

三　姿勢の標準偏差の平均値と最大値

＜第４３条　運用基準＞

１　最適軌跡解析記録簿は、解析方法に応じて、巻末資料２の様式７－１「最適軌跡解析記録簿（Loosely Coupled 方式）」又は様式７－２「最適軌跡解析記録簿（Tightly Coupled 方式）」に基づいて作成する。

【解説】

最適軌跡解析の結果について確認を行う項目を規定している。これらの項目には具体的な制限値を設けることはしていないが、最低限確認すべき事項として、最少衛星数と精度の劣化を示す指標である DOP 値が挙げられる。最少衛星数は５個以上、DOP 値は３以下であることが望ましい。ただし、この二つの項目の数値が仮に満たさなくても、その他の項目（位置や姿勢の標準偏差）で結果が良好であると判断できれば、そのまま採用することができる。

UAV レーザ測量は、最適軌跡解析の良否が直接的に成果品の精度に影響を与える。従って、最適軌跡解析の確認は、担当技術者として総合的な判断の上で良否の判断を行うことが求められる。明らかに異常な値が確認された場合は、その原因を突き止めるとともに、再計測が必要であれば速やかに実施することが必要である。

第５節　オリジナルデータの作成

（統合解析）

第４４条　最適軌跡解析で得た結果と UAV レーザ計測で取得したレーザ測距データとを統合解析し、三次元座標を持つ計測点のデータを作成する。

２　作成した計測点のデータに含まれるノイズ等の異常な点は、計測点のデータを断面表示、鳥瞰表示等することにより除去するものとする。

３　統合解析により作成した計測点のデータについて調整及び合成を行い、オリジナルデータを作成する。

４　オリジナルデータには、反射強度等の属性情報を付与することができる。

【解説】

統合解析は、図１１のように最適軌跡解析で得られた UAV 機体の位置（X,Y,Z）と姿勢（ω，φ，κ）、レーザ測距装置で得られたレーザ測距データ（D）とミラー回転角（レーザ光の走査角度）（θ）を用いて、三次元座標を持つ計測点データ（x,y,z）を作成する作業である。

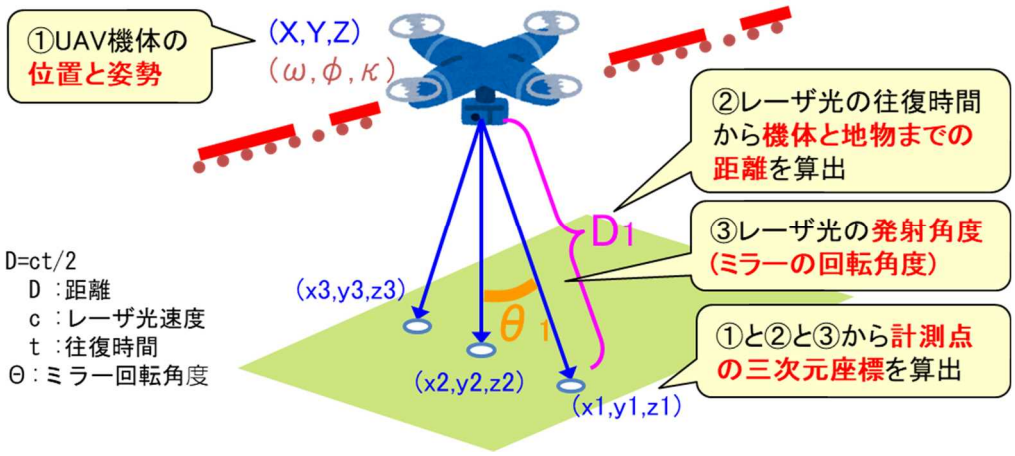

図１１　統合解析の概念図

統合解析には第３章で規定されたボアサイトキャリブレーションで得られるキャリブレーション値（ミスアライメント値やレバーアーム値）を設定する必要があるため、計測作業に用いた機体の設定値を入力するよう留意する。

統合解析による計測点データは、後続のコース間検証等を行うため、コース単位に計測点データを作成することが一般的である。複数のコースにまたがる計測点データを一度に生成することも可能であるが、データ量が大きくなるため、ハンドリングの面からもコース単位で生成するこ

とが効率的である。

計測点データには、空中（水蒸気等の影響）や地中（多重反射等の影響）にノイズのような計測点を生じる場合があるため、三次元表示によって除去することとする。

（コース間の重複部における標高値の検証）

第４５条　オリジナルデータは、全てのコースにおける隣接コースとの重複部において、コースごとの標高値を比較して検証しなければならない。

２　検証の結果、要求仕様を満たさない場合には適切な調整を行い、再度検証を行う。また必要に応じて、再計測を行う。

３　検証の結果は、コース間検証精度管理表に取りまとめる。

＜第４５条　運用基準＞

１　コース間の重複部における標高値の検証は、次の各号のとおり行うことを標準とする。

⑴　コースごとの標高値の比較検証を行う箇所（以下「検証箇所」という。）は、コース間の重複部の中から、比較的平坦で植生等の影響が少ない場所を選定するものとする。

⑵　検証箇所は、各コース間重複部に最低２か所以上設定するものとし、計測対象範囲内に偏りなく配置するよう努めるものとする。

⑶　それぞれの検証箇所において、UAV レーザ計測における標準的な計測点間距離の５倍の直径の円又は５倍の辺長の正方形を設定し、当該範囲内に存在するコースごとの各点の標高値の平均値を求め、コース間で較差を求める。

⑷　それぞれの検証箇所における標高値の平均値の較差が、要求精度よりも大きい箇所がある場合は、全体の較差が小さくなるように調整を行った上で再度統合処理を行い、再検証を行う。

⑸　前述の調整を行っても、検証箇所における標高値の平均値の較差が要求精度よりも大きい箇所がある場合は、再度 UAV レーザ計測を行う。

２　全ての検証箇所における標高値の平均値の較差が、要求精度よりも小さくなったことを確認し、検証箇所における標高値の平均値の較差等を記録したコース間検証精度管理表を作成する。また、その際の比較箇所の配置を示したコース間検証箇所配点図を作成する。

３　コース間検証精度管理表は、巻末資料２の様式８「コース間検証精度管理表」に基づいて作成する。

４　コース間検証箇所配点図は、巻末資料２の様式４「調整点・検証点・コース間検証箇所配点図」に基づいて作成する。

【解説】

コース間重複部の検証は、コース毎の計測点データを合成してオリジナルデータを作成するための重要な作業である。

コース間重複部の検証において標高値の較差が生じた場合、以下に着目して再確認を行う。

①キャリブレーション値の誤った入力及びキャリブレーション値の変化

②GNSS 衛星数と DOP の変化

①に関しては、入力値の誤りであれば正しいキャリブレーション値を入力して再度統合処理を行い、再検証する。また、何らかの要因によりキャリブレーション値が変化していれば、取得データからキャリブレーション値の調整値を推定し、再度統合処理後に再検証を試みることもできる。可能であれば、再度ボアサイトキャリブレーションを行い、適切なキャリブレーション値を求めることが望ましい。

②に関しては、GNSS 衛星の捕捉状況が変化すると、標高方向に一定誤差が生じることがあることに起因する。同日の計測で一定誤差が生じた場合は、最適軌跡解析記録簿の衛星数や DOP 値がコース間で変化しているか確認し、必要に応じて標高値の一律補正による調整等を行う。

検証の結果、要求精度を満たすことができず、原因が突き止められない場合は、再計測が必要となる。

（調整点を用いた検証）

第４６条　オリジナルデータは、調整点において標高値等を比較して検証しなければならない。

２　検証の結果、要求仕様を満たさない場合には適切な調整を行い、再度検証を行う。また必要に応じて、再計測を行う。

３　検証の結果は、調整点検証精度管理表に取りまとめる。

＜第４６条　運用基準＞

１　調整点を用いた検証は、次の各号のとおり行うことを標準とする。ただし、水平位置の検証は、要求仕様に基づき必要に応じて実施するものとする。

(1)　標高の均一度の検証

①　調整点を中心に、標準的な要求点間距離の５倍の直径の円又は５倍の辺長の正方形を設定し、当該範囲内に存在する各点の標高値について調整点の標高値との較差を求め、較差の絶対値の最大値、較差の平均値、標準偏差を求める。

(2)　標高の正確度の検証

①　調整点を中心に、標準的な要求点間距離の５倍の直径の円又は５倍の辺長の正方形を設定し、当該範囲内に存在する各点の標高値の平均値を求める。

②　全ての調整点において、①で求めた標高値の平均値と調整点の標高値との較差を求め、その平均値と標準偏差を求める。

(3)　水平位置の検証

①　対空標識を計測した点群から調整点の位置座標を求め、調整点の位置座標との較差を求める。

②　全ての調整点を対象に較差の平均値と標準偏差を求める。

２　検証の結果、作成するオリジナルデータの要求精度を満たさない箇所がある場合は、必要な調整を行った上で再検証を行う。また必要に応じて再計測を行う。

３　全ての調整点において、作成するオリジナルデータの要求精度を満たすことを確認し、調整点を用いた検証結果を記録した調整点検証精度管理表を作成する。

４　調整点検証精度管理表は、標高の均一度の検証結果については巻末資料２の様式９「オリジナルデータ均一度検査表」に、標高の正確度の検証結果については巻末資料２の様式１０－１「調整点検証精度管理表（標高）」に、水平位置の検証結果については巻末資料２の様式１０－２「調整点検証精度管理表（水平位置）」に基づいて作成する。

【解説】

図１２に示す調整点を用いたオリジナルデータの検証は、オリジナルデータの標高の均一度と標高の正確度について要求仕様を満たしているか確認するために行うものである。

オリジナルデータの均一度は、調整点周辺の点群が、ほぼ同一な標高値であるかを確認し、バラつきが生じていないか判断するものである。一方、標高の正確度の検証は、オリジナルデータ全体が、調整点の標高と整合しているかを検証するものである。この検証の結果、要求精度を満たさない場合は、必要な調整を行った上で再検証を行うことが必要になる。再検証でも解決しない場合には、再計測を検討する必要も出てくる。

調整点によるオリジナルデータの検証の結果は、検証項目ごとにそれぞれの精度管理表に記録する。

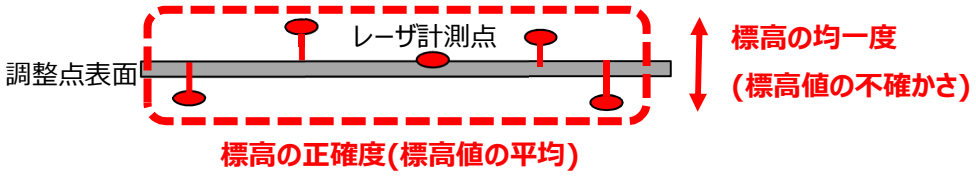

図１２　調整点を用いたオリジナルデータの標高の検証

なお、出来形管理のための測量においては、出来形管理要領に準じた精度管理表を作成すること。

（点密度の検証）

第４７条　オリジナルデータは、要求仕様に示された要求点密度を満たしているか検証しなければならない。

２　検証の結果、要求仕様を満たさない場合には、追加計測を行う。

３　検証の結果は、点密度検証精度管理表に取りまとめる。

＜第４７条　運用基準＞

１　点密度は、要求仕様に設定された要求点密度に基づいてオリジナルデータを一定の格子間隔で区切り、１つの格子内に含まれるオリジナルデータの点の数により検証する。

２　点密度の検証を行う箇所には、水部は含まないことを標準とする。

３　点密度検証精度管理表は、巻末資料２の様式１１「点密度検証精度管理表」に基づいて作成

する。

4　要求仕様に定める要求点密度が要求仕様を満たさない場合は、達成率を計画機関に報告し、再計測について協議を行うこととする。

【解説】

点密度の検証は、成果品の要求仕様に定める要求点密度を達成しているか評価する。

なお、点密度が 100 点／m^2 又は 1 点／10cm 四方よりも高密度になるに従って条件が厳しくなるため、計画機関との協議により点密度の達成要求（どの程度まで許容するか）を共有しておくことが望ましい。

第５章　【作業機関向け】UAV レーザ測量のオリジナルデータの点検

（要旨）
第４８条　本章は第４章に基づいて作成するオリジナルデータについて、要求仕様を満たしているかを点検測量により点検し、成果品として取りまとめることを目的とする。

【解説】

公共測量では測量成果の正確さを確保するため、準則第１３条３項で作業機関が点検測量を行うことを規定している。

本マニュアルで規定している UAV レーザ測量の場合、コース間重複部での検証や調整点を用いた検証等を行うことで、一定の確認を行っているが、調整方法等については、作業機関が自由に決定することができるようになっているため、最終的に作成されるオリジナルデータが確実に要求仕様を満たしているか、明確ではない。このため、本マニュアルでは点検測量によって点検を行うことで、成果品が要求仕様を満たしているかを確認することとしている。

準則の航空レーザ測量等では、点検測量の手法については明確に規定されていない。このため本マニュアルでは、オリジナルデータに対する点検測量の手法を具体化することにより、点検測量手法の標準化を行い、一定の基準のもとで評価を行うことを可能にすることで、成果品の品質を確実なものとすることを目的としている。

（オリジナルデータの点検）
第４９条　オリジナルデータの点検は、オリジナルデータと、オリジナルデータの作成とは別に実施する点検測量で得られるデータとの較差を求め、要求仕様を満たしているかを確認する。
２　点検測量は、計測範囲の状況等が変化しないよう、可能な限りオリジナルデータの作成における UAV レーザ計測と同時期に行うものとする。
３　点検測量で得られるデータと同等以上の精度を有する既存のデータを点検に使用することができる。ただし、当該データの作成時点からオリジナルデータの作成までの間に計測範囲の状況等が大きく変化していない場合に限る。
４　点検の結果、オリジナルデータが要求仕様を満たしていない場合には、データの再作成など、要求仕様を満たすように必要な措置を講じる。
５　点検結果は、点検測量結果精度管理表に整理する。

＜第４９条　運用基準＞

１　点検は、次の各号のいずれかの方法で行うことを標準とする。

(1)　UAV レーザ測量による点検

オリジナルデータ作成時に使用した UAV レーザ機材と同じ機材又は同等以上の性能を有する機材を用いて、オリジナルデータ作成とは別に UAV レーザ測量を実施してオリジナル

データを再取得し、これとの比較を行い点検する。

(2)　検証点の設置による点検

計測範囲内にオリジナルデータ作成時に用いる調整点等とは別の検証点を設置し、これとの比較を行い点検する。

(3)　横断測量による点検

計測範囲を横切る路線において、準則第５６１条に基づく横断測量を行って横断面図を作成し、オリジナルデータから作成する横断面図との比較を行い点検する。

(4)　他の測量手法での三次元点群データによる点検

オリジナルデータと同等以上の精度を有する、地上レーザスキャナを用いた測量等で作成した三次元点群データとの比較を行い点検する。

2　点検測量の作業量は、次の各号のとおり実施することを標準とする。

(1)　UAV レーザ測量による点検又は他の測量手法での三次元点群データによる点検の場合、点検測量を実施する面積は、オリジナルデータの計測範囲の５パーセント以上とする。

(2)　検証点の設置による点検の場合、検証点は、オリジナルデータの作成時に使用した調整点の点数以上とする。要求仕様に基づき水平位置と標高の両方について点検を行う場合及び数値図化データを作成する場合は、調整点との合計で４点以上設置することを標準とする。標高のみを点検する場合は２点以上を標準とする。

(3)　横断測量による点検の場合は、オリジナルデータの作成時の全ての計測コースを２回以上横断する路線とする。

3　点検測量に当たっての留意事項は、次の各号のとおりとする。

(1)　UAV レーザ測量による点検の場合は次のとおりとする。

①　点検測量で使用する調整点は、オリジナルデータ作成時に使用した調整点と同じものを使用するものとし、点検測量の範囲内に、これらの調整点を１点以上含める。

②　点検測量の範囲は、植生のない平坦な範囲を標準とする。

③　点検測量は、オリジナルデータの作成とは独立した作業として行う。

(2)　検証点の設置による点検の場合は次のとおりとする。

①　検証点の設置箇所は、調整点を含めた点間距離が概ね等しくなるよう配置し、植生のない平坦、かつ、堅固な箇所とする。適当な箇所がない場合には、対空標識を設置するものとする。

②　検証点の位置及び標高は、第３７条運用基準の規定に準じて求める。

(3)　横断測量による点検の場合は次のとおりとする。

①　横断測量の起点及び終点は、オリジナルデータ作成時に使用した調整点とする。

②　横断測量で測定する地形変化点は、植生がなく連続した面の横断形状を表せる地点とする。

(4)　他の測量手法での三次元点群データによる点検の場合は次のとおりとする。

点検測量の範囲は、植生のない平坦な範囲を標準とする。

4　オリジナルデータと点検測量で得られるデータとの較差を用いた点検は、次の各号のとおり行うことを標準とする。

(1)　UAV レーザ測量による点検又は他の測量手法での三次元点群データによる点検の場合は、オリジナルデータ及び点検測量で得られるデータを要求仕様に基づいて一定の格子間隔で区切り、各格子内に含まれる点の標高値の平均値をそれぞれ求め、オリジナルデータと点検測量で得られたデータとの較差が要求仕様を満たしているか確認する。確認の対象箇所は植生等の影響がない格子のみとする。なお、確認の対象箇所の面積が、オリジナルデータの計測範囲の５パーセント未満の場合は、前述の確認に加え、オリジナルデータと点検測量で得られるデータを任意の幅で抽出して断面表示し、地表面等同一の地点を取得していると推定される箇所において標高の較差を求め、要求仕様を満たしているか確認する。この場合、確認を行う断面は５測線以上とし、それぞれ２箇所以上で確認するものとする。

(2)　検証点の設置による点検の場合は、第４６条の規定に準じてオリジナルデータと検証点との較差を求め、要求仕様を満たしているかを確認する。

(3)　横断測量による点検の場合は、オリジナルデータを横断測量の路線に沿って任意の幅で抽出して断面表示し、横断測量で作成する横断面図と重ね合わせ、地表面等同一の地点を取得していると推定される箇所において標高の較差を求め、要求仕様を満たしているか確認する。確認は１０箇所以上で行うものするものとする。

5　点検測量の実施箇所は、巻末資料２の様式４「調整点・検証点・コース間検証箇所配点図」に基づいて作成する。

6　検証点の観測結果については、検証点明細表にまとめるものとし、巻末資料２の様式１２「検証点明細表」に基づいて作成する。

7　点検測量結果精度管理表は、点検測量の方法に応じて、巻末資料２の様式１３「点検測量結果精度管理表（UAV レーザ再計測）」、様式１４－１「点検測量結果精度管理表（検証点・標高）」、様式１４－２「点検測量結果精度管理表（検証点・水平）」、様式１５「点検測量結果精度管理表（横断測量）」に基づいて作成する。

【解説】

点検測量の手法は、要求仕様に記載されている成果品の利用目的や要求精度に応じて、作業機関の判断のもとで選定と計画を行うこととしている。点検測量手法の選定及び計画に当たっては、要求仕様の利用目的に応じた手法を選択することが最優先である。ただし、点検測量の作業効率性や計測対象地域の状況も含めて検討が必要であるため、計画機関からは事前に現場の周辺状況の情報収集を行うことを推奨する。また、実際に現場で作業を行う際に、機材トラブルや検証点設置ができないなど当初計画の点検測量手法が実施できない状況を想定し、予備的な点検測量手法を想定しておくことが望ましい。

運用基準に示す各点検測量手法の具体的な例は、補足資料「UAV レーザ測量成果の点検測量の例」に整理している。作業機関は、これらの事例を参考にして適切な点検測量の選定・計画を行い、計画機関の承認を得た上で点検測量作業を確実に行うこととする。

（オリジナルデータの記録）

第５０条　点検の結果、要求仕様を満たしていることが明らかになったオリジナルデータについて、成果品要求仕様書に従った形式で電磁的記録媒体に記録する。

２　点検結果等、ファイルの管理及び利用において必要となる事項について記載したオリジナルデータのメタデータを作成し、オリジナルデータとともに電磁的記録媒体に記録する。

【解説】

オリジナルデータは、三次元座標を持つ点の集合である。三次元点群データのファイル形式としては、テキスト形式（CSV 形式）が一般的であるが、LAS 形式など三次元点群データに特化したファイル形式も存在する。計画機関の要求仕様に基づき、適宜対応するものとする。

第６章　【作業機関向け】その他の成果データの作成

（要旨）
第５１条　本章は第５章に基づいて作成する点検済みのオリジナルデータを編集して作成するその他の成果データの作業の方法等を定めることを目的とする。
２　その他の成果データは、要求仕様に基づき、必要に応じて作成するものとする。

（グラウンドデータの作成）
第５２条　グラウンドデータは、オリジナルデータのうち地表面の高さを示すデータのみを抽出したデータを標準とし、オリジナルデータからフィルタリングを行い作成する。
２　フィルタリングの対象項目は、要求仕様に基づいて決定する。

＜第５２条　運用基準＞
１　大規模な地表遮蔽部分において、オリジナルデータからの編集では地形表現に不具合が生じるおそれがある場合は、オリジナルデータの追加作成又は他の測量による補備測量を行い、グラウンドデータを適宜補完する。

【解説】
グラウンドデータは、オリジナルデータを構成する点のうち、地表面を捉えた点のみを抽出したものである。グラウンドデータは、地表面以外の地物を全て取り除く作業（フィルタリング）によって作成される。「地表」の定義は準則にも定められていないが、交通施設・建物・小物体などの人工構造物、植生や草本などの自然物体が取り除かれる対象とされる。
フィルタリングは、地表面以外の地物は全て取り除くことが一般的であるが、計画機関によっては地表として扱うべき地物が異なる場合がある。作業機関は、要求仕様に示される利用目的を踏まえ、残すべき地物の有無を類推し、事前に計画機関に確認を取るよう留意する。

（グラウンドデータの検証）
第５３条　グラウンドデータは、各種出力図等又は図形編集装置を用いて、適正にフィルタリングが行われているか検証しなければならない。

＜第５３条　運用基準＞
１　グラウンドデータの検証は、フィルタリング点検図等を作成して行うものとする。ただし、図形編集装置により行う場合には、フィルタリング点検図等の作成を省略することができる。
２　フィルタリングの良否の判断が困難な場合は、図形編集装置を用いた断面表現等により点検するものとする。
３　グラウンドデータの検証の結果は、巻末資料２の様式１６「グラウンドデータ作成作業精度

管理表」に基づいて整理する。

【解説】

グラウンドデータのフィルタリングの良否は、そのままでは判断が難しいため、通常は、グラウンドデータを TIN データやグリッドデータに変換し、陰影表現等の地形表示により異常な地形ノイズの有無を確認する。異常な箇所が存在する場合は、グラウンドデータを確認の上、修正を行い、再度地形表示を行うなど、繰り返して確認してフィルタリング漏れが発生しないようにする。

（グリッドデータの作成）

第５４条　グリッドデータは、グラウンドデータから内挿補間により格子状の標高データを作成することを標準とする。

２　グリッドデータの格子間隔は、要求仕様に基づいて決定する。

＜第５４条　運用基準＞

１　内挿補間は、データの密度を考慮し、TIN 法又は最近隣法を用いることを標準とする。ただし、データの欠損が多い箇所については、Kriging 法により内挿補間することができるものとする。

２　グリッドデータには、必要に応じてフィルタリング状況又は水部状況を表す属性を付与することができるものとする。

３　要求仕様を踏まえ、グラウンドデータに代えてオリジナルデータを用いることができる。

【解説】

オリジナルデータやグラウンドデータは UAV レーザ計測により取得した計測点で構成されるデータであり、それぞれの点は三次元座標を持つ離散的な点である。一方、グリッドデータはこれらのデータから計算処理により求めたデータである。グリッドデータは、体積の変化量算定等の地形解析に利用されると共に、陰影図や開度図などの様々な地形表現図を作成するために利用される。内挿処理に当たっては、その手法によってグリッドデータの標高値が異なることから、適切な手法を選択するよう留意する。

（グリッドデータの検証）

第５５条　グリッドデータは、図形編集装置又は各種出力図等を用いて、適正に作成されているか検証しなければならない。

＜第５５条　運用基準＞

１　グリッドデータの検証の結果は、巻末資料２の様式１７「グリッドデータ作成作業精度管理

表」に基づいて整理する。

（等高線データの作成）
第５６条　等高線データは、グラウンドデータ又はグラウンドデータを用いて作成したグリッドデータを用いて作成する。

【解説】
等高線データは、グラウンドデータ又はグリッドデータから計算処理によって等高線を自動生成することができる。この場合は標高が異なる等高線同士が接したり、等高線の標高値を誤ったりするといった異常は通常は発生しない。ただし、自動生成された等高線データは、従来の写真測量から作成される等高線とは異なるため、注意が必要である。例えば、写真測量では道路を等高線が横断する場合は道路直角方向に交差するよう配慮されるが、自動生成の等高線ではそのような配慮はされない。
なお、等高線が幾重にもできているような箇所が存在した場合は、グラウンドデータ等にフィルタリング漏れや異常値が無いか確認する必要がある。

（等高線データの検証）
第５７条　等高線データは、図形編集装置又は各種出力図等を用いて、形状、属性情報等を検証しなければならない。

【解説】
等高線データの検証は、等高線の形状や属性（標高値）を正しいか確認する。GIS ソフトウェアがあれば、等高線に標高値のラベルを表示させる方法、標高に応じた色分け表示などで確認を行う方法が考えられる。

（数値地形図データの作成）
第５８条　数値地形図データは、オリジナルデータを用いて数値図化機による数値図化で作成する。
２　数値図化の対象地物は、要求仕様に基づいて決定する。

＜第５８条　運用基準＞
１　数値地形図データの作成に用いる数値図化機は、次の各号のいずれかの方法により数値図化が行える機能を有するものとする。
(1)　コンピュータ内に三次元空間を設け、スクリーンモニター上の複数の画面に異なる投影でオリジナルデータ及びその反射強度等を表示し、地図情報を数値化する方法

(2)　立体的構造物の形状が顕著になるようにオリジナルデータを三次元表示し、地図情報を数値化する方法

(3)　オリジナルデータ及びグリッドデータを陰影段彩表現に加工したデータを表示し、地図情報を数値化する方法

(4)　オリジナルデータから得られる反射強度の正射表示による方法

2　数値地形図データ作成に用いる数値図化機は、数値図化用データの使用可能範囲を表示する機能を有するものとする。

3　数値図化は、次の各号により実施する。

(1)　線状対象物、記号の順序で行うものとし、描画漏れのないように留意しなければならない。

(2)　データの位置、形状等は、スクリーンモニターに表示して確認する。

4　数値地形図データの分類コードは、準則付録７の数値地形図データ取得分類基準を標準とする。

5　構造物や植生の遮蔽による障害により、判読困難な部分又は数値図化不能な部分がある場合は、その部分の範囲を表示し、現地補測において必要な注意事項を記載するものとする。

6　オリジナルデータから得られる反射強度の正射表示による方法により数値図化を行う場合は、次の各号に留意するものとする。

(1)　数値図化に当たっては微地形表現図等の陰影図データを参照する。

(2)　周辺との反射強度に差がない地物は、微地形表現図等の陰影図データに加え、現地補測や設計図書等に基づいて数値図化する。

(3)　堰堤やダム等の立体的構造を持つ地物は、オリジナルデータによる陰影を基に三次元形状から数値図化を行う。

(4)　樹木下の地物を捉えた点群の反射強度は、周辺の状況に注意して地物を特定して数値図化を行う。

7　数値地形図データに示す標高点は、次の各号により選定する。

(1)　オリジナルデータ、グラウンドデータ、グリッドデータより取得するものとする。

(2)　標高点の計測位置は、地形判読の便を考慮し、形状が明瞭な箇所を選定するものとする。

(3)　標高点の計測間隔は、作成する数値地形図データの地図情報レベルに４センチメートルを乗じた距離を標準とする。

【解説】

UAV レーザ測量のデータを利用して数値図化を行う場合、数値図化する対象地物を明確にすることが重要である。作業機関は、計画機関から対象地物及びその概略位置などの情報を得ることで、適切な作業仕様の策定が可能となる。測量現場の状況に不明点があれば、計画機関の了承の上で事前に予察を行い、測量現場の状況や数値図化対象地物の上空の遮蔽状況などを把握することが推奨される。

UAV レーザ測量では、植生の間をすり抜けて植生下の地表面や地物を捉えることがあるため、写真測量と比較して植生下の地物が認識できる場合がある。しかし、植生下の地物の輪郭を確実に捉えるだけの点密度が確保できるかは予測が難しい。従って、数値図化対象地物の上空の遮蔽

状態が厳しいようであれば、補測作業を前提にした作業計画を立案する必要がある。補測作業が必要と判断される場合には、数値図化対象地物を図化するために適切な測量手法を検討し、実施しなければならない。なお、数値図化対象地物の上空の遮蔽状況が厳しい場所に対しては、通常よりも高密度な UAV レーザ計測を計画し、計測を試みることも選択肢の一つである。

数値地形図データを作成する場合は、地図情報レベルに応じて作成するオリジナルデータの水平位置の精度の点検も必要となる。縮尺が大きい（地図情報レベルが小さい）数値地形図データを作成する場合には、注意が必要である。またこの場合は、測量現場に水平位置の検証も可能な調整点を必要数設置できるか確認することも求められる。

UAV レーザ測量で数値図化を行う場合は、適切な作業仕様の策定と綿密な作業計画の立案が求められることに留意し、計画機関と適宜協議を行いながら作業を行うことが肝要である。

（数値地形図データ作成に用いるオリジナルデータ）

第５９条　数値地形図データの作成に用いるオリジナルデータは、要求仕様に基づいて決定する数値図化対象地物が判読できる点密度とする。

２　オリジナルデータで十分な計測点密度が確保されない場合や、遮蔽部分が存在する場合は、適切な測量方法で補測するものとする。

＜第５９条　運用基準＞

１　数値地形図データの作成に用いるオリジナルデータの点密度は、作成する数値地形図データの地図情報レベルに応じて設定するものとし、次表を標準とする。

地図情報レベル	点密度
500	400 点/m^2 以上
1000	100 点/m^2 以上

（数値地形図データの検証）

第６０条　数値地形図データの検証は、スクリーンモニターに表示させて行うとともに、別途撮影した UAV レーザ用数値写真等を用いて行うものとする。

２　数値地形図データの検証は、次の項目について行う。なお、必要に応じて作成する数値地形図データの地図情報レベルに相当する縮尺での出力図を用いるものとする。

一　取得の漏れ及び過剰並びに平面位置及び標高の誤りの有無

二　接合の良否

三　標高点の位置、密度及び測定値の良否

四　地形表現データの整合

【解説】

数値地形図データの検証は、数値図化された地物の位置と、上空に遮蔽物がない箇所では UAV レーザ用数値写真や反射強度画像や陰影図データ等で比較を行う。上空が遮蔽されている箇所では、現地で観測した一部の地物（堰堤の幅等）とで比較を行う。

要求仕様に定める数値図化対象地物の漏れ及び過剰の確認は、上空の遮蔽が無ければ数値写真等で確認を行う。上空が遮蔽される植生下に関しては、UAV レーザ測量のデータでは植生下でも「何かの地物」の存在は判断できることがある。そのような地物が認識された場合は、数値図化の対象であるか判断するため現地で目視確認し、数値図化が必要な地物であれば現地補測作業を実施することになる。なお、現地の立ち入りや測量作業が困難であれば、計画機関に報告して判断を仰ぐことが求められる。

（その他の成果データの記録）

第６１条　作成及び検証を行ったその他の成果データについて、成果品要求仕様書に従った形式で電磁的記録媒体に記録する。

２　ファイルの管理及び利用において必要となる事項について記載したそれぞれのデータについてのメタデータを作成し、その他の成果データとともに電磁的記録媒体に記録する。

【解説】

その他の成果データは、オリジナルデータ等を編集・変換して作成するため、利用者に対してその系譜等を明らかにするために、メタデータにはどのようなデータを基にして作成したかを確実に記録することが求められる。

巻末資料１　要求仕様及び作業仕様における標準値

要求仕様及び作業仕様は、計画機関及び作業機関が、測量の目的等を踏まえて自由に設定することが可能であるが、その目安となる標準値を示したものである。

なお、ここに示す値は、これまでの一般的な利用状況等を踏まえて示すものであり、今後の技術開発の進展や利用動向の変化等により、値も変化することが想定される。また、要求仕様及び作業仕様を策定する上で参考とするものであり、必ずしもここに示す値を順守しなければならないものではない。最終的に要求仕様を満たすことができる成果品を作成することが重要である。

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/㎡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。

２．成果品の作業仕様

① UAVレーザ機材の性能

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 計測諸元

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	

巻末資料２　精度管理表及び成果簿の様式

資料名	様式
キャリブレーション記録簿(UAV レーザ機材点検記録)	様式１－１
UAV レーザ機材精度試験記録	様式１－２
飛行・計測諸元計画表	様式２
固定局明細表	様式３
調整点・検証点・コース間検証箇所配点図	様式４
調整点明細表	様式５
UAV レーザ計測記録簿	様式６
最適軌跡解析記録簿（Loosely Coupled 方式）	様式７－１
最適軌跡解析記録簿（Tightly Coupled 方式）	様式７－２
コース間検証精度管理表	様式８
オリジナルデータ均一度検査表	様式９
調整点検証精度管理表(標高)	様式１０－１
調整点検証精度管理表(水平位置)	様式１０－２
点密度検証精度管理表	様式１１
検証点明細表	様式１２
点検測量結果精度管理表(UAV レーザ再計測)	様式１３
点検測量結果精度管理表(検証点・標高)	様式１４－１
点検測量結果精度管理表(検証点・水平)	様式１４－２
点検測量結果精度管理表(横断測量)	様式１５
グラウンドデータ作成作業精度管理表	様式１６
グリッドデータ作成作業精度管理表	様式１７