

3次元計測について ～UAV/TLS～

ICT工事のプロセスにおけるスキャナーUAV

1) レーザースキャナー/UAVの役割



▶従来では、杭や水系を複数設置した測量を1点1点時間をかけて行いますが、ICT工事ではスキャナーやUAVの3次元計測により、**短時間で高精度な点群データを取得**します。

▶これまで2次元だった設計図ではなく、ICT工事では3次元設計データを点群データと比較し、**土量の自動算出**を実現します。

▶3次元設計データをICT建機と連携させ、自動制御による高精度で効率的な施工を実現。日々の作業量は数値化され、設計との比較により**出来高等の進捗管理**が行えます。

▶施工完了後の**出来形管理と検査**では、国交省で定めた要領に基づき3次元計測を行い、TS/GNSSで設計との差分を判定し、基準値内であることを確認します。

ICT工事のプロセスにおけるスキャナーUAV

2) レーザースキャナー/UAVの特性

地上型レーザー スキャナ



- ・トータルステーションと
同じような運用が可能
- ・高精度な点群取得
- ・観測結果をその場で確認可能

UAV空中 写真測量



- ・広範囲を短時間で計測
- ・外作業は自動航行のみ
- ・導入コストが比較的低い

ICT工事に必要な3次元点群データの取得には、スキャナーかUAVのどちらか、あるいは複合して使用するか選択して行います。

ICT活用技術の適用範囲、現場による対象エリア・施工条件を確認し、現場に即した適切な手法を選択し、3次元計測を行っていきます。

TLS (地上型レーザーキャナー)

レーザースカナー

1) レーザースカナーによる観測

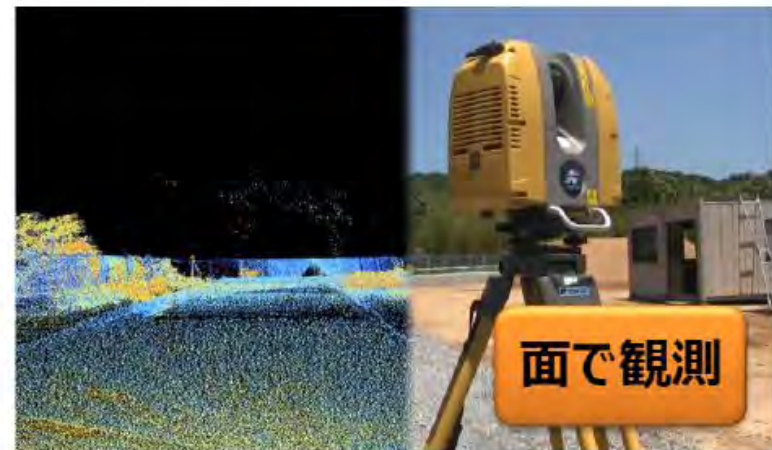
従来のトータルステーションでの観測

- ・測量機とプリズムを1対とし、観測対象を1点1点観測。
- ・器械設置とプリズムの視準および観測を2人で繰り返す場合、工数もかかる。



レーザースカナーでの観測

- ・レーザー光を計測対象に照射し、対象物からの反射光の距離・角度情報を用いた
- 3次元座標を計測**
- 1秒間に数万点のデータ取得可能
(距離・スキャン間隔に応じた値)
 - ・レーザー光は水平360°・鉛直270°回転
- 全周データ取得可能**で作業効率が高い



レーザースカナー

● TLS出来形管理要領

TLSによる出来形計測で利用するTLS本体は下記の測定精度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器であること。受注者は、本管理要領に基づいて出来形管理を行う場合は、利用するTLSの性能について、監督職員に提出すること。以下に、出来形管理で利用するTLSに要求される性能基準を示す。

測定範囲内で精度：±20mm 以内

色データ：色データの取得が可能なこと

TLS

- ① 計測範囲内精度±20mm以内
- ② 色データ取得
- ③ 本体位置設置機能(任意)

施工計画書への記載

- ① メーカー名と機種名
- ② カタログの写し(諸元など)
- ③ 保守点検記録(メーカー推奨期間内)

～ TLSの選定 ～

レーザースキャナー

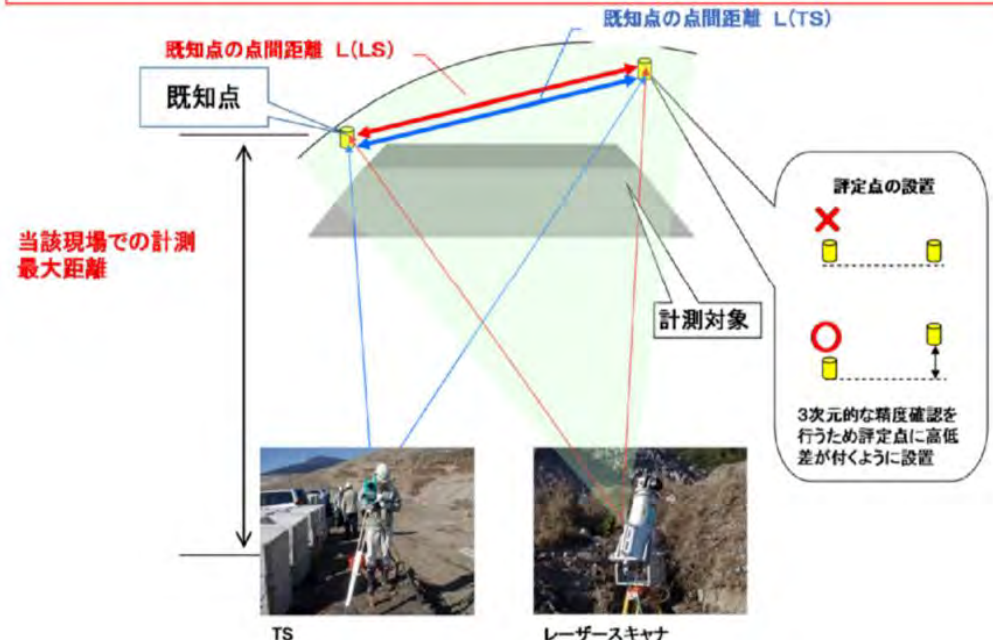
● TLS本体

- ① JSIMA115に基づく試験成績表で、座標測定精度が14mm以内である試験成績表を提出する
- ② ①の確認が不可な場合、利用前6ヶ月以内に精度確認試験を実施しその結果を報告する
- ③ 適正管理の証明として、試験成績書or検定書or校正証明書、点検書等を提出する

精度確認試験

1. 最大計測距離付近及びそれ以上はなれた位置に10m以上離れた2つの既知点を設置
2. 既知点間距離をTS等で計測
3. TLS計測結果から2点間距離を求める
4. 2、3の結果を比較し±20mm以内であることを確認
5. 精度確認試験結果報告書を提出

既知点の点間距離の較差 既知点の点間距離 $L(TS)$ - 既知点の点間距離 $L(LS) = \pm 20\text{mm}$ 以内



レーザースキャナー

2) レーザースキャナーの利用手順

① 基準点の測量



② ターゲットの設置

プリズム ターゲット板



③ 器械の設置

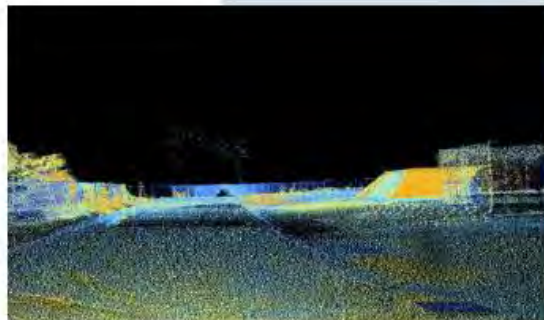


器械の移動

②～⑤を
繰り返し
行う

⑤ 観測

少回数で行うには、なるべく
広範囲を設定



④ 後視点観測

後視点観測もしくは後方交会
による任意点での機械設置



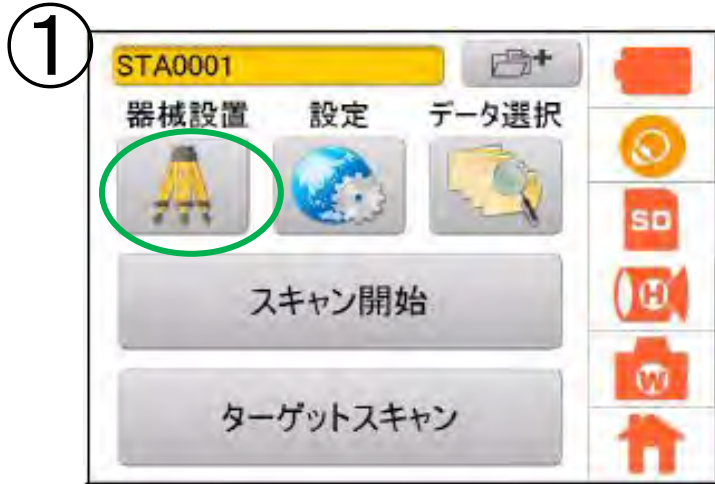
⑥ データ処理

複数個所のデータを結合
点群データとして出力



レーザースキャナー

実機講習_簡単・高精度レジストレーション



レーザースキャナー

3) レーザースキャナー利用時の留意点



計測対象の留意点

- 計測表面に草木が生えていないか？
- 表面が濡れていないか？
- 表面が雪に覆われていないか？
- 計測表面との入射角が浅くないか？
(入射角が浅いとレーザーの特性で正確に計測できない)



レーザースキャナーの留意点

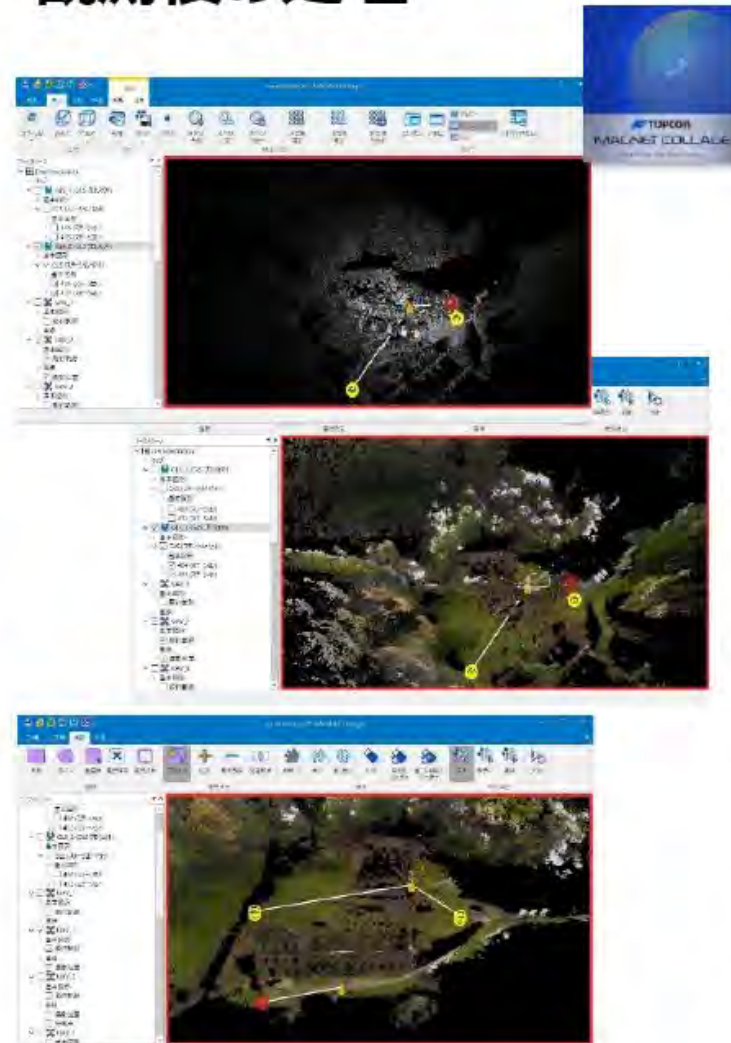
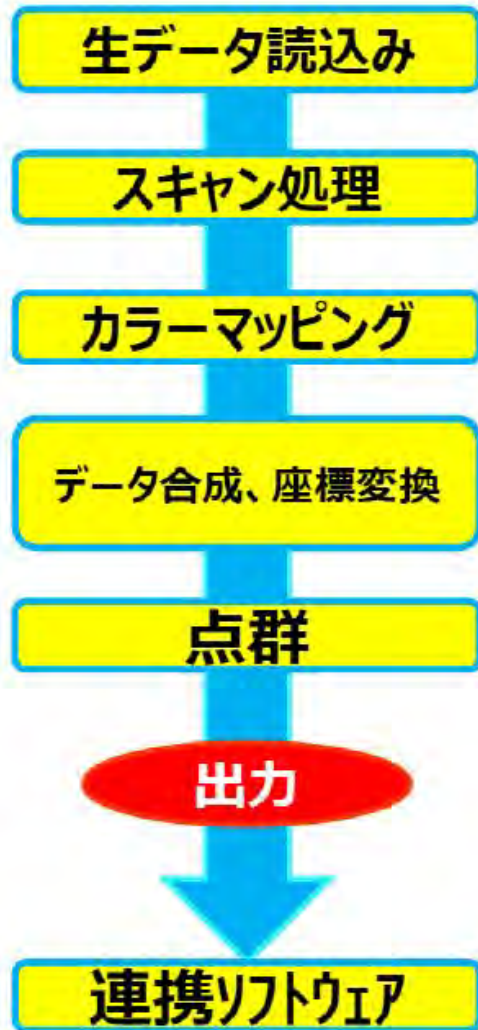
- 正しく整準して設置されているか。
- 目標物との間に遮るような障害物は無いかな？
- 複数箇所からの計測の場合、点群が均一になるよう盛り替えてあるか？
- 精度検証 (20mm以内) を行ったか？

標定点の留意点

- 標定点の座標値は正しく求められているか？
- 標定点の間隔は管理要領に則っているか？
- レーザースキャナーと標定点の位置

レーザースキャナー

4) レーザースキャナー観測後の処理



後処理ソフトウェア
「MAGNET Collage」に点群データ取り込みます。

取り込まれた点群データには色が着いていないため、スキャナーが観測時に撮影した画像を元に、**色の情報**を点群に重ねます。

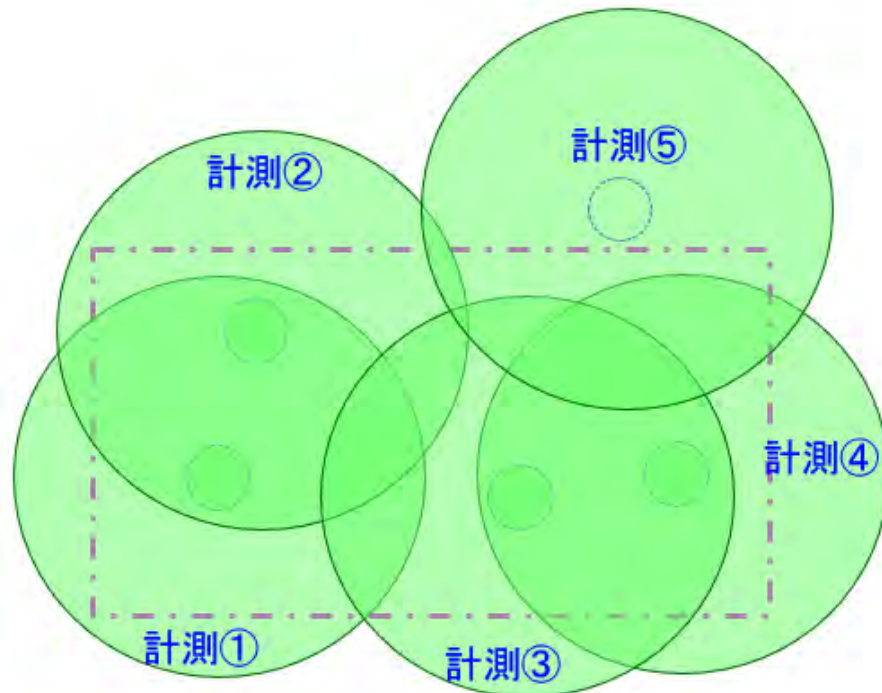
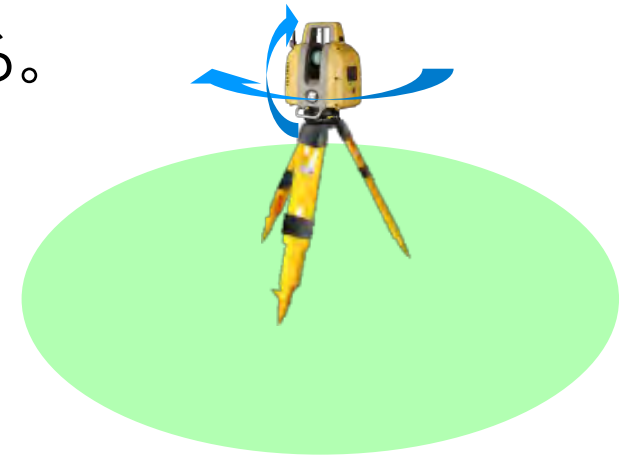
また、複数回の器械設置および計測による結果をそれぞれ座標データと照合し、点群データを**合成**することで、対象現場**全体の点群データ**が完成します。

完成した点群データを出力し、建設システム・福井コンピュータ・AutoDeskなどのCADソフトウェアで活用します。

レーザー扫描仪

● 自己位置の計測について（土工の場合）

TLSは、自己位置の真下を計測できないため、自己位置のデータが必要となる場合には、別の場所から重複するように計測する必要がある。



- 計測対象範囲
- TLS計測範囲
- TLS設置箇所

レーザー scanner

● 自己位置の計測について（舗装工の場合）

8-1. 策定済み各種要領の改訂(カイゼン)

○ 地上型レーザー scanner を用いた出来形管理要領(舗装工事編)

1. 地上型レーザー scanner (TLS)により舗装面等を計測する場合、機器直下部の半径数mにおいて点群が取得できないため、盛り替え回数が増加し生産性向上の阻害要因となっている。
 - ・ 舗装工の施工手法から機器直下部分のみ施工精度が悪化することは無い。
 - ・ TLS直下の点群抜けを許容する旨、出来形管理要領へ追記。
- 改訂の効果 最大で従来より2倍の効率でTLS出来形計測が可能となる。

実際のスキャンイメージ



現状のスキャン例



改訂後のスキャン例



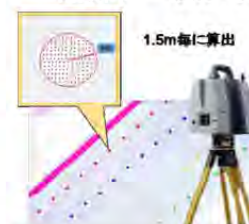
 : TLS計測範囲  : TLS直下点群欠測

2. 「出来形管理基準及び規格値」における舗装表層の平坦性指標(σ)を計測するためには、3mプロフィールメーターを用いて路面上を歩行する必要があった。
 - ・ TLS等により得られる点群データから計算により σ を算出する方法を選択できる旨、出来形管理要領に追記。

プロフィールメーターによる計測(現状)



点群データからの算出(改訂)



- ・ 平坦性指標算出ソフトを国土技術政策研究所より提供予定。

UAV 空中写真測量

UAV 空中写真測量

1) UAV空中写真測量とは

UAVとは・・・

無人飛行機（**U**n**m**anned **A**erial **V**ehicle）のことで、固定翼と回転翼（シングルローター及びマルチローター）とがあります。日本では滑走路などの問題により、マルチローターが主流です。

回転翼（マルチロータータイプ）
静止飛行、小型日本で主流



UAV空中写真測量とは・・・

UAVから連続で撮影された空中写真を用いて測量を行う手法。複数の写真から3次元情報を取得します = **写真測量の原理**

TSやGNSSによる1点1点の測量と異なり、広範囲を短時間で撮影することで測量結果が得られるため、大規模な現場の作業工数の削減が図れます。



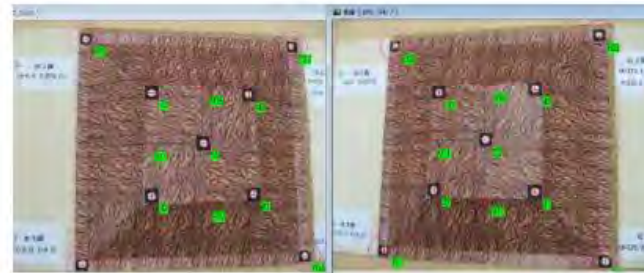
UAV 空中写真測量

2) UAV空中写真測量の仕組み

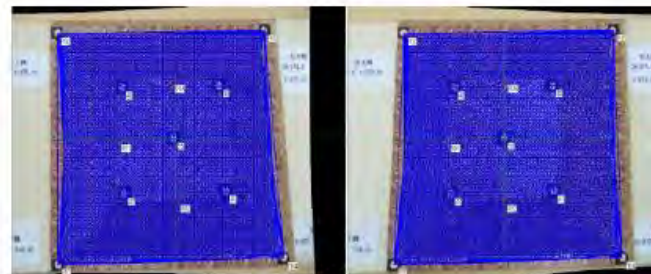
土工では現場の既知点に「**標定点**」を設置し、これを撮影範囲内に入れて撮影。複数の画像から得られる情報をもとに、対象の高低差を計算し、3次元形状を復元します。



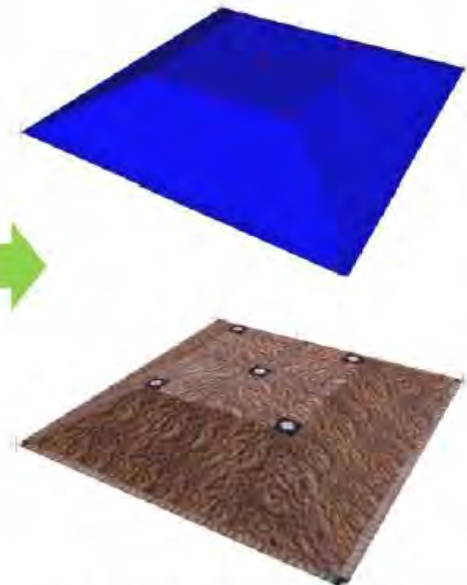
①座標が分かっている「標定点」を設置し、地表をカメラで撮影



②複数の画像に写った「標定点」を抽出し、カメラの位置と傾きを計算。



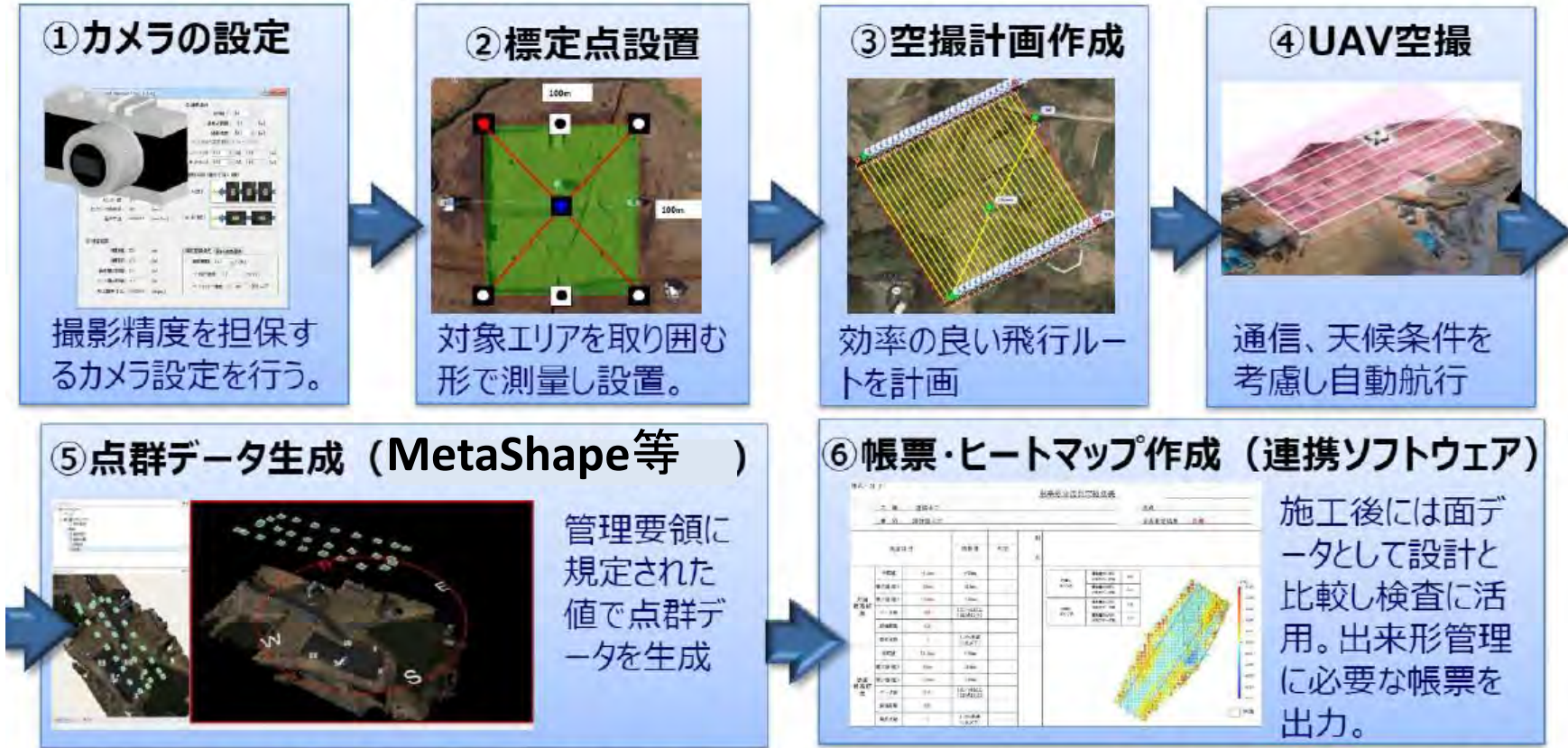
③対象の高低差を算出し、3次元点群データを作成。



④点群データから3次元モデル（現況）データを作成。

UAV 空中写真測量

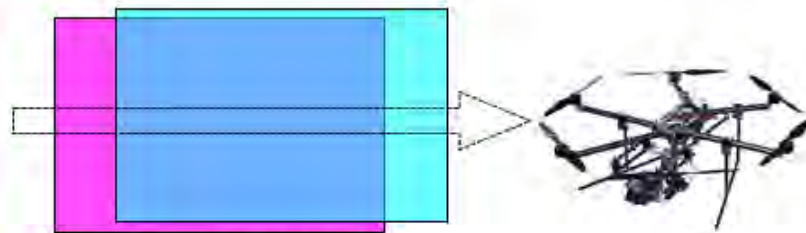
3) UAV空中写真測量の手順



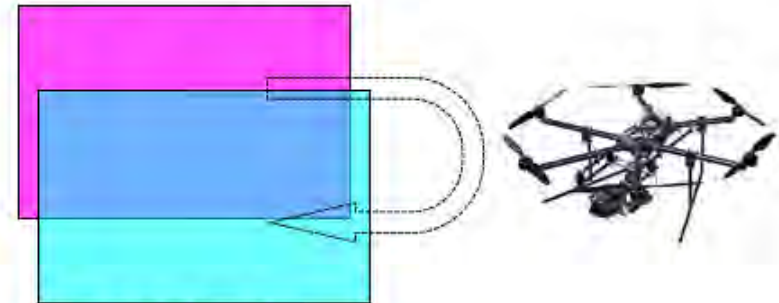
上記各手順で行う各種設定・クリアすべき基準は、「**空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）**」で定められています。出来形として認められる精度を保つための基準が示されており、その基準に則った測量を行う必要があります。

UAV 空中写真測量 (ラップ率)

点群データを求めるにはデジタル写真をステレオで撮影する必要がある。
ステレオ写真は
進行方向 90% or 80%以上 隣接コース 60%以上 ラップすること



90% or 80%以上
UAVの飛行速度と、
撮影間隔を決定



60%以上
レーン間隔決定

出来形管理要領の記載

- 1) 撮影計画立案時の留意点
進行方向のラップ率は、
実際のラップ率を確認しない場合、90%以上で計画すること。
実際のラップ率を確認する場合、80%以上とすること。
隣接コースとのラップ率は60%以上とすること。

UAVの飛行速度から、撮影間隔を求める
UAV写真測量等のソフトウェアを利用すると、
ラップ率はソフトウェア上で設定できるものがある。

UAV 空中写真測量 (標定点・検証点)

- 標定点とは・・・

画像から抽出する点群座標を
現地の座標系に関連付けるための
基準点

- 検証点とは・・・

撮影されたデジタル画像から求めた
点群データ座標の
精度を確認するための点
要求精度は5cm以内(出来形計測の場合)

標定点、検証点是对空標識を設置して、
計測後の画像データ上で判別出来るようにする
対空標識は、標定点・検証点と同じ中心位置、同じ高さで設置する

- 対空標識の例



★型



X型



+型



○型

四角の場合辺長、円形の場合直径が15画素以上とする
白黒を標準とするが状況により変更できる
標識は上空に向かって45度以上の視界を確保する
標識は地表面に設置



UAV 空中写真測量 (標定点・検証点)

2) 標定点及び検証点の設置・計測の留意点

計測精度を確保するための標定点の設置の条件は、以下を標準とする。

標定点は、計測対象範囲を包括するように、UAVマニュアルにおける外側標定点として撮影区域外縁に100m以内の間隔となるように設置するとともに、UAVマニュアルにおける内側標定点として天端上に200m間隔程度を目安に設置する。

● 配置例の参考図

国総研HPからダウンロード

国総研 検索

i-Construction



UAV 空中写真測量 (標定点・検証点)

● 標定点と検証点 (配置例)

空中写真測量(UAV)による出来型計測 標定点及び検証点設置例

2016.6.2 国総研

標定点・検証点設置の留意点

外部標定点: 撮影区域外縁に100m以内の間隔に設置

内部標定点: 天端上に200m間隔程度を目安に設置

検証点(外部・内部): 天端上に200m以内の間隔に設置

工種	施工面積		
	50x50m	50x200m	50x500m
盛土			
切土			

UAV 空中写真測量 (標定点・検証点)

エアロボマーカ



1. GNSS衛星電波受信機内蔵の対空標識
2. 設置して電源を入れるだけの、簡単操作
3. モバイルアプリとも連携
4. 測量機器としても利用可能
(公共測量準則に準拠した帳票出力可能)



UAV 空中写真測量（標定点・検証点）

令和2年3月改定

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）

2) 標定点及び検証点の設置・計測の留意点

計測精度を確保するための標定点の設置の条件は、以下を標準とする。

標定点は、計測対象範囲を包括するように、UAVマニュアルにおける外側標定点として撮影区域外縁に 100m 以内の間隔となるように設置するとともに、UAVマニュアルにおける内側標定点として天端上に 200m 間隔程度を目安に設置する。

標定点及び検証点の計測については、4級基準点及び3級水準点と同等以上の精度が得られる計測方法をとる。あるいは、工事基準点などの既知点からTSを用いて計測することができる。

また、SfM (Structure from Motion) の利用においてカメラ位置を直接計測できる手法（RTK、ネットワーク型RTK、PPK、自動追尾TS等）を併用する場合は、標定点の設置は任意とすることができる。

検証点については、UAVマニュアルにおける検証点として天端上に 200m 以内の間隔となるように設置する。標定点として設置したものと交互になるようにすることが望ましい。計測範囲が狭い場合については、最低2箇所設置する。精度確認用の検証点は、標定点として利用しないこととする。

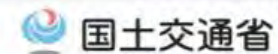
ただし、カメラ位置を直接計測できる手法のうち、自動追尾TSを利用する場合は、計測範囲内でTSから最も離れた位置に、1点検証点を設置することとする。

UAV 空中写真測量（標定点設置⇒任意）

令和2年3月改定

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）

Ⅱ. 産学官連携による基準作成の取組 ②-7.②-8

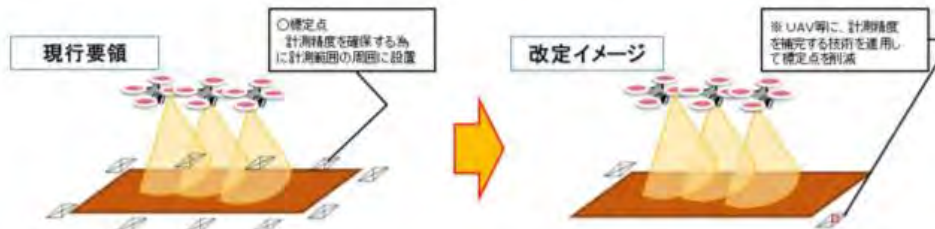


【空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）改定】

- ・空中写真測量に用いるUAV等の技術進展に伴う提案
- ・既存の出来形管理要領を改定

■改定概要

UAVの自己位置を高精度に把握する技術を導入した場合、地上標定点の設置を任意とし、検証点における精度確認のみとする改定



■改定の効果

- 空中写真測量実施時における省力化
- ・100m以内の間隔で配置している標定点の縮減または省略
- ・標定点の3次元座標計測作業の削減

■技術概要

自己位置を高精度に計測できるUAVを利用する事によって、写真測量SfM解析に用いる撮影位置を高精度に確定し、解析精度の向上を実現する技術

■構成機器（例）

- ・無人航空機
- ・自己位置測定装置（RTK、VRS、PPK、プリズム）

○自己位置の計測可能なUAV（例）



GNSSアンテナ搭載型



TSプリズム搭載型

UAV 空中写真測量 (標定点設置⇒任意)構成例

自己位置測定装置構成例 (RTK)



自己位置測定装置構成例 (プリズム)



自動追尾トータルステーションを用いてカメラ位置を直接計測し、確定することで、標定点を設置する必要がありません。

【Phantom4 RTK】



【TSトラッキングシステム】



UAV 空中写真測量 (標定点設置⇒任意)構成例

自己位置測定装置構成例 (RTK)

【Matrice300 RTK】



- ・DJI初のフルサイズセンサー搭載
4500万画素ジンバルカメラ
- ・フライト時間50分超
- ・レンズ中心の座標を認識するセンサー搭載

⇒リアルタイムの位置と方向を補正する技術と組み合わせることで、
精度の高いデータの取得が可能。
標定点がない場合でも、水平 3cm / 垂直 5cmと高い精度を実現。

【Zenmuse P1(2020年10月リリース)】



UAV 空中写真測量

4) UAV空中写真測量の留意点

【離着陸場所の選定】

- GNSS測位・電気・ネット環境が必須
- 平らで、周囲に障害物がない、砂埃が少ない。
- 変電所、高压電線、電波塔からなるべく離れる。
- 飛行ルートが風下側を選択する。
- 逆光は避ける。
- 飛行ルートがすべて見渡せるような場所を選ぶ。

【操縦不能になる条件】

- GNSS測位ができない
- 近くに強力な電解、磁界があり、電子コンパスが機能しない時
- 送信機の電波が届かない時
- バッテリ不良
- 突風発生時及び急激な降下時
- 山岳地帯で斜面上昇気流/下降気流の影響が大きいとき



UAV 空中写真測量

4) UAV空中写真測量の留意点

国交省

航空局 改正航空法におけるUAV飛行の規制化 2015年12月10日

飛行禁止空域

- 空港周辺
- 150m以上の上空
- 人家の密集地域

承認が必要な飛行



(夜間飛行) (目視外飛行) (30m未満の飛行) (イベント上空飛行) (危険物輸送) (物件投下)

飛行時の機体重量が、200グラム以下のものについては、模型航空機に分類され、一定の高度以上、空港周辺の飛行に関する法律のみが適用される。

地理院 (測量分野)

UAVを用いた公共測量マニュアル (2016.3)

作業規程の準則 第17条の適用

- ・空中写真測量 (従来の航空写真測量、数値地形図)
- ・三次元点群測量 (応用測量)

要求精度：数値地形6cm@1/250(検証点)
点群測量5cm(検証点、工事要求精度に依存)

国総研 (土木施工分野)

i-Construction政策：UAVによる出来形管理要領 (2016.3)

出来形管理の要求精度：±5cm以内

出来形管理要領をベースに起工測量や出来高算出へ応用

- ・起工測量：10cm以内、・出来高部分払い算出：20cm

使用可能なソフトの仕様を規定

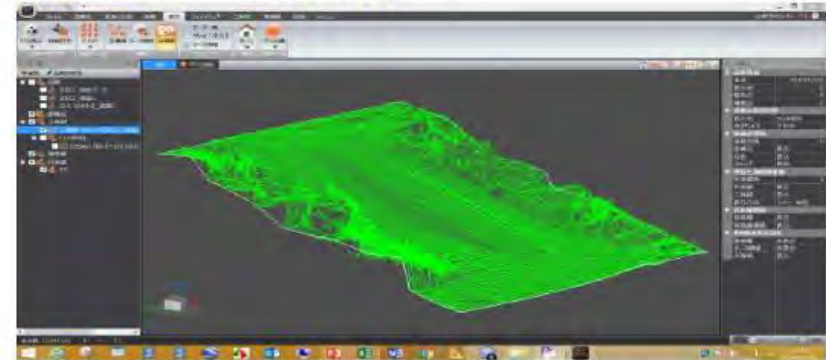
点群データ

1) 点群データの利用

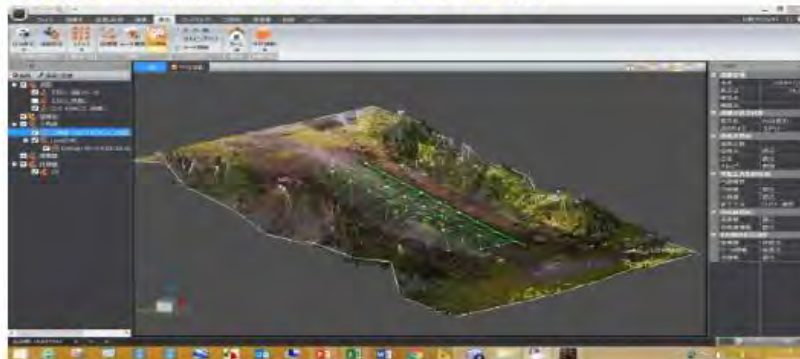
① 現況の3次元点群データを編集



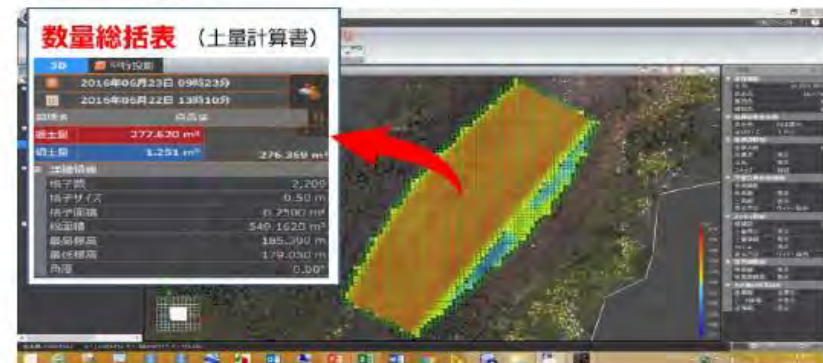
② 設計面データの作成



③ 現況面と設計面データの比較



④ 土量計算



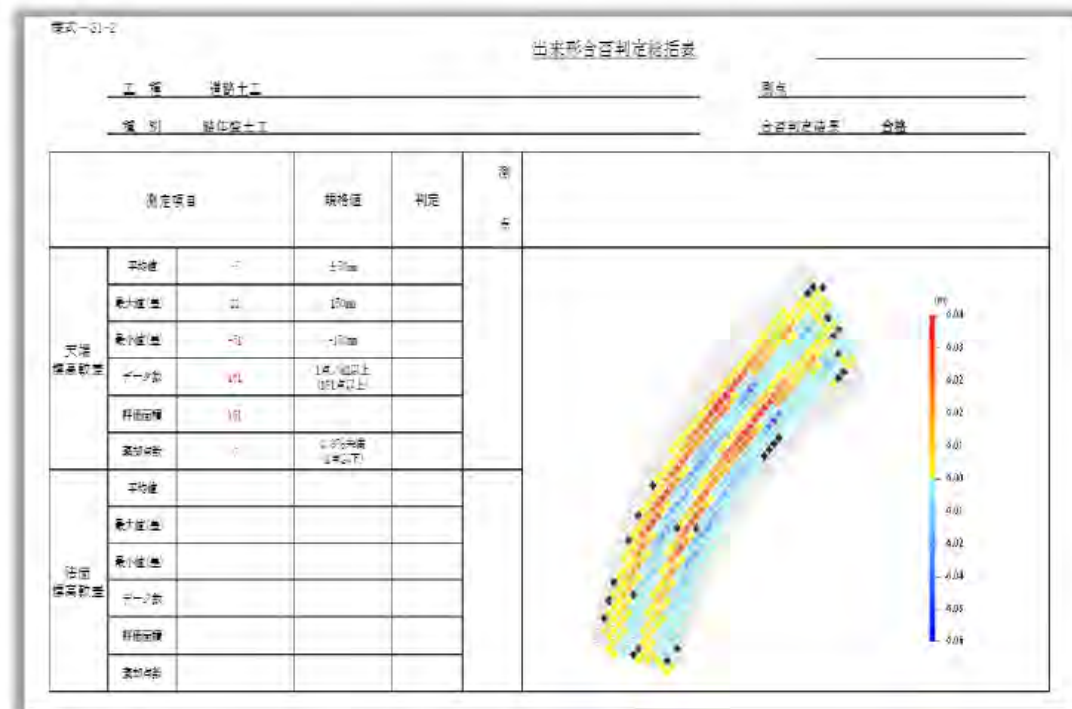
UAV、スキャナで取得した点群データを設計データと比較して、土をどれだけ動かす必要があるか、**土量計算**を行い、切土・盛土の量が数値で示されます。
(画面は福井コンピュータ「TREND-POINT」)

点群データ

2) 出来形計測

ヒートマップと評価／計算結果の数値表示

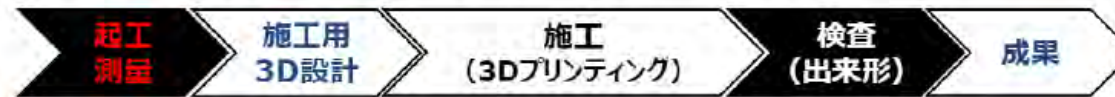
出来形点群と設計の差異が規格値に対してどの程度収まっているかをグラデーション（段彩）で表現し、3Dで確認します。平均値や最大値、最小値、データ数、評価面積や棄却点数等、出来形管理要領で求められる評価情報を画面上で確認します。



出来形管理要領に対応した帳票を作成し、出力します。

点群データ

3) 出来形における要求精度と点群の密度



レーザースキャナ

工種別	要求精度	点群密度・メッシュ
起工測量	10cm以内	0.25㎡ 50cm×50cm
岩線計測	10cm以内	0.25㎡ 50cm×50cm
部分払い用出来高計測	20cm以内	0.25㎡ 50cm×50cm
出来形計測	±5cm以内	評価 1㎡ 1m×1m 計測 0.01㎡ 10cm×10cm

点群処理はソフトウェアを使用して、**ノイズや範囲外点群の削除**と、**密度変更によるデータの間引き**という手順で行うこととなる。

UAV

工種別(土工)	要求精度 精度確認	地上画素 寸法	点群密度・メッシュ
起工測量	10cm以内	2cm/画素	0.25㎡ 50cm×50cm
岩線計測	10cm以内	2cm/画素	0.25㎡ 50cm×50cm
部分払い出来高	20cm以内	3cm/画素	0.25㎡ 50cm×50cm
出来形計測	±5cm以内	1cm/画素	0.01㎡ 10cm×10cm

UAV空中写真測量出来形管理要領、レーザースキャナ出来形管理要領では、利用シーンに応じて左記のように必要な密度を規定しています。

スキャナー・UAV それぞれの特性

	判断要素	UAV写真測量		レーザースキャナ	
一般	持ち込み機材	○	多い 機体、プロポ、カメラ、対空標識、TS、三脚	◎	少ない 機械、ターゲット、三脚
	計測準備 (事前準備)	△	非常に多い (TSトラッキングを除く) 基準点測量、対空標識設置、 カメラ設定、飛行計画作成、 飛行前点検	○	少ない 基準点測量、ターゲット設置
	計測作業	◎	短時間 UAV撮影 (15分/1flit)	△	長時間 (盛り替え数による) スキャナ、ターゲットスキャン (15分/1scan)
	専門知識 経験	△	必要 UAV操縦、写真測量	○	不必要 機械操作 (TS測量の知識のみ)
	点群解析	△	画像解析後に点群生成 画像ファイル、機体ログファイル、基準点 データ、シャッターログ (TSトラッキングの 場合)	◎	点群をダイレクトに取得 (レジストレーションのみ) 点群データ、画像データ、基準点データ
	対外的安全性	△	墜落による事故は100%可否出来ない	○	対外的に危害を加える事はない
	作業員安全性	○	飛行中は安全	△	重機の近隣での作業が発生

スキャナーとUAVの特性を見極め、現場にマッチした器械を用いることで計測作業の効率化が図れます。

スキャナー・UAV それぞれの特性

判断要素		UAV写真測量		レーザースキャナ		
計測	範囲	◎	広い 数回のフライトで計測可能	△	狭い 広範囲の場合、複数回の盛り替えが必要	
	対象物	地表面	◎	広範囲を一律精度で計測可能	○	レーザ入射角の関係で精度担保可能な計測範囲が狭まる
		法面	○	撮影計画に依存	◎	非常に有効
		壁面	△		◎	非常に有効
		構造物	×		◎	非常に有効
	状況	伐採前	×	地表面が計測できない	○	点群密度は減少するが、地表面の計測は可能
		伐採後	◎	非常に有効	○	広範囲の場合、盛り替え回数が増加
		樹木・草地	×	SfM解析が掛からない場合あり	○	風等で対象物に動きが無ければ有効
		単色地	×	SfM解析が掛からない場合あり	○	計測上の問題なし (ただし、黒色は例外)
	環境	降雨時	×	計測不可	○	濡れなければ計測可能
		強風時	×	計測不可	○	対象物が動かなければ計測可能
		降雪時	×	計測不可	△	雪質による
	制限	法的制限	×	航空法に準拠する必要あり	◎	特に制限なし