

汎用型UAVを用いた港湾構造物の出来形計測

2025年 3月

一般社団法人 海洋調査協会

説明にあたっての注意事項

- ※ 以降の説明は、現時点での「汎用型UAVを用いた港湾構造物の出来形計測」の利用についての一例を示したものであり、**使用する機器やソフトウェアの作成方法等を規定するものではありません。**

目次

1. 汎用型UAVを用いたUAV写真測量の概要
2. UAV写真測量の作業手順

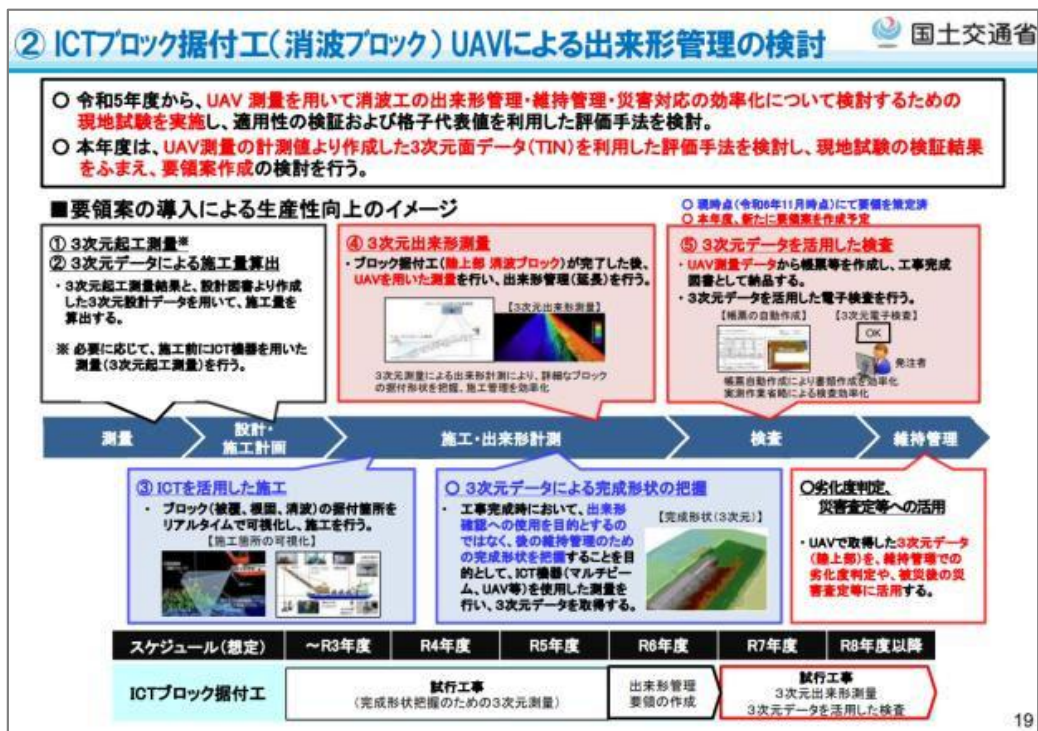
目次

1. 汎用型UAVを用いたUAV写真測量の概要

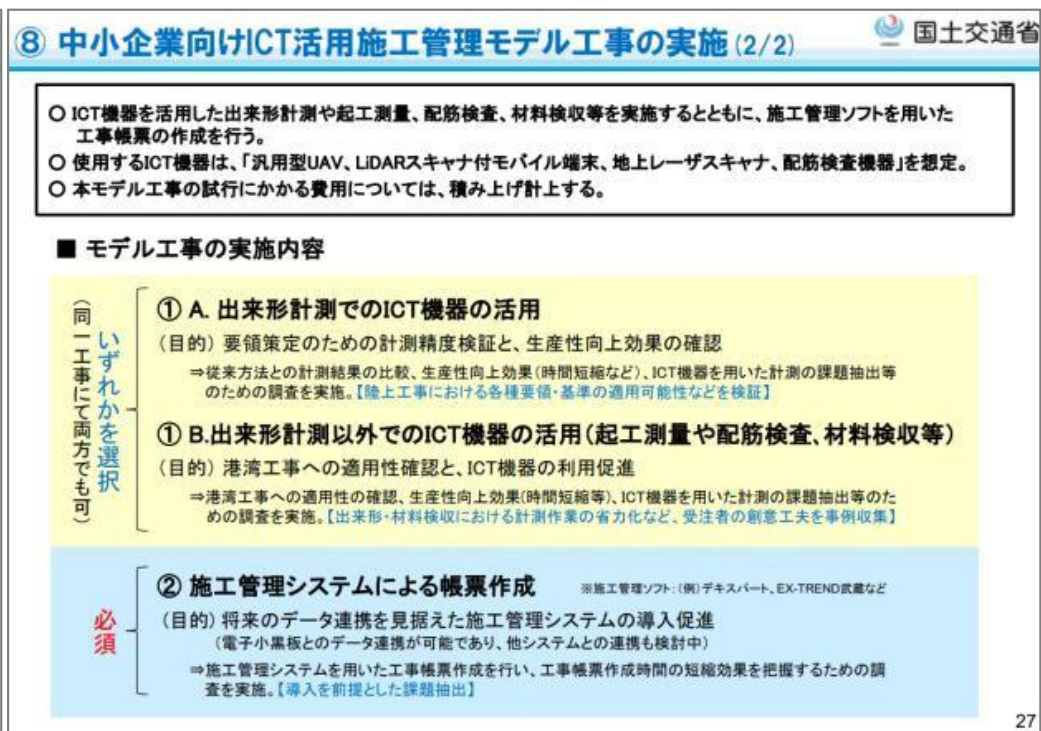
2. UAV写真測量の作業手順

港湾における汎用型UAVの利用に係る施策

- 現在、国土交通省港湾局の「中小企業向けICT活用施工管理モデル工事」においては、**ICT機器を活用した出来高計測や起工測量等で使用する機器の1つとして汎用型UAVの活用**があげられている。
- また、ブロック据付工においては、R5年度からUAV測量による出来形管理・維持管理・災害対応の効率化について検討され「**ICT機器を用いた測量マニュアル(ブロック据付工編)**」が公開され活用が推進されている。



19

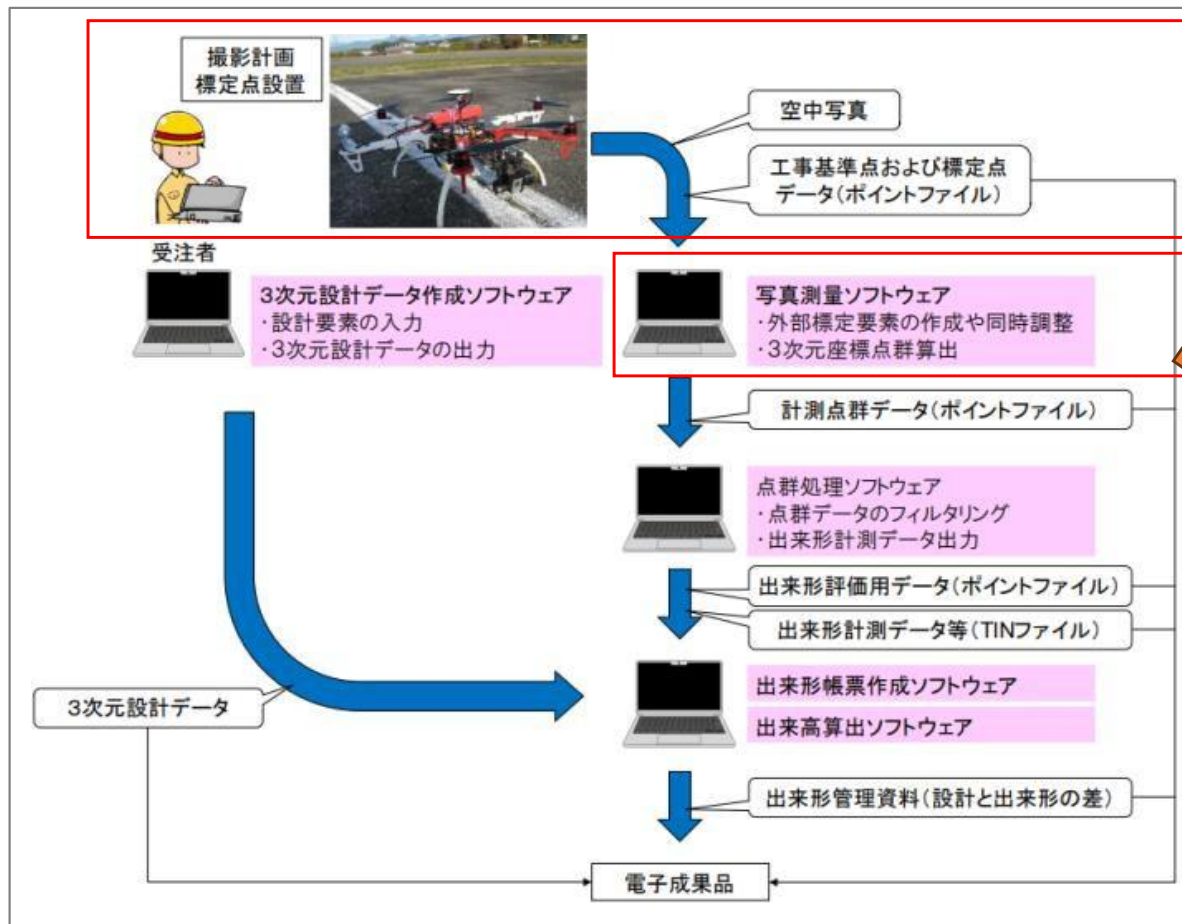


27

引用「港湾におけるi-Construction-インフラDX推進委員会 第一回委員会説明資料」(R6年11月26日国土交通省港湾)

UAV写真測量

- UAVによる写真測量は、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」に手順が示されている。
- ここでは、汎用型UAVによる3次元計測として、デジタルカメラ一体型の小型UAVを用いてデータ収集し、写真測量ソフトウェアを用いて、3次元点群を算出するパートを説明する。



引用 DJI社HPより



引用 PIX4D社HPより

汎用型UAV



マルチコプター	回転翼	固定翼
垂直離着陸 ホバリング可	垂直離着陸 ホバリング可	水平離着陸 広いエリアが必要 ホバリング不可
飛行速度 中速度	飛行速度 中速度	飛行速度 高速度 長距離飛行

小型機	産業機
カメラ一体型	多種センサ搭載
重量 1.4kg	重量 9.2kg 最大離陸重量
最大飛行時間 約30分	最大飛行時間 約30分 最大2.7kg搭載
サイズ 350mm(対角寸法)	サイズ 810x670x430mm

【注意】

- 無人航空機の情報通信機器としての性格を踏まえ、飛行・撮影情報の外部への漏洩といった、サイバーセキュリティ上の懸念について、十分な対応策を講じることが必要である。

- ✓ 業務委託した民間企業等が使用する無人航空機についても、取り扱う情報の機微性や業務の性質に応じて、以下に掲げるような情報流出防止策を講じる。
 - ア) インターネットへの接続については、ソフトウェアアップデート等に必要な最小限度とし、飛行中は接続しない。
 - イ) インターネットに接続する場合も、データが流出しないよう、撮影動画等のクラウドへの保存機能を停止する、機体内部や外部電磁的記録媒体に保存されている飛行記録データや撮影動画等を飛行終了後確実に消去するなどの措置を講じる。



国産小型ドローン 蒼天

UAV運用に関する関係法令

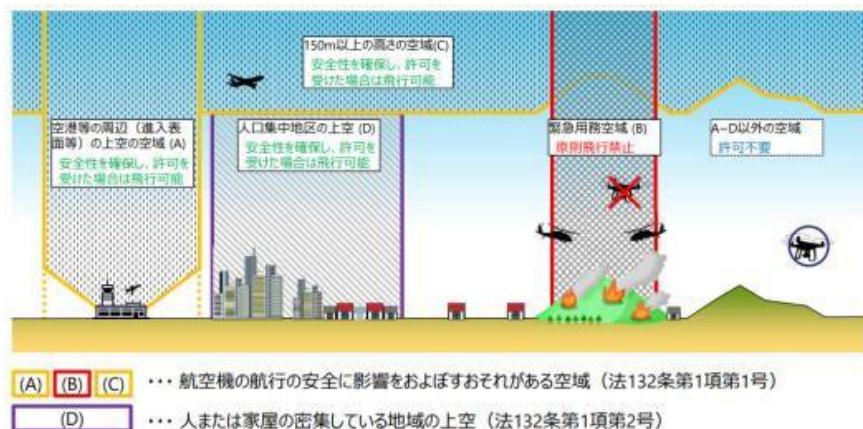
【無人航空機の登録を義務化】

- 100g以上の無人航空機は登録が必要
- 登録記号は無人航空機に鮮明に表示が必要
- リモートID機能を機体に備える必要



【飛行空域の確認】

- 特定飛行の空域は「空港等の周辺の上空の空域」「緊急用務空域」「150m以上の高さの空域」「人口集中地区の上空」である
- 加えて、小型無人機等飛行禁止法において、重要施設及びその周囲おおむね300mの周辺地域の上空の飛行が禁止されている



【飛行レベルの確認】

- レベル1は目視内での操縦飛行、レベル2は目視内での自立飛行、レベル3は無人地帯での目視外飛行、レベル4は有人地帯での目視外飛行を指す



【飛行方法の確認】

- 特定飛行の飛行方法は「夜間での飛行」「目視外での飛行」「人又は物件と距離を確保できない飛行」「催し場所上空での飛行」「危険物の輸送」「物件の投下」である



「無人航空機登録ポータルサイト」より引用

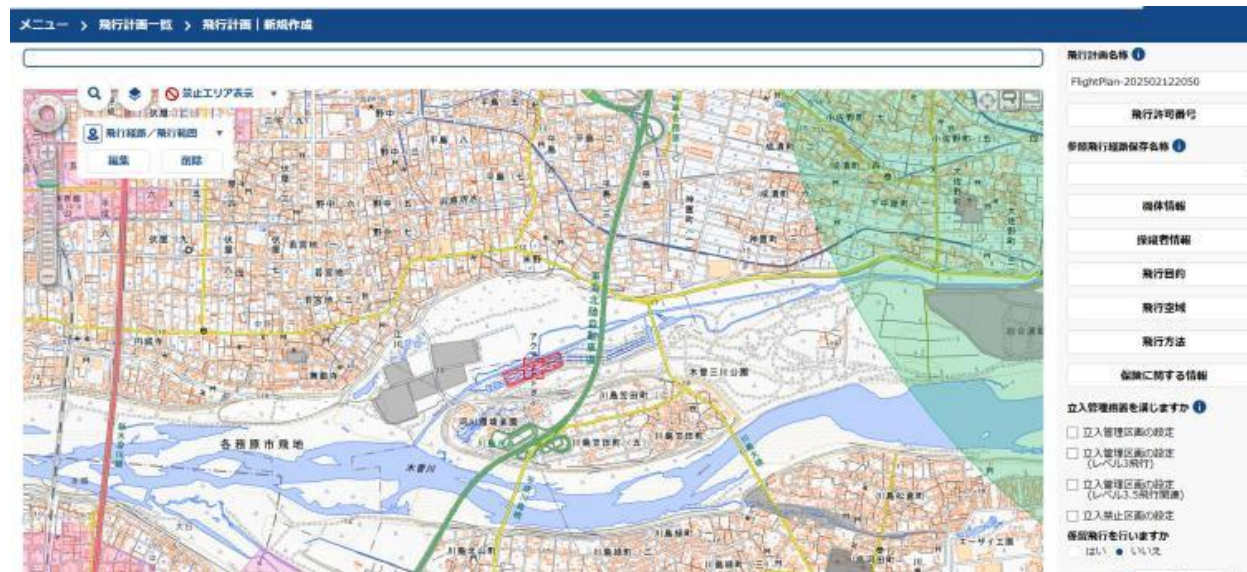
UAV運用に関する関係法令

ドローン情報基盤システム(DIPS2.0)

<https://www.ossportal.dips.mlit.go.jp/portal/top/>

国土交通省が提供するオンラインプラットフォームで、UAV(ドローン)の飛行に関する各種手続きを行うことができる

- 機体登録: 100g以上のドローンの登録手続きを行い、登録記号を発行する
- 飛行許可・承認申請: 特定飛行に関する許可や承認をオンラインで申請
- 飛行計画の通報・確認: 他の無人航空機の飛行計画や飛行禁止空域を確認し、自らの飛行計画を通報することができる
- その他、機体認証、技能証明の取得手続き、事故発生時の手続きができる

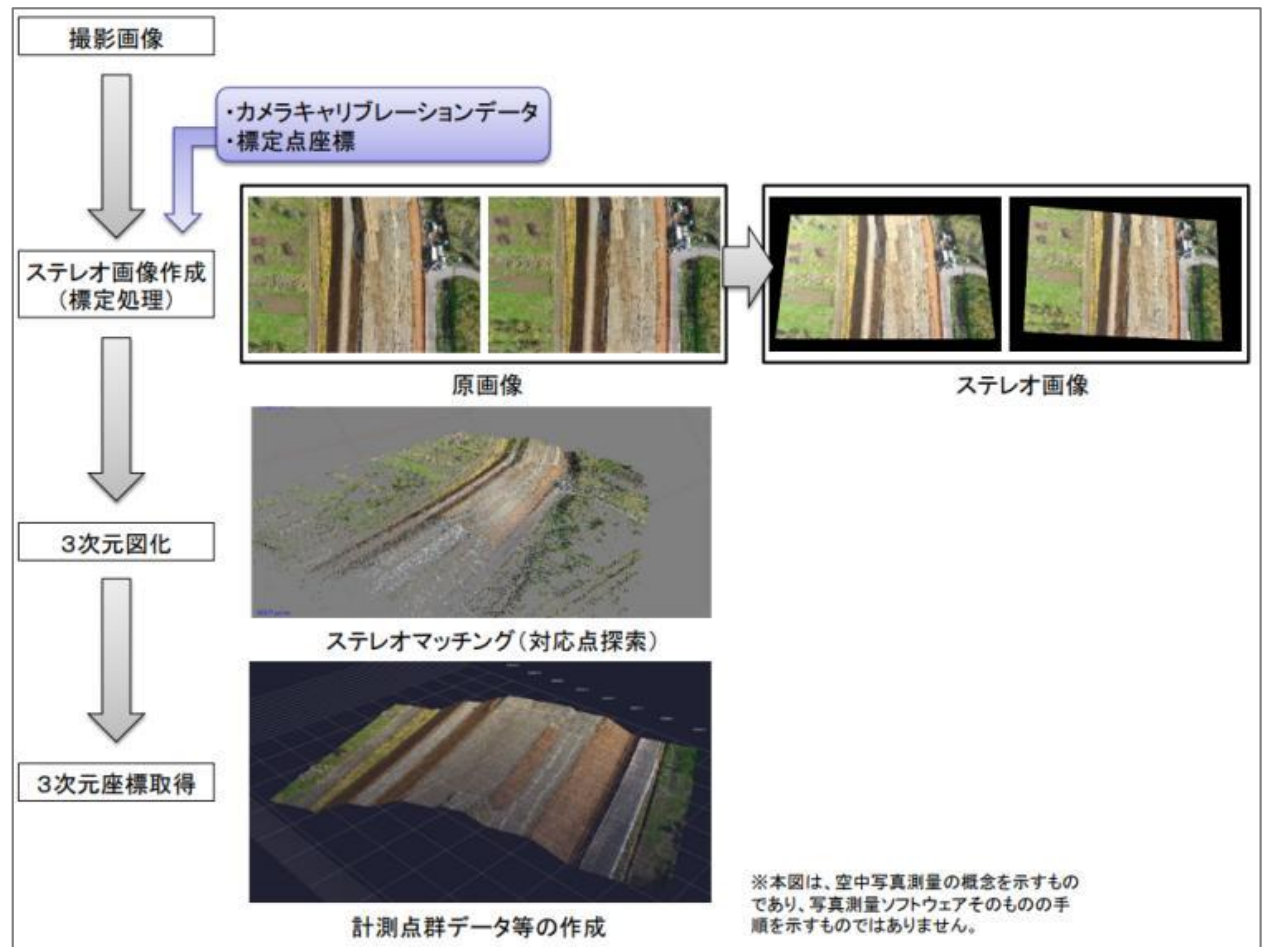


「ドローン情報基盤システム2.0」より引用

- 無人航空機
飛行マニュアル
- (空港等周辺・150m 以上・DID・夜間・目視外・30m・催し・危険物・物件投下)
- 場所を特定した申請について適用
- 運航者名：_____
- 国土交通省航空局標準マニュアル①（令和4年12月5日版）

写真測量ソフトウェア

- 写真測量ソフトウェアは、撮影した空中写真及び標定点の座標やカメラキャリブレーションデータを用いて、空中写真測量の原理及び同時調整作業の内部処理によりステレオモデルを構築し、地形、地物等の座標値を算出する。
- 計測点群データは、ソフトウェアがほとんど自動で生成できる。
このため、作業計画や手順をしっかりと実施していくことが重要となる。



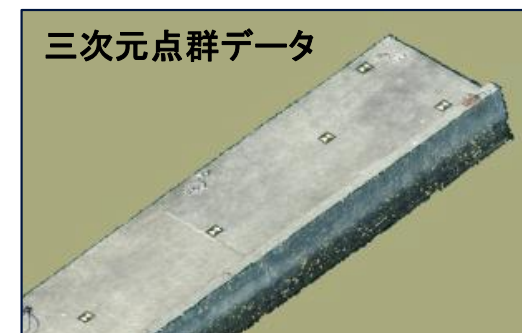
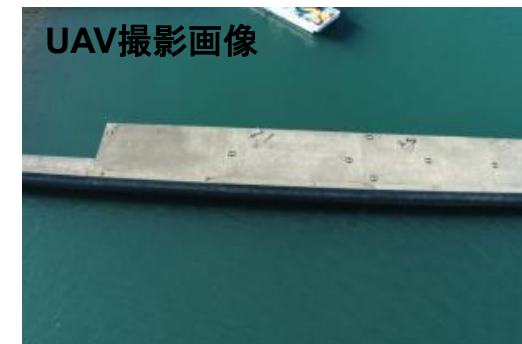
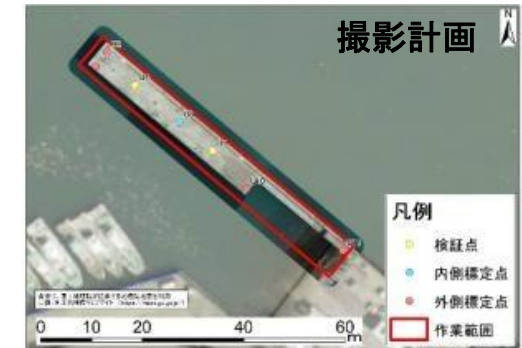
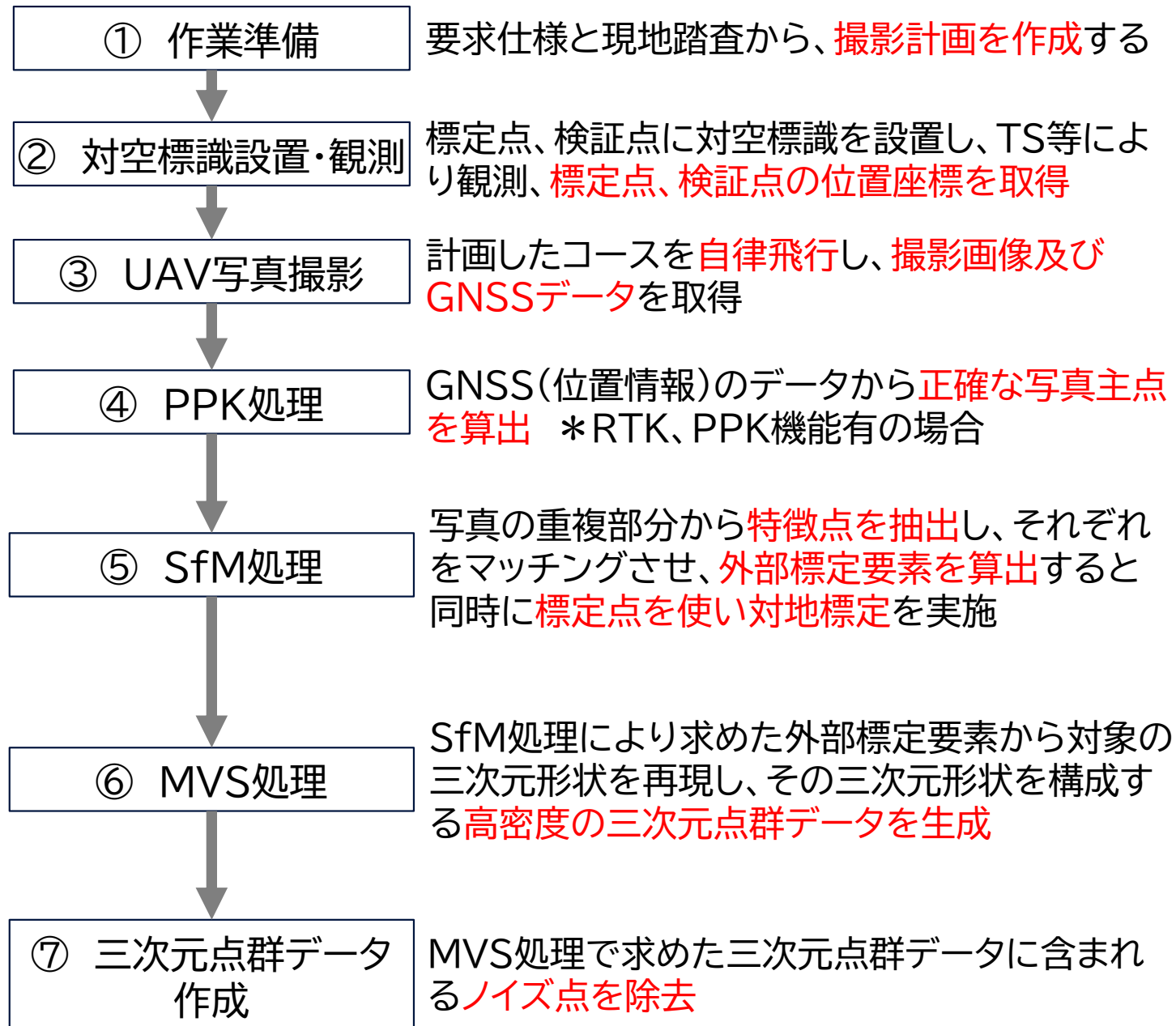
引用「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)R6.3.31改定」

目次

1. 汎用型UAVを用いたUAV写真測量の概要

2. UAV写真測量の作業手順

UAV写真測量の作業手順



使用機材とソフトウェア例

【使用機材】

- DJI製Phantom4RTK
- 様々な用途に広く使われている小型機Phantom4シリーズの1つ
- RTK(リアルタイムキネマティック)機能や後処理キネマティック機能を有しており、正確な軌跡を算出



Phantom4RTK機器仕様

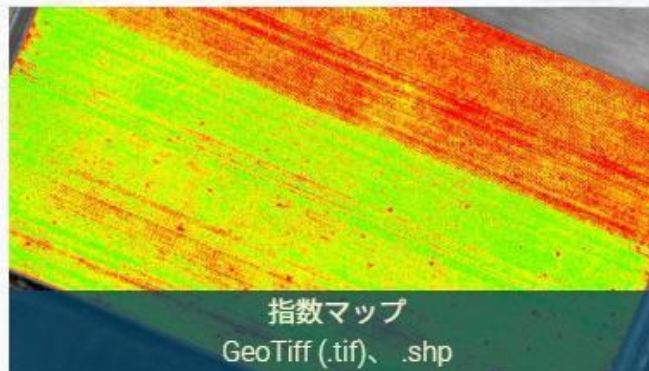
機体重量	1,391g
対角寸法	350mm
ビジョンシステム	有り
センサ	1インチCMOS 有効画素数:20 M メカニカルシャッター
レンズ	視野角:84° 焦点距離:8.8 mm/24 mm判換算
静止画サイズ	5,472 × 3,648pixel(3:2)
写真フォーマット	JPEG
RTK位置精度	垂直 :1.5 cm + 1 ppm(RMS) 水平: 1 cm + 1 ppm(RMS)

DJI 製品HPより引用

使用機材とソフトウェア例

【使用ソフトウェア】

- PIX4D製 PIX4DMapper
 - UAVマッピングで広く利用されるフォトグラメトリ(写真測量)ソフトウェア
- オルソモザイク(正射投影画像)、DSM(数値表層モデル)、点群データ、3Dメッシュなど、さまざまなデータを生成する。測量、建設、農業、防災など多岐にわたる分野で活用されており、高精度なデータ処理と分析が可能

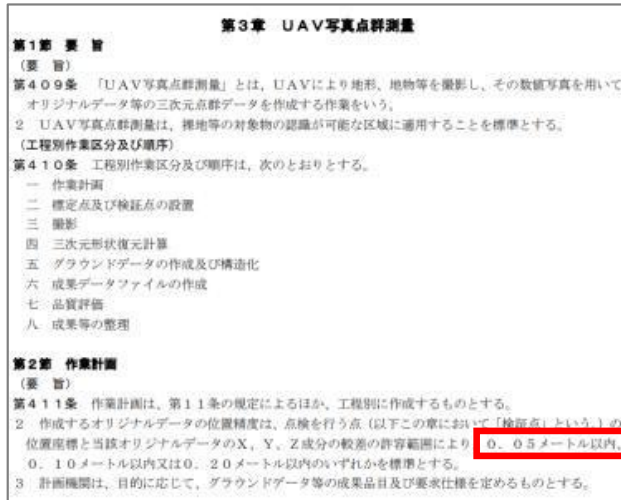


PIX4D 製品HPより引用

① 作業準備

□ 要求仕様と現地踏査から、撮影計画を作成する

要求仕様 測定精度: $\pm 5\text{cm}$ 以内



第2編 土工編
第4章 3次元計測技術の計画・実施と成果管理
多点計測技術（面管理の場合） 空中写真測量（UAV）

② UAV（無人航空機）

受注者は、撮影計画を満足する揚重能力及び飛行時間を確保できる機体を使用すること。
また、航空機の航行の安全確保のために、航空法に準拠して飛行計画を立案するとともに、航空法に基づく飛行許可申請のために作成した飛行マニュアルを施工計画書の添付資料として提出すること。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。

③ デジタルカメラ

受注者は、出来形管理用に利用するデジタルカメラ本体が下記⑤に示す計測性能と同等以上の計測性能を有するとともに、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（センサーの清掃及び機能確認等などの）を実施すること。

④ ソフトウェア

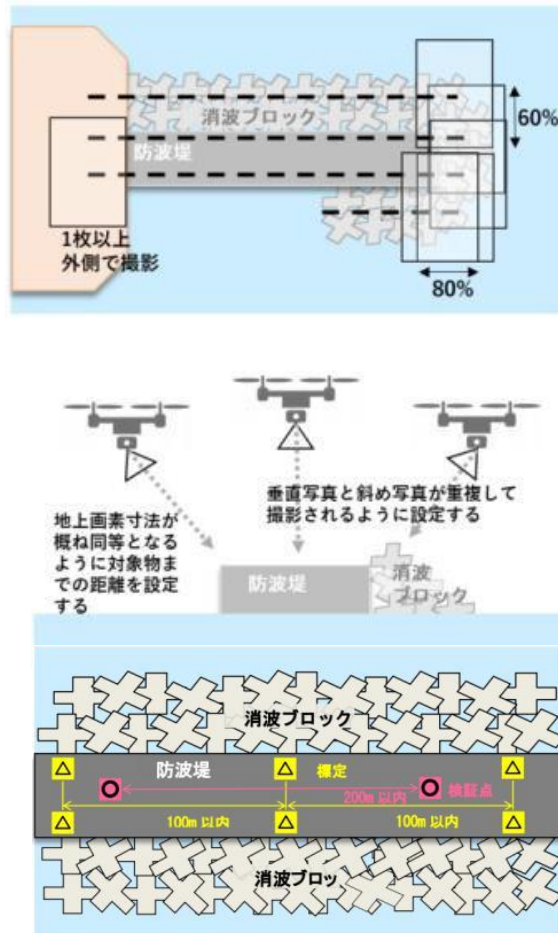
受注者は、施工計画書に使用するソフトウェア（ソフトメーカー、ソフトウェア名、バージョン）を記載する。カタログや仕様書は不要である。

⑤ 必要な計測性能及び測定精度

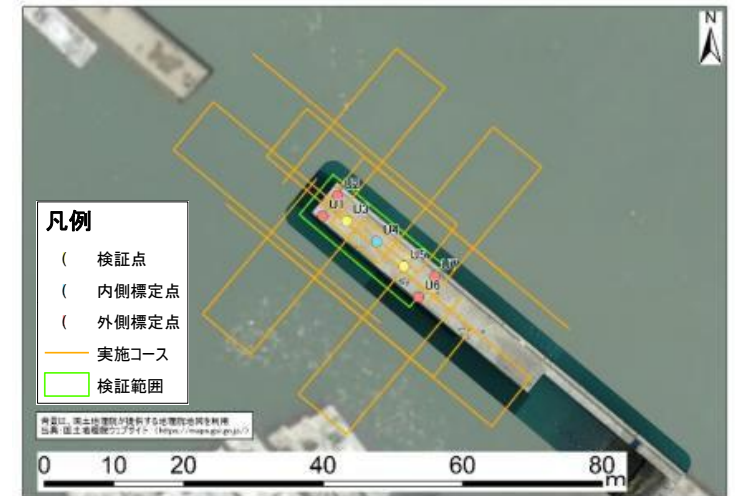
計測性能：地上画素寸法が $10\text{mm}/\text{画素}$ 以内（出来形計測の場合）
測定精度： $\pm 50\text{mm}$ 以内・・・精度確認試験を行うこと。

なお、地上画素寸法は、現場精度確認において必要な測定精度を確保することが確認できる場合は、任意の地上画素寸法にて計測してもよい。

作業マニュアル 撮影方法、精度管理



撮影計画の立案



撮影計画

設定解像度	8mm
対地高度	30m
オーバーラップ(OL)	90%
サイドラップ(SL)	80%
計測時間	8分
撮影枚数	204枚

引用「作用規程の準則」、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」、「ICT機器を用いた測量マニュアル(ブロック掘付工編)」

撮影計画ツール

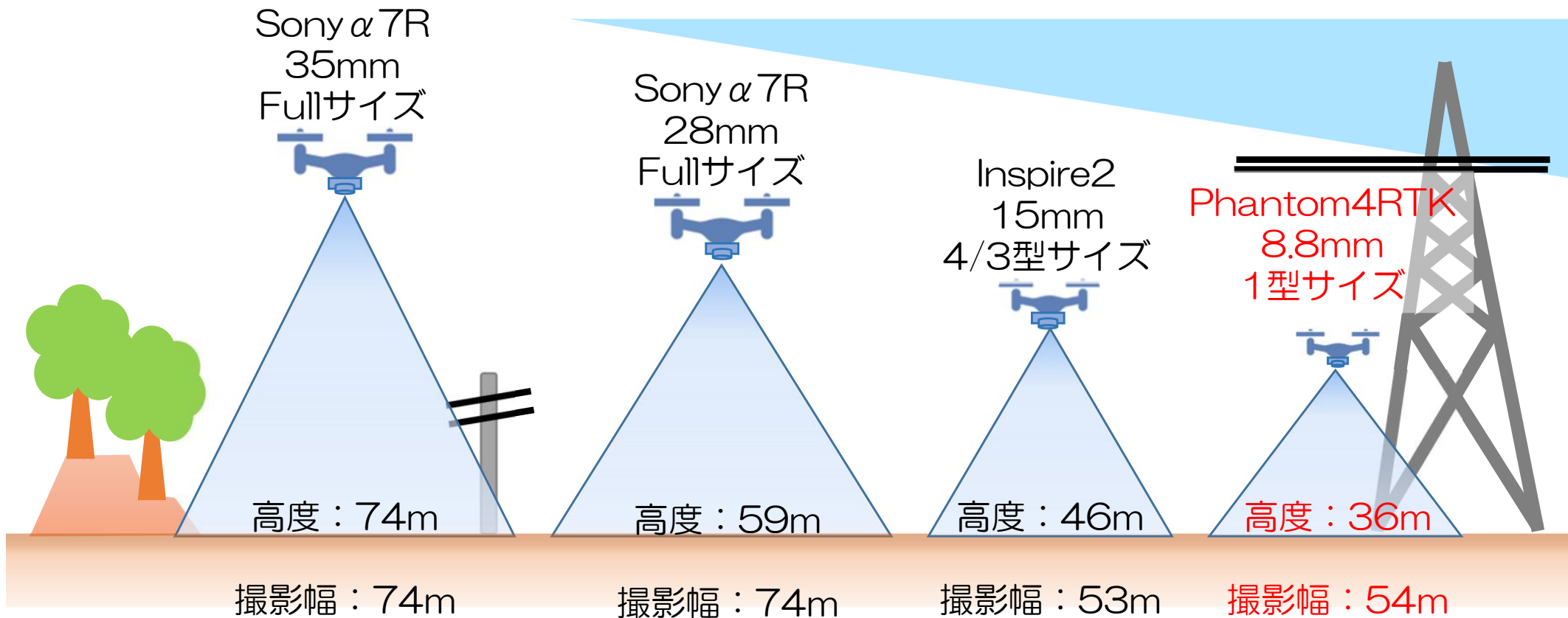
- カメラの機器仕様をあらかじめ設定しておく
- 要求仕様等で規定されている地上画素寸法、ラップ率を入力する
- 地図上で計測範囲を設定する
- 計測範囲と仕様から自動で飛行コースを作成する
- コース位置や対地高度等の修正が必要な場合は修正を行う
- 計画データをフライトソフトへ転送し、自動飛行を行う

計画	
面積	497.7 m ²
コース数	11
標定点	5
検定点数	2
UAV	Phantom4Pro1号機
カメラ	Phantom4Pro
レンズ	Phantom4Pro
GSD	0.5 cm
FOL	80 %
SOL	60 %
飛行速度	1.8 m/s
	6.5 km/h
シャッター間隔	2.0 秒
対地高度	18.3 m
コース延長	649 m
発着点標高 (海抜高度)	0 m
主点数	196
フライト時間	00:09:01
備考	

The screenshot displays the flight planning software interface. On the left, a tree view shows the project structure: 'ブロック' (Block) containing '計画範囲' (Planning Area) with 'エリア1' (Area 1) and 'フライトライン' (Flight Line) with points C-2 through C-11. Below this are '外側標定点' (Outer Reference Points) T01-T04, '内側標定点' (Inner Reference Points) I01, '検定点' (Check Points) V01-V02, and '発着点' (Takeoff/Landing Point) B01. The main map area shows an aerial view of a coastal area with a flight path overlaid in green and red lines. On the right, a '設定' (Settings) panel shows 'ブロック名' (Block Name) as 'PH0545'. Below it, '情報' (Information) includes: 'コース延長' (Course Length) 649m, '飛行時間' (Flight Time) 00:09:01, 'コース数' (Course Count) 11, '外側標定点' (Outer Reference Points) 4 points, '内側標定点' (Inner Reference Points) 1 point, '検定点' (Check Points) 2 points, 'UAV' Phantom4Pro, 'カメラ' Phantom4Pro, 'レンズ' Phantom4Pro, 'GSD' 0.500cm, 'FOL' 80%, 'SOL' 60%, '速度' (Speed) 1.8m/s / 6.6km/h, 'シャッター間隔' (Shutter Interval) 2秒, '対地高度' (Altitude) 18.3m, '発着点標高' (Takeoff/Landing Point Elevation) 0.0m, '標高(MAX)' (Elevation MAX) 2.0m, '標高(MIN)' (Elevation MIN) 0.8m, '標高(平均)' (Elevation Average) 1.5m, '写真枚数' (Number of Photos) 196枚, and '面積' (Area) 497.70 m².

撮影高度、カメラスペック、地上画素寸法の関係

- 地上画素寸法1cmと設定した時の焦点距離の違いによる対地高度の違い



② 対空標識設置・観測

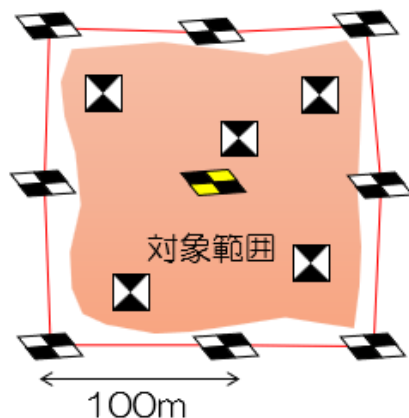
- 標定点、検証点に対空標識を設置し、TS等により観測、標定点、検証点の位置座標を取得

➤ 観測方法

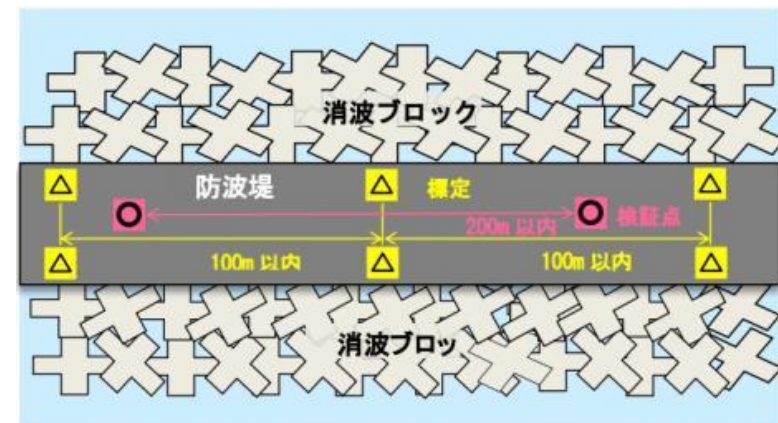
- TSによる放射法
- RTK（リアルタイムキネマティック）法
- GNSSによるキネマティック法
- ネットワーク型RTK法

➤ 位置精度における計測手法

位置精度	主な適用作業	標定点及び検証点の観測方法
0.05m	出来形管理(出来形計測)	TSを用いた測量のみ
0.10m	工事測量(起工測量/岩線計測)	TSを用いた測量または GNSS測量が可能
0.20m	工事測量(部分払い用出来高計測)	



- 外側標定点
- 内側標定点
- 検証点



引用「作用規程の準則」、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」、「ICT機器を用いた測量マニュアル(ブロック据付工編)」

対空標識の規格

□ 対空標識の規格(模様)



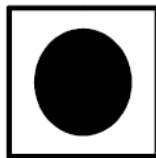
★型



X型



+型



○型



□ 対空標識の規格(色調)

出典：作業規程の準則

□ 対空標識の規格(寸法)

地上画素寸法	1cm	2cm	3cm
30cm四方			
15cm四方			

写真上に15画素以上写ること

③ UAV写真撮影

□ 計画したコースを自律飛行し、撮影画像及びGNSSデータを取得

➤ デジタルカメラの性能

- 単焦点レンズで露出時間、絞り、ISO感度など各種設定ができる
- 撮像素子サイズや記録画素数などカメラの諸元がわかる
- 画像のExifから焦点距離やシャッター速度などの情報が読み取れる
- 計画した写真枚数が保存できるように、十分に記憶容量がある
- 書き込み速度を事前に確認



➤ 撮影飛行

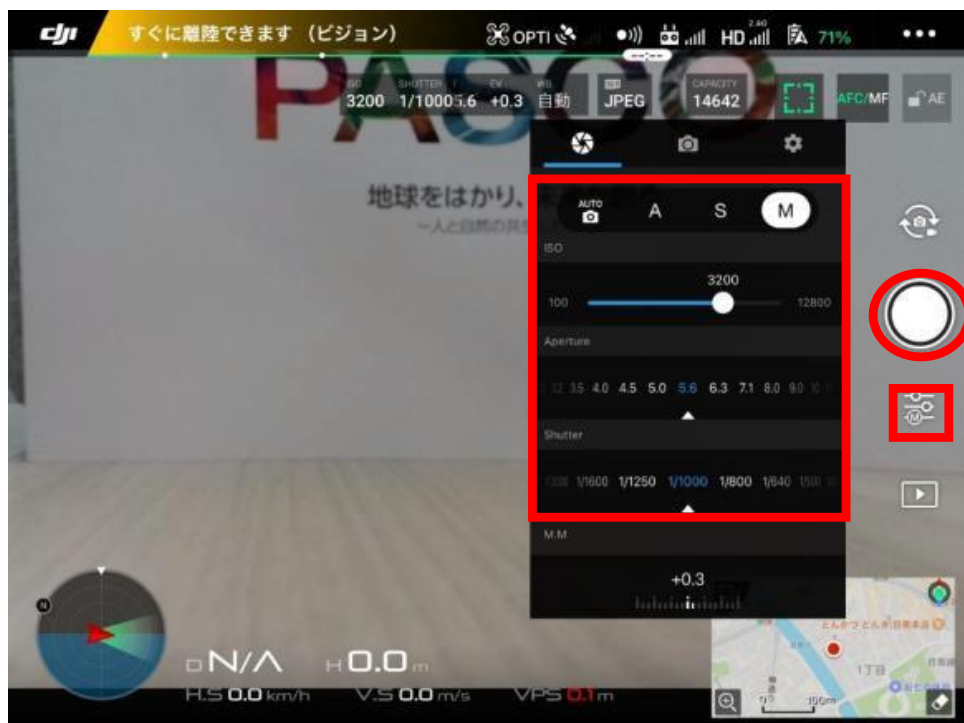
- 計画対地高度に対する実際の飛行の対地高度のズレの許容範囲は10%以内
- 自立飛行で撮影を行う
- 撮影飛行中にUAV機器に異常が見られた場合は、ただちに撮影飛行を中止する

➤ 撮影結果の点検

- 撮影範囲の網羅性隠蔽部の有無
- 標定点が明瞭に写っているか
- 画像重複度などの撮影全体を点検
- 写真のボケ、ブレ、ノイズといった写真の品質を点検

カメラの設定

- 静止画はマニュアルで撮影するため、「ISO」「絞り」「シャッター速度」を設定する
- 垂直写真撮影は一定間隔でシャッターを切るため、タイマー設定し、インターバル撮影を行う
- フォーカスは画面上で焦点をあてたい部分をタップする
- 撮影開始、停止は右側の○アイコンをタップする

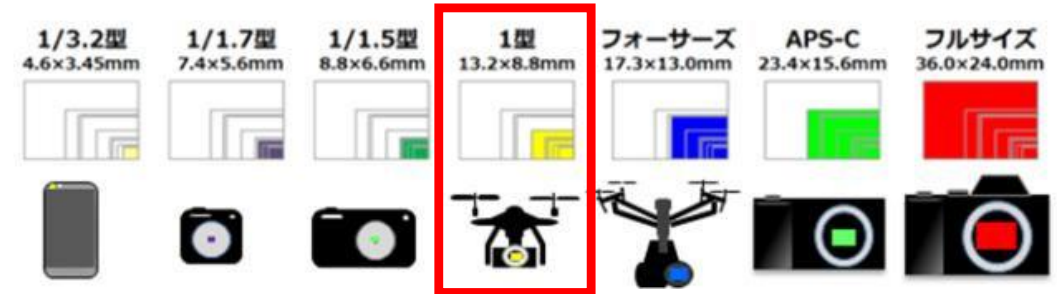


カメラのいろいろ

➤ UAV写真点群測量で利用されるデジタルカメラ

➤ シャッター方式

- … CMOSとCCD形式があり、消費電力が少ないCMOSが主に使用されているが、CMOSセンサの場合、同時露光に難があり、順次露光のローリングシャッターとなる。



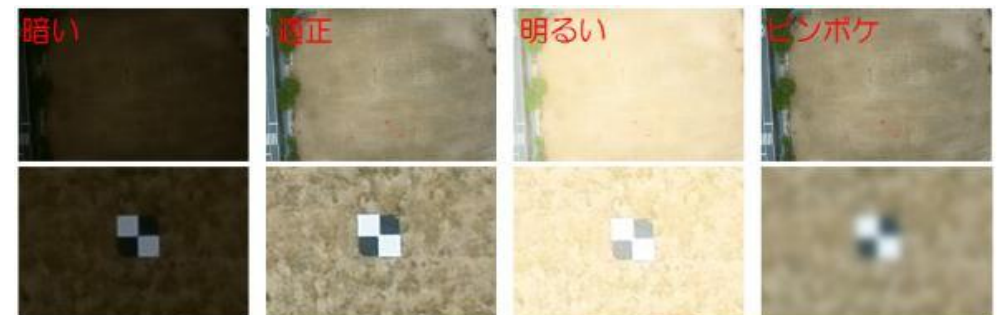
グローバルシャッター（同時露光）



ローリングシャッター（順次露光）



- 適切な写真を撮影するために
 - シャッター速度 → ブレを少なくするため速いほうがよい
 - 絞り → 遠近のある対象は、被写界深度に注意が必要
絞り値を大きくし被写界深度を幅広くとる
 - ISO感度 → 感度を上げればノイズが増えるため注意
 - 画像記録 → 白とび、黒潰れのおそれ
圧縮する場合、圧縮率や地物に注意する
 - 補正機能をオフ → 手ぶれ補正や歪み補正の
自動補正機能は使用しない
 - 最大サイズ、元画像を使用
→ リサイズ、トリミング、回転はNG



【参考】④ PPK処理

- GNSS(位置情報)のデータから正確な写真主点を算出
*RTK、PPK機能有の場合



Phantom4Pro
GNSSは単独測位

☞ 多くの標定点（対空標識）
が必要



Phantom4RTK
GNSSは干渉測位でリアルタイム
キネマティック
しかし、IMUがない

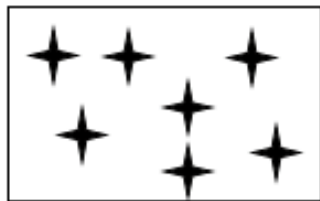
☞ 標定点（対空標識）が必要
標定点をゼロにはできない

⑤ SfM処理

- 写真の重複部分から特徴点を抽出し、それぞれをマッチングさせ、外部標定要素を算出すると同時に標定点を使い対地標定を実施

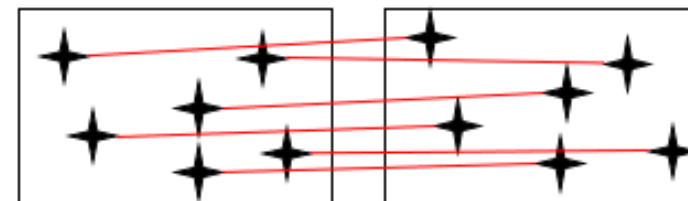
1. 特徴点の抽出

- 写真画像から特徴点を抽出



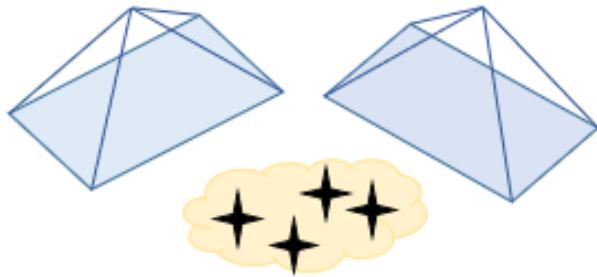
2. ステレオモデルの作成

- 画像ペアで対応点のマッチング



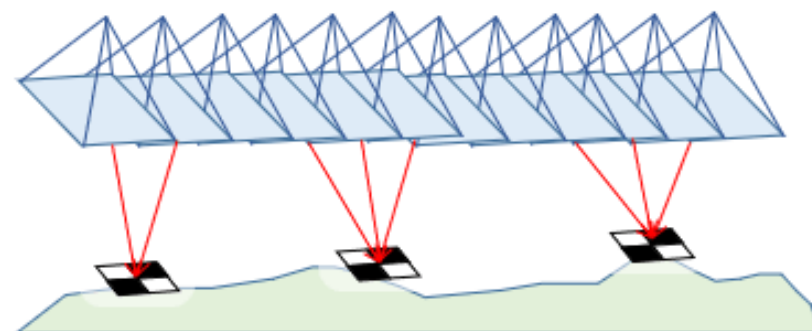
3. モデル間の接続

- マッチングした点から撮影したカメラの位置、傾きを推定



4. 地上座標への変換

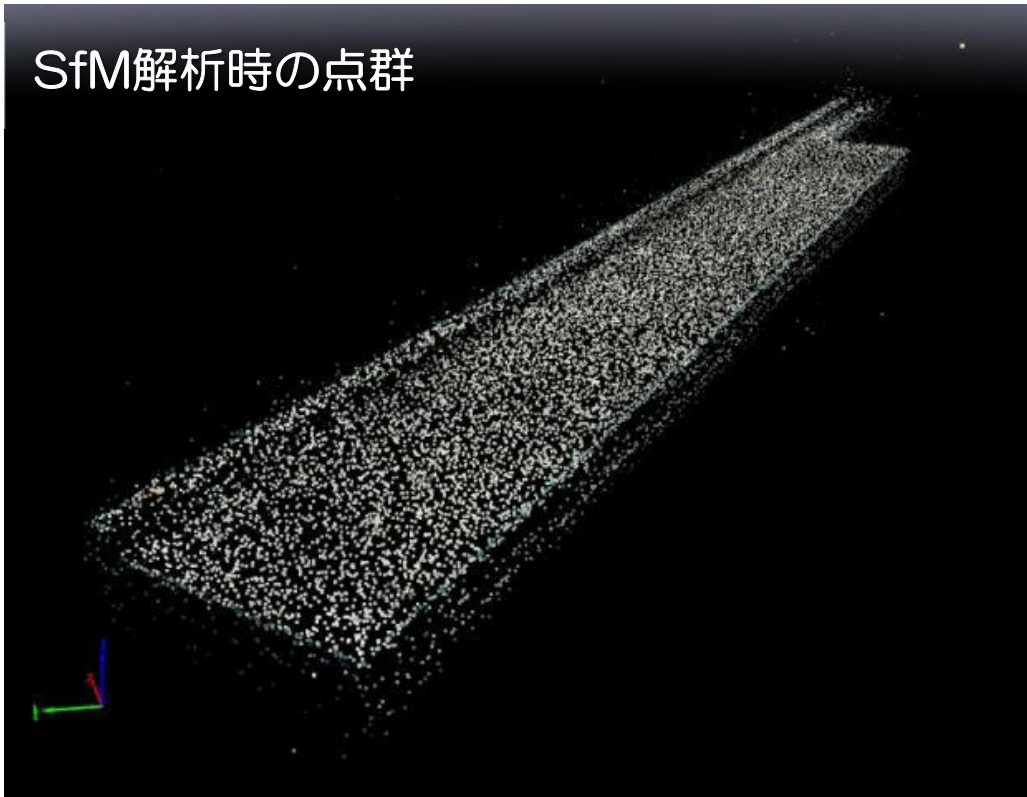
- 標定点により撮影位置の高精度化



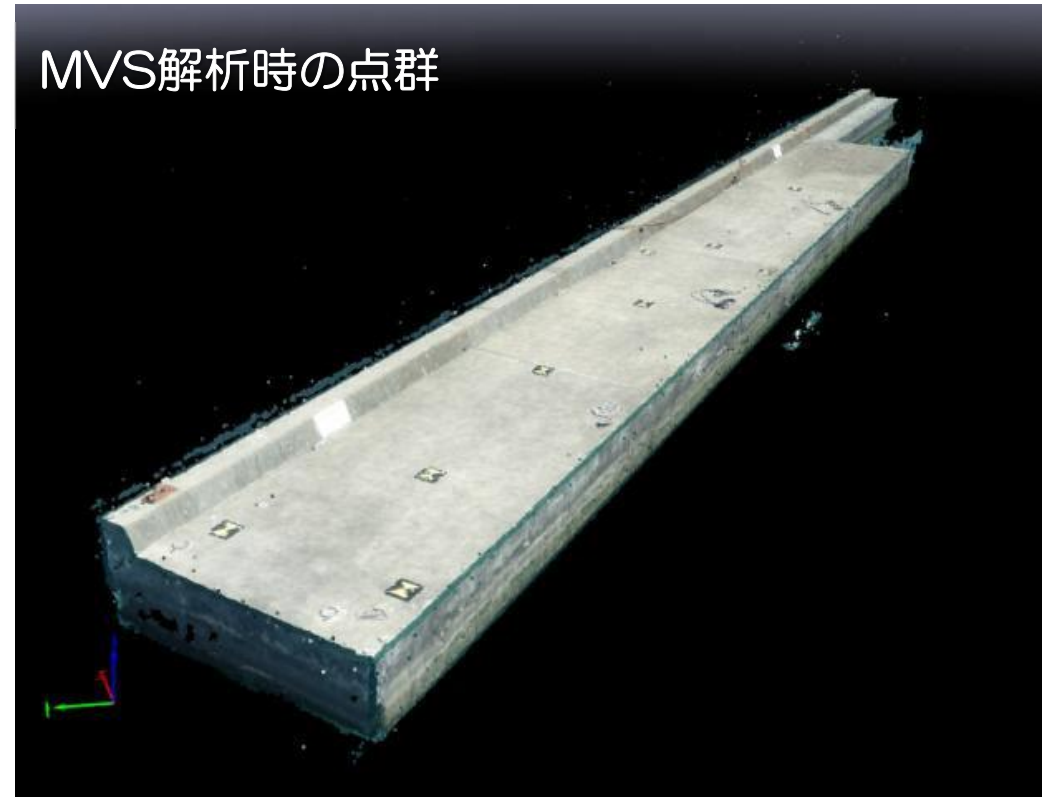
⑥ MVS処理

- SfM処理により求めた外部標定要素から対象の三次元形状を再現し、その三次元形状を構成する高密度の三次元点群データを生成

SfM解析時の点群

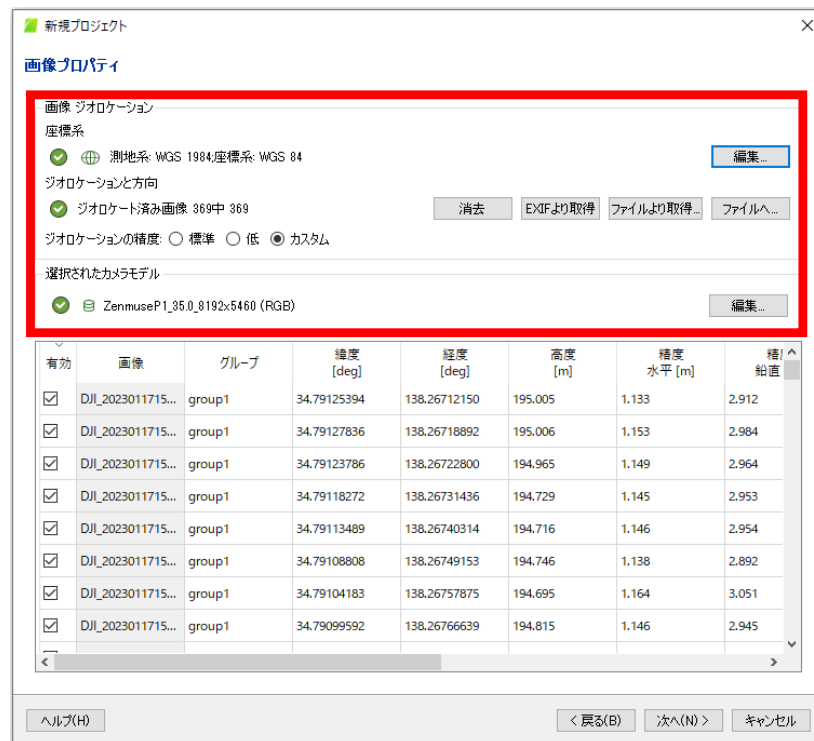


MVS解析時の点群



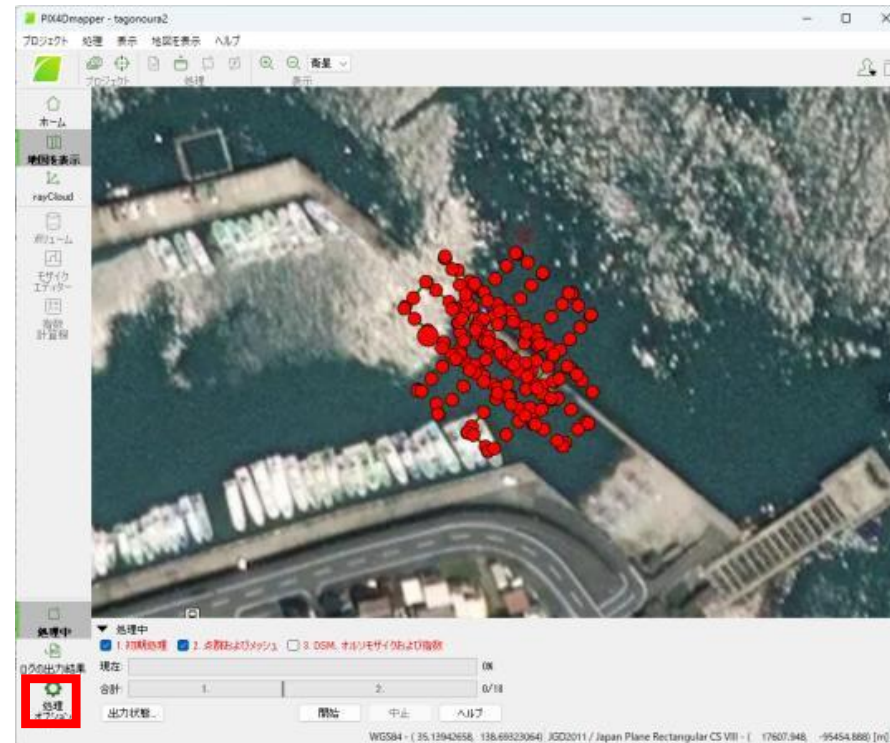
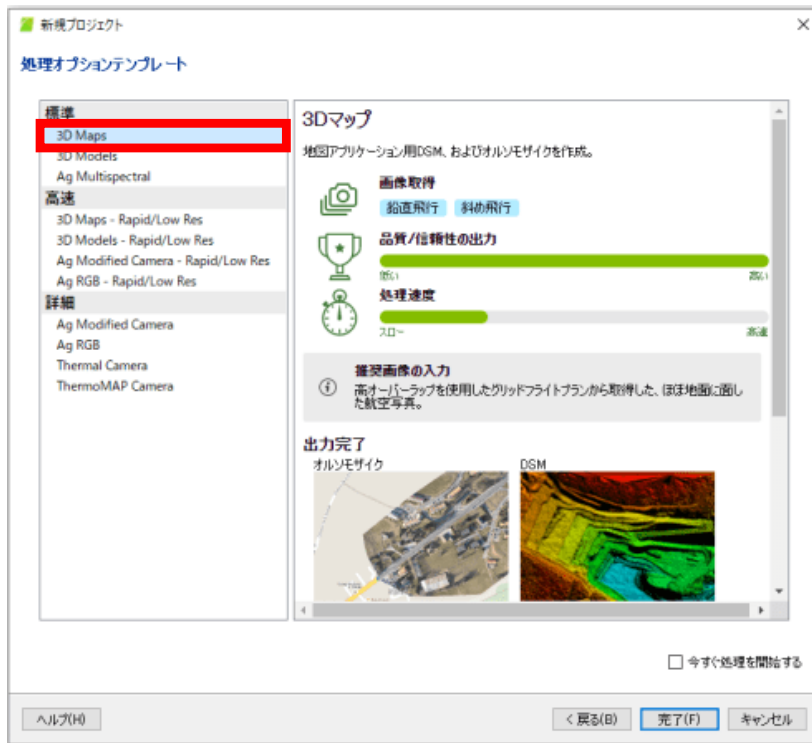
Pix4DmapperによるSfM/MVS処理

- ❑ 新規プロジェクトを作成し、撮影した画像データをインポートする
- ❑ ExifやGeotagからカメラ、撮影位置等の情報が自動で読み込まれる
- ❑ 出力データの座標系を選択する、公共測量の場合、平面直角座標系 (JGD2011)を指定する
- ❑ 標高はジオイドモデルを指定する



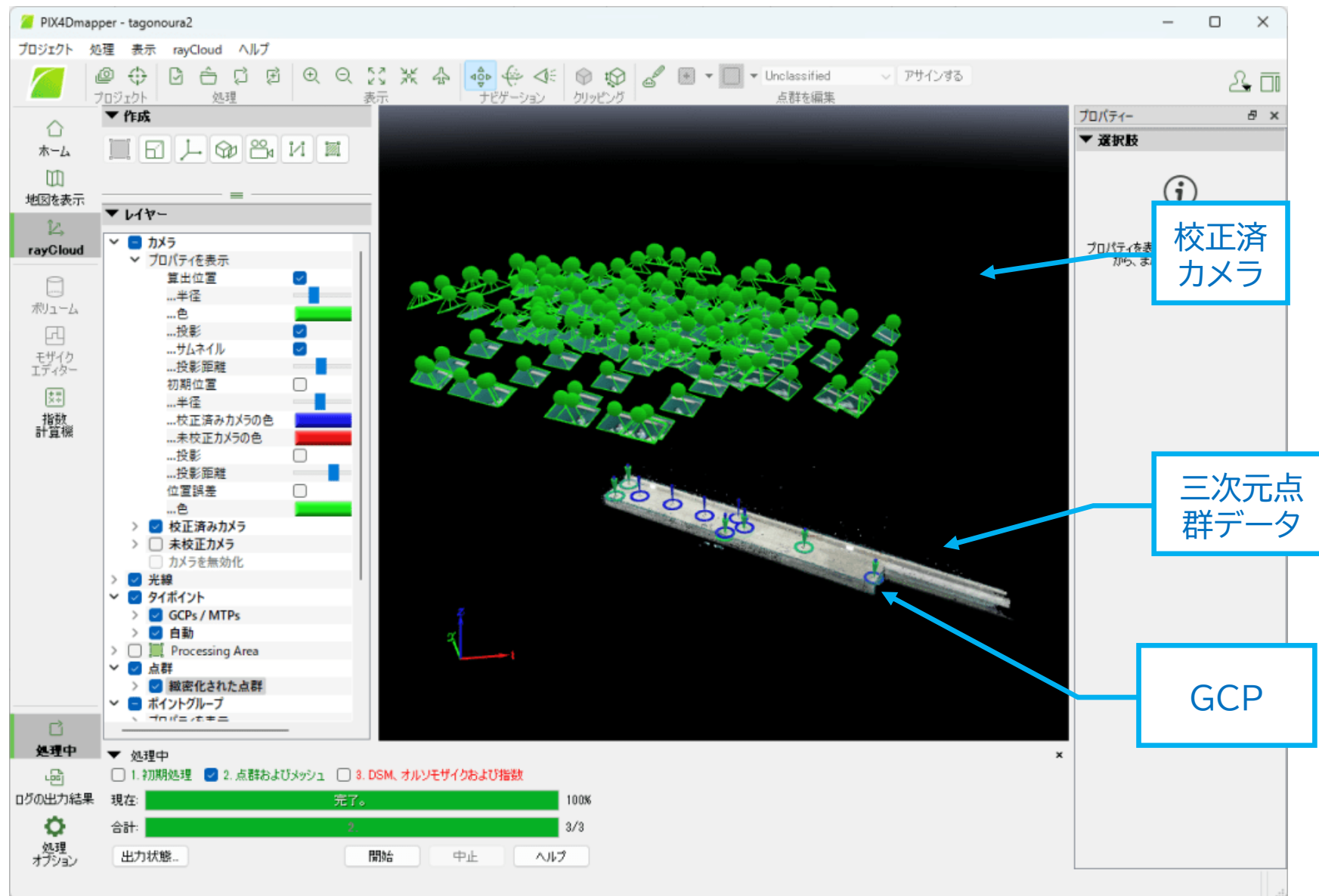
処理オプションの設定

- 処理オプションのテンプレートは「3D Maps」を選択する
- 画面左下の処理オプションアイコンを選択する



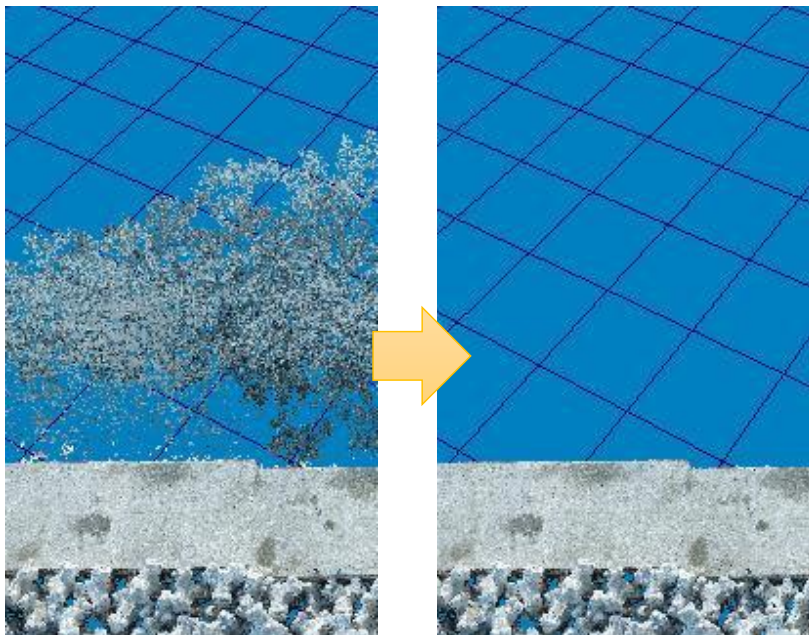
処理結果

- 三次元点群データの生成状況はメイン画面で確認することができる

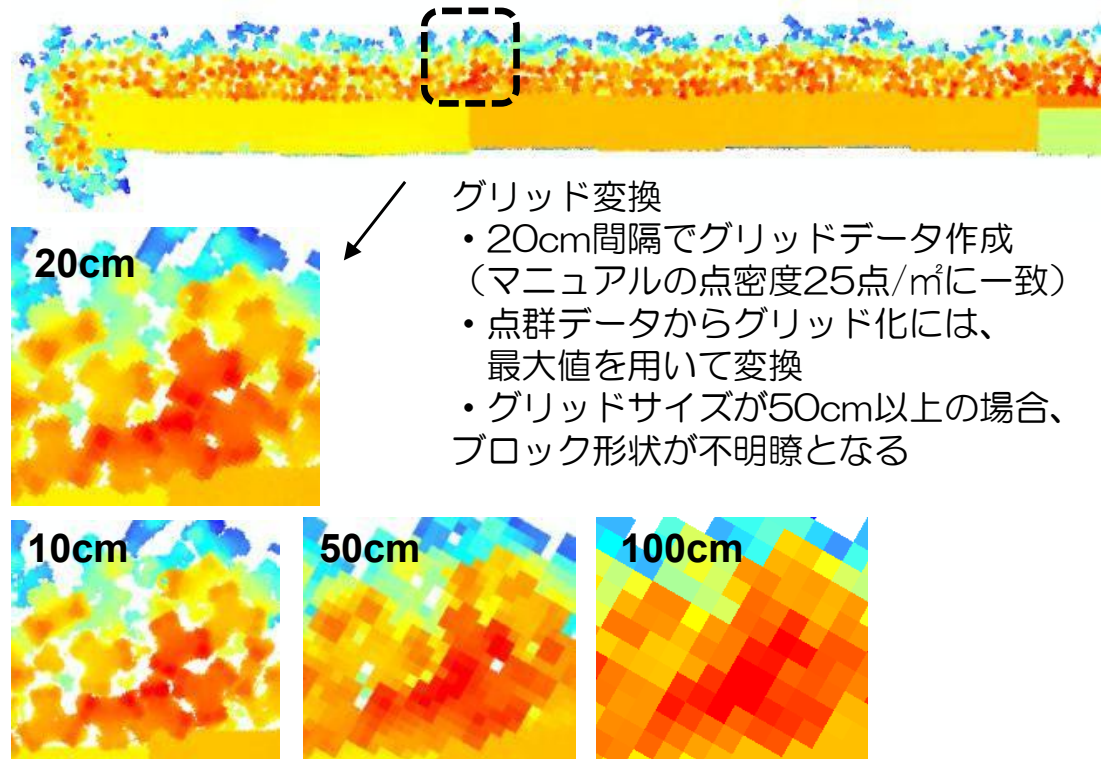


⑦ 三次元点群データ作成

- MVS処理で求めた三次元点群データに含まれるノイズ点を除去
- 使用目的に応じて、編集した点群データをグリッドデータに変換。

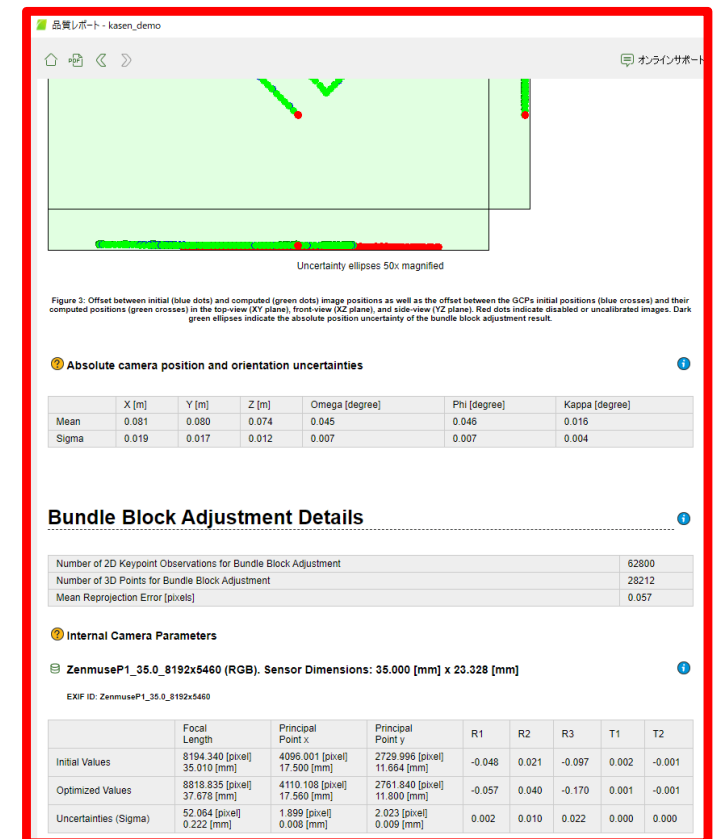
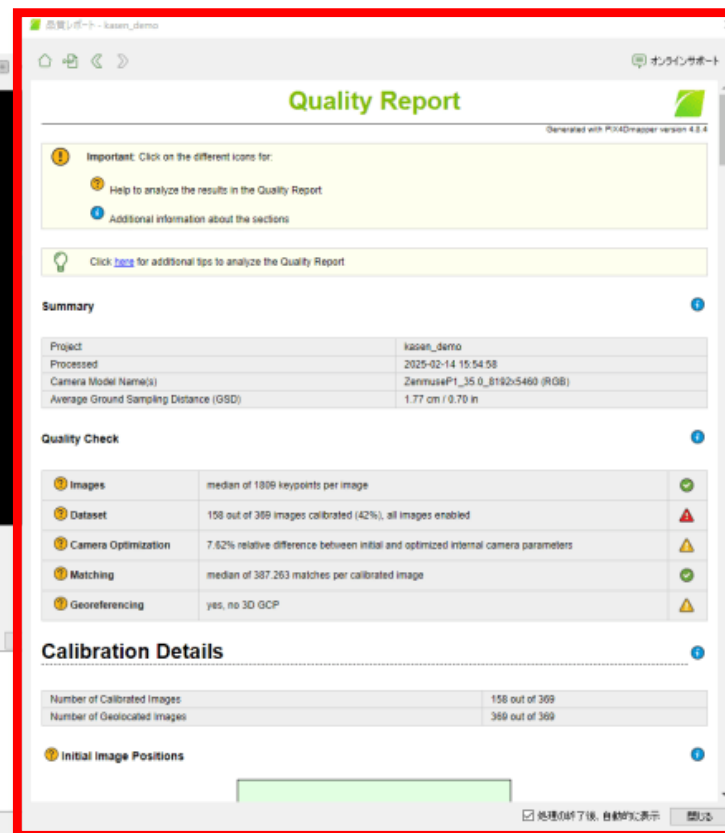
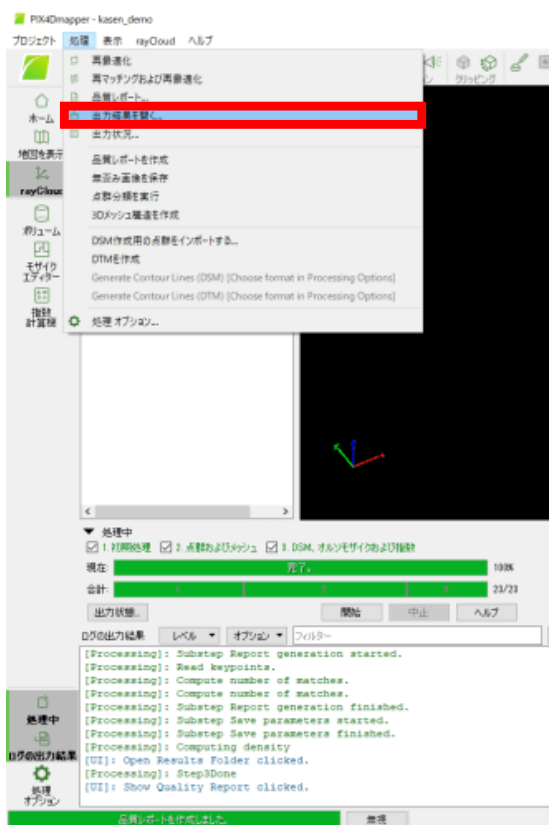


ノイズ除去
(水面等で取得された点群データを削除)



品質検査

- ❑ SfM処理結果は品質レポートとして出力することが可能である
- ❑ 標定点を設置した場合は、実測値との較差の確認も行うことができる



計測事例

【ICT活用事例】 むつ小川原港被災状況調査

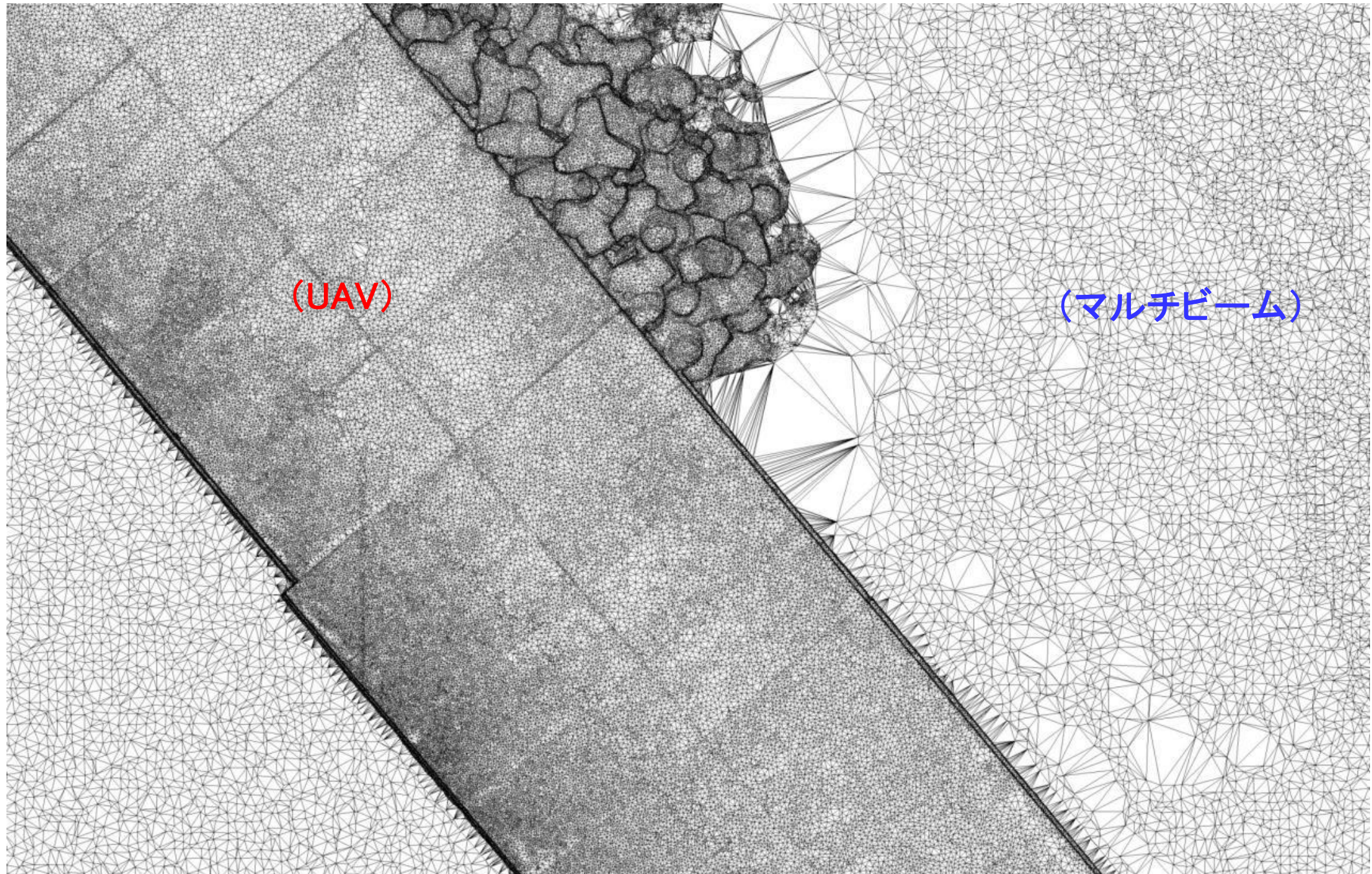
32

陸上部・・・UAVによる3次元データ取得



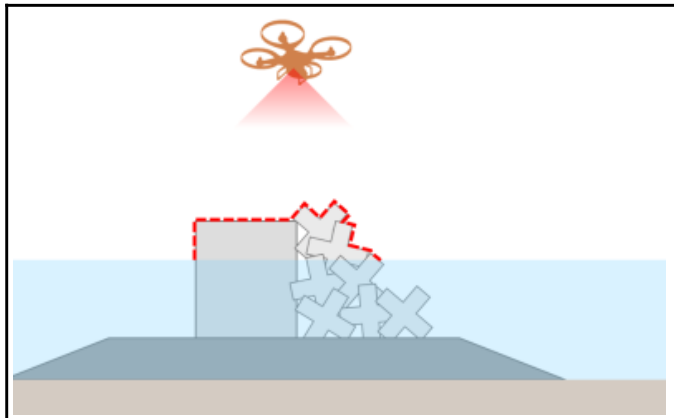
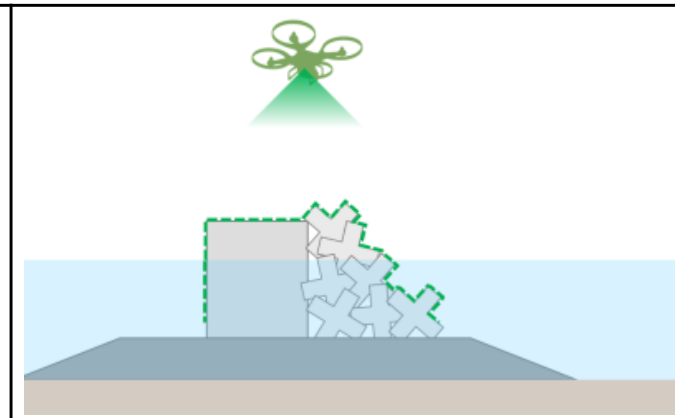
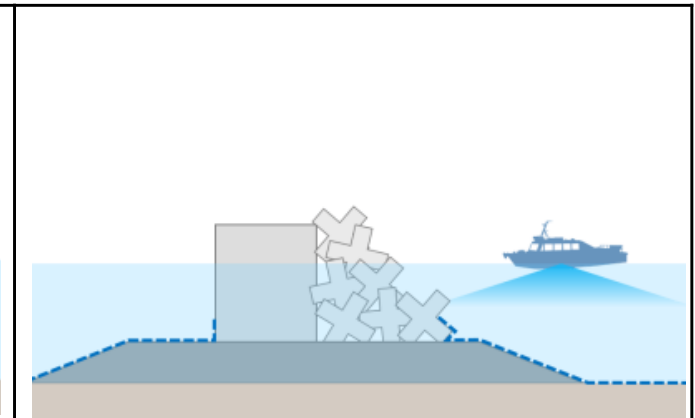
港湾におけるUAVによる3次元データ取得

33



◆ UAV(ドローン)とNMB(マルチビーム)のTINモデル事例

その他計測手法との組合せ

		
<p>UAV写真測量 及びUAV近赤外線レーザ測量</p> <p>デジタルカメラをUAVに搭載して空中写真を撮影し、写真測量ソフトウェアにより三次元点群を生成する。または近赤外線レーザをUAVに搭載して、三次元点群を取得する。 計測範囲は陸部のみとなる。</p>	<p>UAVグリーンレーザ測量</p> <p>グリーンレーザをUAVに搭載して、三次元点群を取得する。計測範囲は陸部と水部の一部を計測する。水質により測深範囲が異なるが、陸部と水部のシームレスなデータが同時に取得できる。</p>	<p>マルチビーム測深</p> <p>音波送受波器を船舶に装着して、三次元点群を取得する。計測範囲は水部の一部を計測する。水位により測深範囲が異なるが、水深の深い箇所のデータが取得できる。</p>

