

ラストフロンティア



<https://www.ardusub.com/>

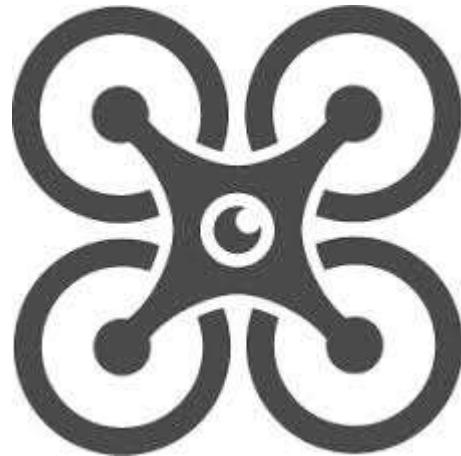
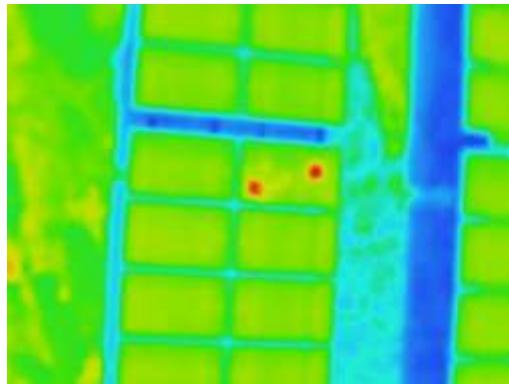
<https://www.ardusub.com/>



 Dronecode  
by the numbers

# 第4章 UAVを用いた写真測量概論

# U A Vを用いた上空からの計測技術



## UAVレーザ計測と写真測量

LiDARは、レーザー光線が地物に到達し反射したときの時間差により、3D点群データを生成します。このため、植生地域でも地物までの見通しが確保されていれば地表面の計測が可能となります。

UAVレーザを用いれば、UAV写真測量では必要だったGCP(Ground Control Point)を設置する必要がなく(但し検証点は除く)、その場で測地系にあった成果が得られます。



# UAV用いた写真測量の作業フロー



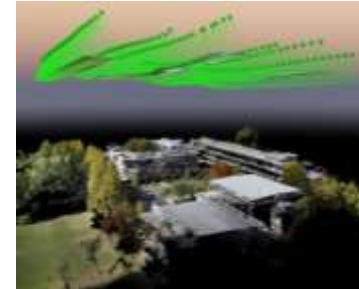
対空標識  
標定点・検証点  
(VRS・TS観測)



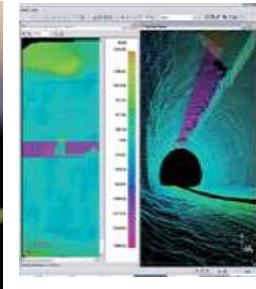
フライト計画



自動航行  
(写真撮影)



三次元形状復元  
(点群発生)



点群データ編集

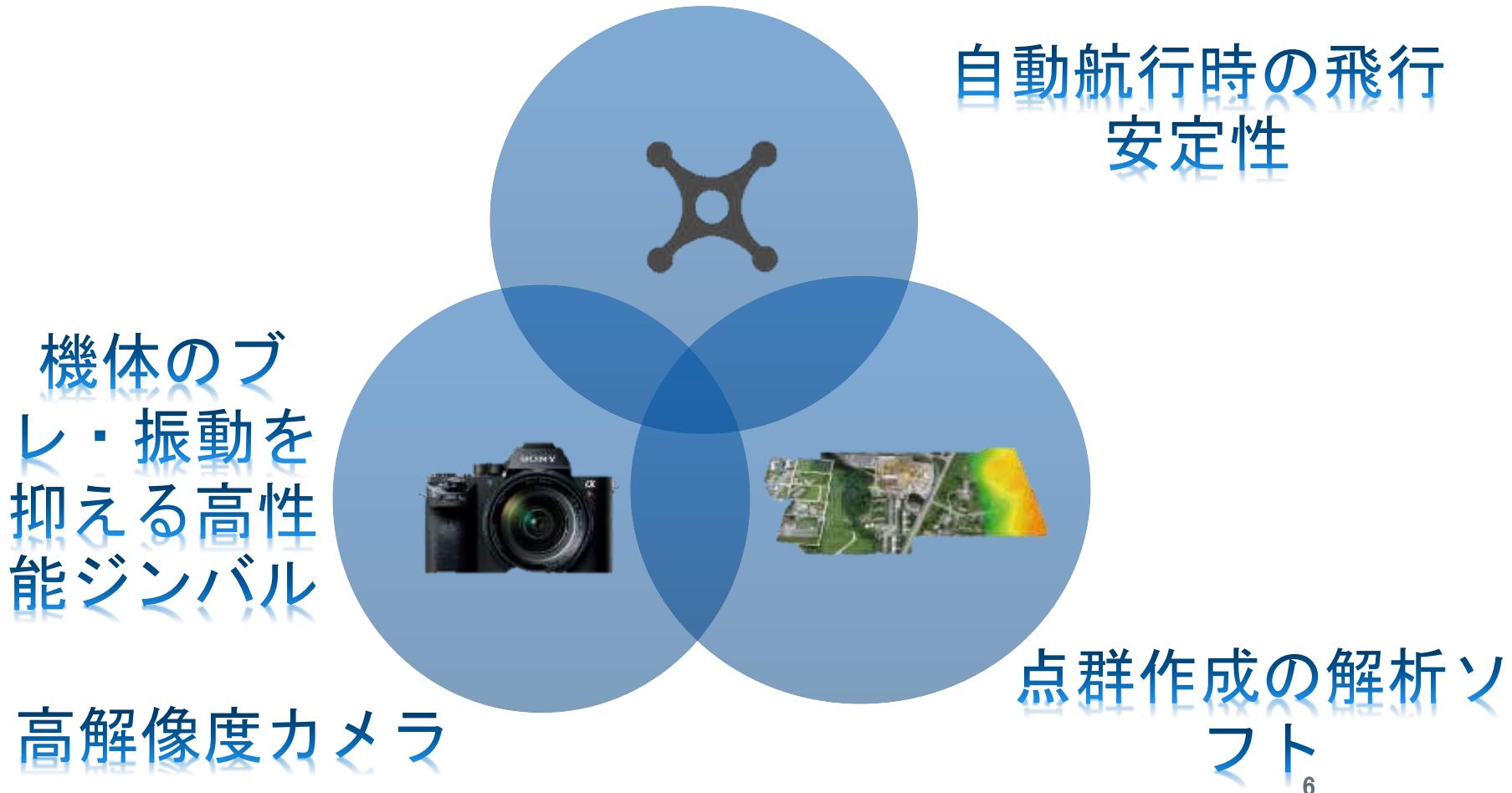
GNSS  
TS

飛行計画ソフト・UAV

画像解析  
ソフト

点群編集  
成果作成

## - 空中写真を取得するための技術要素-



# 高精度の成果を得るために必要な技術要素

Sky-Mapper

① UAVの性能（安定飛行）

② 品質の高い写真画像

③ 解析ソフトウェア(SfM)





フルサイズ(36.0mm X 24.0mm)

APS-Cサイズ(23.6mm X 15.6mm)

4/3サイズ(17.3mm X 13.0mm)

1サイズ(13.2mm X 8.8mm)

1/2.3サイズ(5.9mm X 4.4mm)



α7RII

35mm  
フルサイズ  
センサー

約4240  
万画素

α7II

35mm  
フルサイズ  
センサー

約2430  
万画素

35mm フルサイズ  
(35.9×24.0mm)  
約4240万画素  
(7952 × 5304)

35mm フルサイズ  
(35.8×23.9mm)  
約2430万画素  
(6000 × 4000)

(使用するデジタルカメラの性能等)

第59条 撮影に使用するデジタルカメラの性能等は、第24条の規定を準用する。

(参考)

(使用するデジタルカメラの性能等)

第24条 撮影に使用するデジタルカメラの本体は、次の各号の性能及び機能を有することを標準とする。

- 一 焦点距離、露光時間、絞り、ISO感度が手動で設定できる。
  - 二 レンズの焦点の距離を調整したり、レンズのフレ等を補正したりする自動処理機能を解除できる。
  - 三 焦点距離や露光時間等の情報が確認できる。
  - 四 十分な記録容量を確保できる。
  - 五 撮像素子サイズ及び記録画素数の情報が確認できる。
- 2 撮影に使用するデジタルカメラのレンズは、単焦点のものを標準とする。

表 1 : 地図 (数値地形図) を作成する場合の縮尺 (地図情報レベル) の違いによる規定の差

地図情報 レベル	標定点の観測方法 (第 19 条)	標定点の配置 (第 17 条)	撮影する写真の重複率 (第 22 条)	写真的地上画素寸法 (第 22 条)	カメラキャリブレーション (第 25 条)	空中写真的保存形式 (第 24 条)
250	同じ (準則の TS 点の設置のための測量に準じる)	同じ (コースの両端のモデルに上下各 1 点及びコース内に規定数を均等配置)	OL 率 60%、SL 率 30%を標準とする	0.02cm	独立したキャリブレーション	非圧縮形式
500				0.03cm		

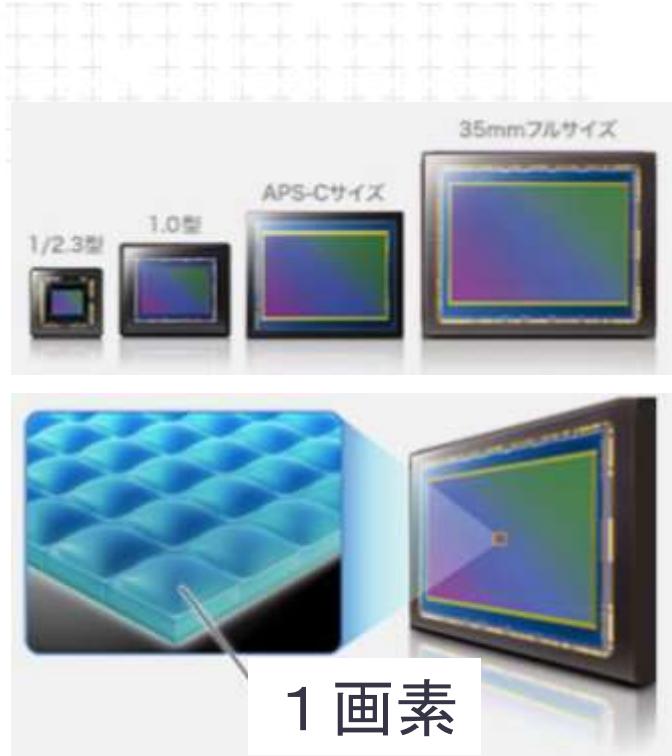
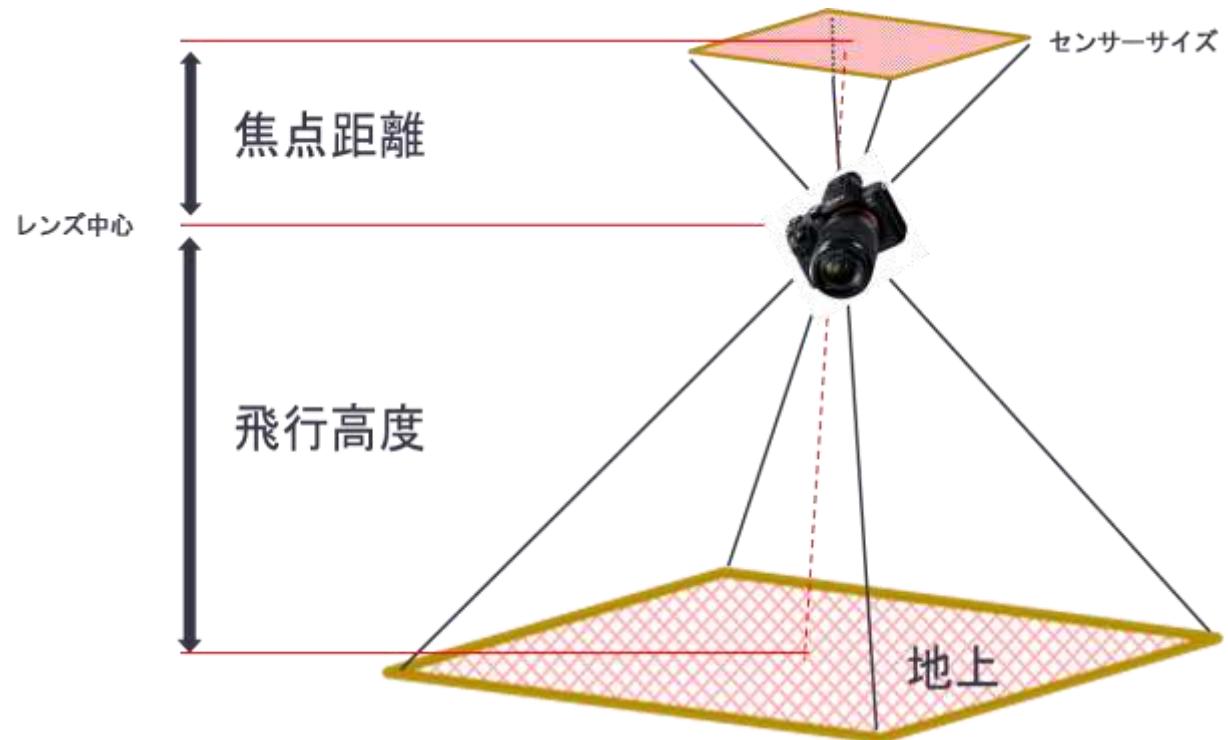
表 2 : 二次元点群を作成する場合の要求精度の違いによる規定の差

要求精度	主な適用作業	標定点及び検証点の観測方法 (第 54 条)	標定点の配置間隔 (第 53 条)	検証点の数 (第 53 条)	撮影する写真的重複度 (第 57 条)	写真的地上画素寸法 (第 57 条)	作成する点群の密度 (第 70 条)	カメラキャリブレーション (第 65 条)	空中写真的保存形式 (第 59 条)
0.05m	出来形管理 (出来形計測)	準則第 92 条に示す TS 等を用いる TS 点の設置に準じる	外側 100m 内側 200m	標定点の総数の半数以上	<撮影後の重複度の確認が可能な場合> OL 率 80%以上、SL 率 60%以上 <確認が困難な場合> OL 率 90%以上、SL 率 60%以上	1cm 以下	低密度 : 100m <sup>2</sup> につき 1 点以上 標準の密度 :	セルフキャリブレーション	特に定めなし (圧縮率の高い形式は避けることが望ましい)
0.1m	工事測量 (起工測量、岩線計測)	準則第 3 編第 2 章第 4 節第 1 款の TS の設置に準じる	外側 100m 内側 400m			2cm 以下	0.25m <sup>2</sup> につき 1 点以上 高密度 : 0.01m <sup>2</sup> につき 1 点以上		
0.2m	工事測量 (部分払い用出来高計測)		外側 200m 内側 600m			3cm 以下			

(塗りつぶしたセルの箇所は、今回改定を行った箇所。)



# センサ・サイズと地上画素寸法

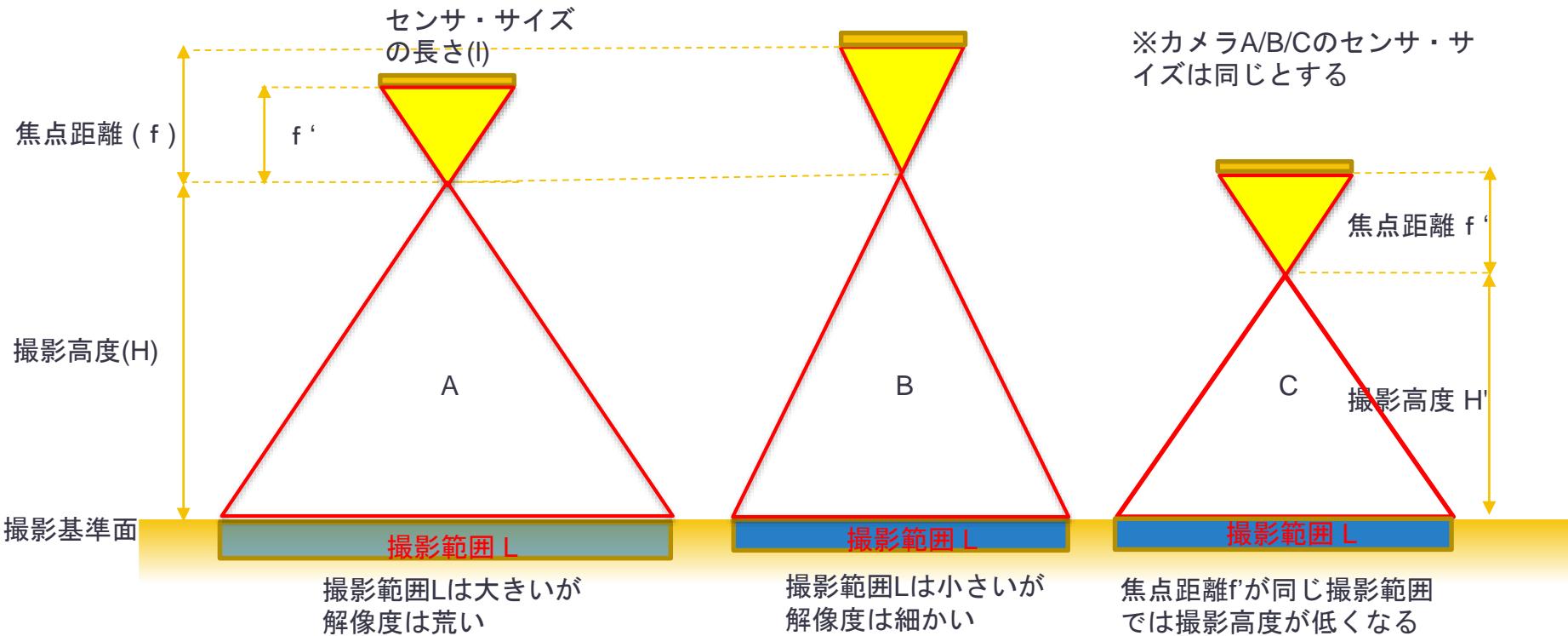


1 画素  
↓  
地上解像度1cm以内  
地上解像度2cm以内  
地上解像度3cm以内

# カメラの焦点距離と撮影範囲

焦点距離と撮影範囲の関係 :

$$\text{焦点距離 } (f) \times \text{撮影範囲} (L) = \text{カメラのセンサ・サイズの大きさ} (l) \times \text{撮影高度} (H)$$

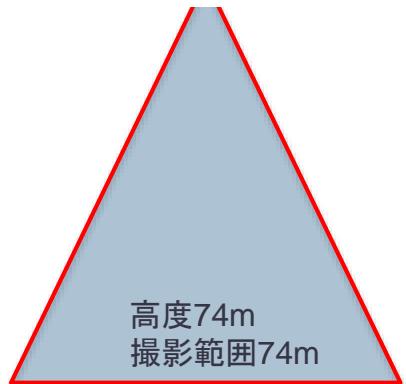


# カメラのセンササイズと撮影高度

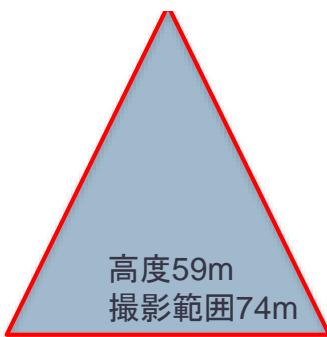
–地上画素寸法 1cmの場合の撮影高度の違い–

撮影高度 = 地上画素寸法m / 使用するデジカメの1画素のサイズ寸法m × 焦点距離m

Sony a7R II  
35mmフルサイズ



Sony a6000  
APSサイズ



Inspire1Pro  
15mm4/3サイズ



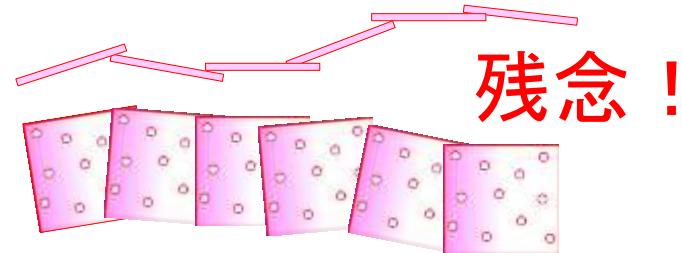
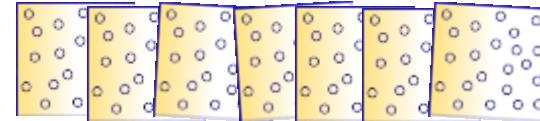
Phantom4  
3.6mm 1 / 2.3サイズ



## - 高品質な空中写真を取得するためには-

UAVの安定した自動航行と  
高解像度カメラと高性能ジンバルによるカメラワークが重要

Good !!



残念 !

## 高解像度・高精度写真がもたらす成果 「綺麗に」写真を撮影する

### ◆高精度・高解像度写真のポイント

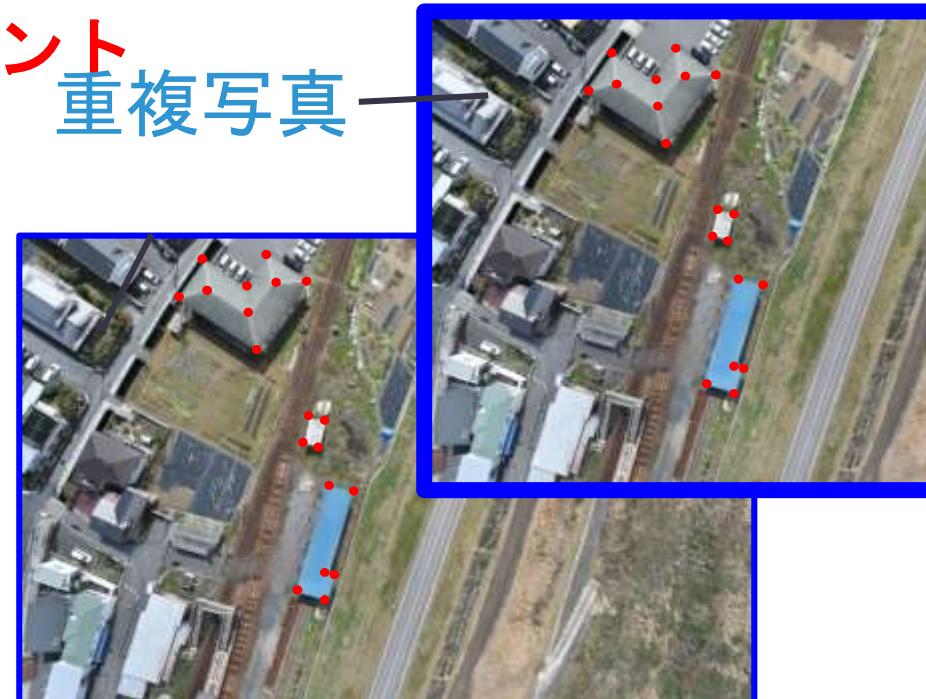
重複写真

被写体の色・形状の正確な把握

写真のマッチング精度向上



ソフトウェアでの処理効率アップ  
成果品質にも多大な影響



# 写真①



## 写真②





# Mission Planner

(飛行計画ソフトウェア)

# フライト計画

Mission Planner  
For SKY-Mapper

標高・比高差の検定

法的規制 (飛行高度、DID地区)

計測の目的・精度・予算・日数

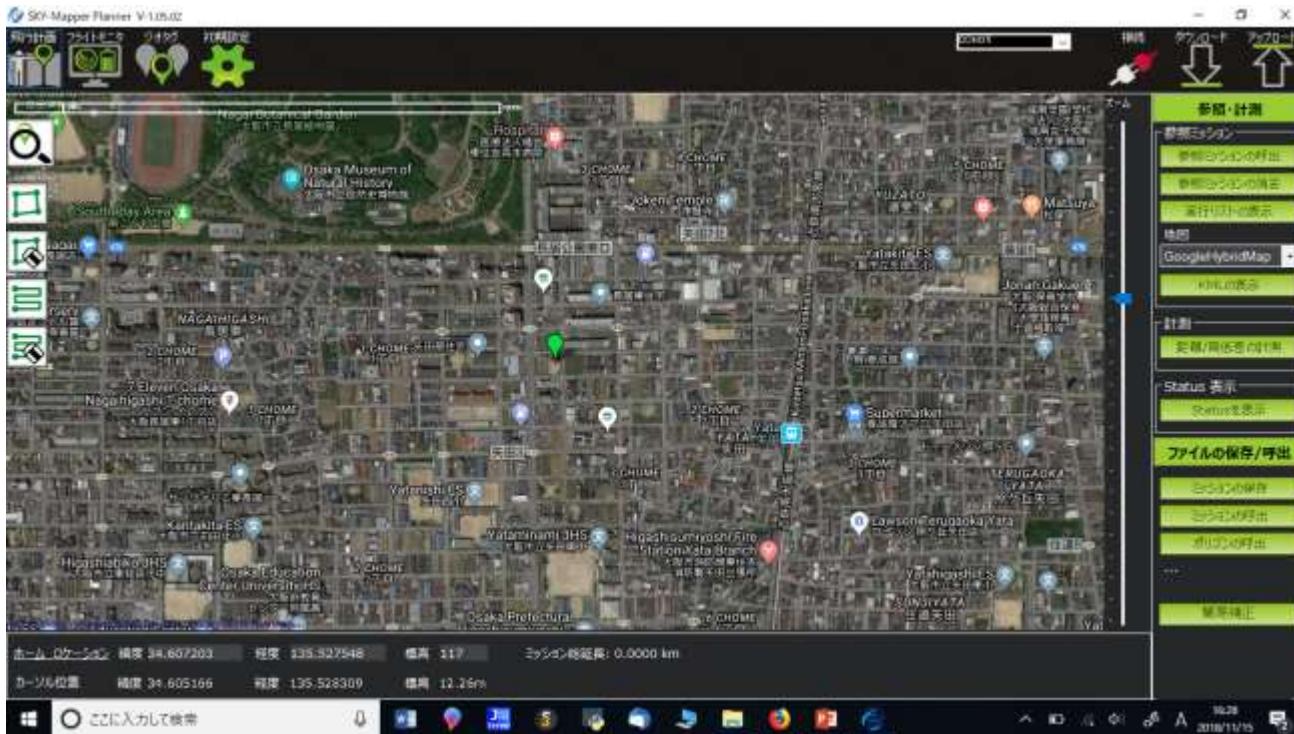
高解像度

写真測量? or  
レーザー計測?

コース間隔 (ラップ率)

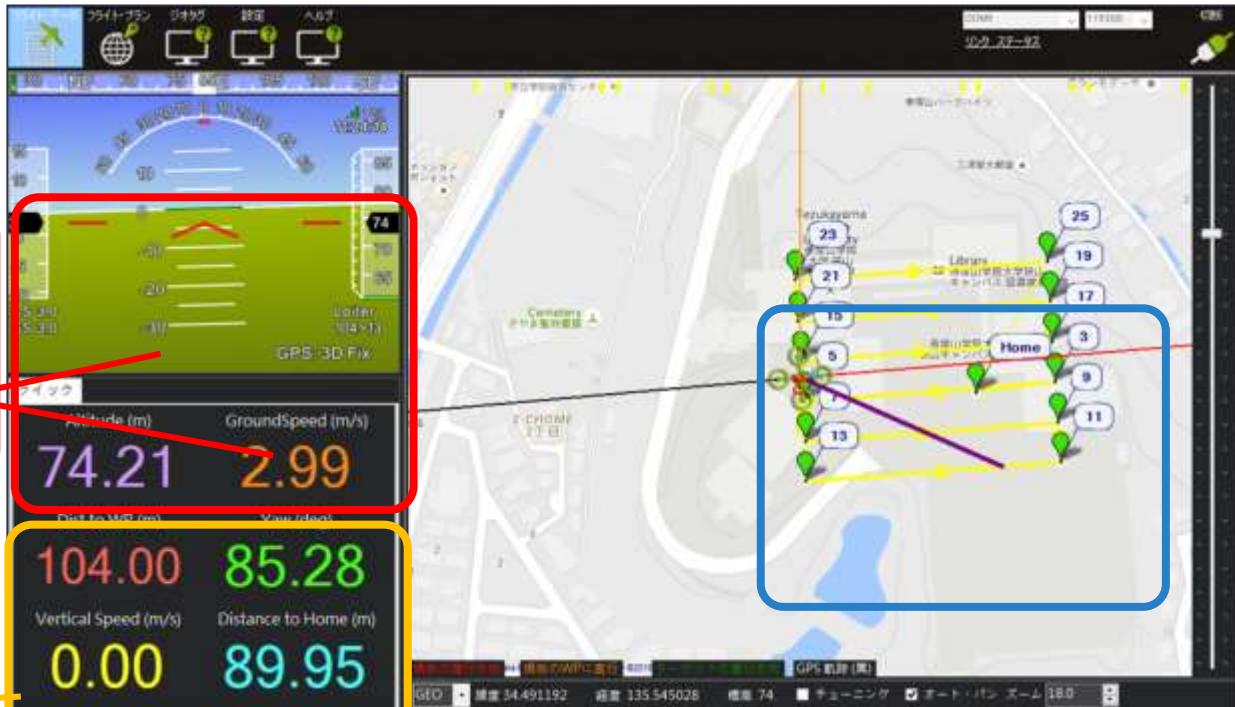
対標の設置、対標の大きさ

# 飛行計画をもとに自動航行（フライトプラン作成）



*Mission Planner  
For SKY-Mapper*

# 飛行計画とともに自動航行（フライト管理）

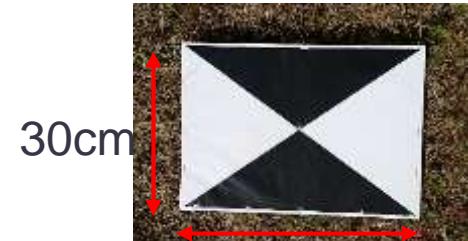


位置情報

フライトコース  
機体位置  
指示ポイント

**Mission Planner**  
For SKY-Mapper

# 標定点及び検証点の設置（対空標識設置）



対空標識 (X型)

- ① 対空標識の形状は、撮影する空中写真に15画素以上映る大きさが標準と規定されているので、地上画素寸法を1cmとすれば20cmの対空標識が必要
- ② 対空標識の色は白黒が標準、状況により黄色や黒も可

引用文献: UAVを用いた公共測量マニュアル

平成30年1月10日実地、日本測量機器工業会UAV計測

# 標定点、検証点の配置と留意点

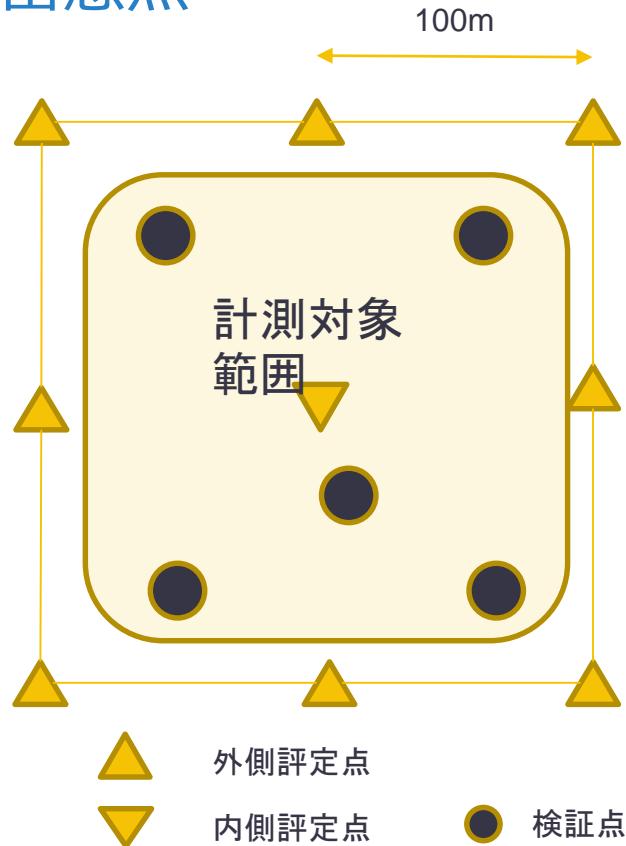
表1. 標定点の配置間隔

位置精度	隣接する外側評定点	任意の内側評定点とその点を含む各評定点との距離
0.05m以内	100m以内	200m以内
0.10m以内	100m以内	400m以内
0.20m以内	200m以内	600m以内

※外側評定点は、3点以上、内側評定点は1点以上設置する

## 検証点について

- ・ 評定点の総数の半数以上（端数は切り捨て）
- ・ 計測対象範囲内に均等に配置する



引用文献: UAVを用いた公共測量マニュアル



SKY-Mapper

# UAV

(使用する UAV の性能等)

第58条 撮影に使用する UAV の性能等は、第23条の規定を準用する。

(参考)

(使用する UAV の性能等)

第23条 撮影に使用する UAV は、次の各号の性能及び機能を有することを標準とする。

- 一 自律飛行機能及び異常時の自動帰還機能を装備している。
- 二 航行能力は、利用が想定される飛行域の地表風に耐えうることができる。
- 三 撮影時の機体の振動や揺れを補正し、デジタルカメラの向きを安定させることができ  
きる。

# 測量用ドローンの特徴



測量用UAVとして開発されたプロフェッショナル・ドローン

- 同軸対向式モータ配列（オクトクワッドタイプ）により安全性を向上
- LiPo22,000mAh・LiPo搭載！ハイ・パワー、ロングフライトを可能！
- 最大離陸重量：約10kg！ フライトの安定性と安全性を向上！！
- 高精度センサ搭載一眼レフカメラ/SONYα7RMⅡ専用ジンバルを開発！



35mmフルサイ  
ズ  
(35.9×24.0mm  
)

約4240万画素

# 高精度の写真を「容易に・確実に」撮影する

測量用UAVとして開発されたプロフェッショナル・ドローン

操作性・機能性に優れた撮影システム

## Point 1 : 高解像度カメラを採用

一般使用カメラ

約1,200万画素

SONY α7R II

**4,240万**画素

SONY α7 II

**2,430万**画素

## Point 2 : α7 II 専用ジンバルを開発

- リニアモータを搭載した3軸ジンバル
- 取付け・取外しもワンタッチ操作



SONY α7R II と  
自社開発の高性能  
ジンバル



# Pix4D MAPPER

(三次元形状復元計算ソフトSfM)

写真測量向けソフトウェア

# Pix4D MAPPER

- ・ 優れた自動写真解析が可能
- ・ 成果レポート自動作成



# UAV による写真測量の流れ

①飛行計画

②飛行・撮影

③写真処理

④成果作成

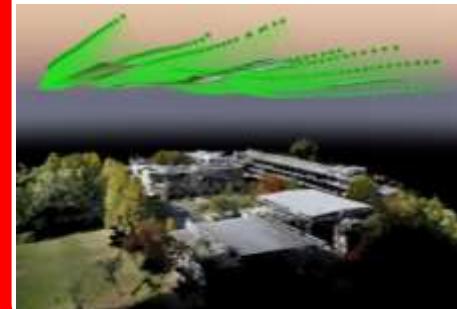
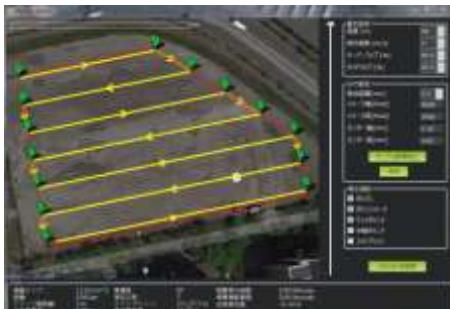
SKY-Mapper システム

*Mission Planner  
For SKY-Mapper*

**SKY-Mapper**

**Pix4D MAPPER**

点群処理  
成果作成  
オフィスソフトウェア





# 三次元形状復元計算(SfM解析)

