



PLATEAU
by MLIT

3D 都市モデル活用のための技術資料

PLATEAU Technical Report



多方向カメラを用いた空中写真測量による
3D 都市モデル整備手法に関する調査 技術検証レポート

series No. 67

Technical Report on 3D City Models Development Method by Oblique Aerial
Photogrammetry

目次

1. 調査の概要	- 1 -
1-1. 現状と課題	- 1 -
1-2. 課題解決のアプローチ	- 4 -
2. 空中写真の撮影条件にもとづく建築物モデル LOD2 テクスチャ品質の調査	- 7 -
2-1. 調査目的	- 7 -
2-2. 調査内容	- 7 -
2-3. 調査方法	- 7 -
2-4. 調査結果	- 9 -
3. 多方向カメラを用いた建築物モデル LOD3 の整備手法の調査	- 18 -
3-1. 調査目的	- 18 -
3-2. 調査内容	- 18 -
3-3. 調査方法	- 18 -
3-4. 調査結果	- 20 -
4. 成果と課題	- 32 -
4-1. 本調査・検討で得られた成果	- 32 -
4-2. 今後の課題と展望	- 34 -

1. 調査の概要

1-1. 現状と課題

3D 都市モデルのデータ整備では、都市全域を網羅的に測量することができる空中写真撮影の成果を用いる手法が一般的となっている。国土交通省都市局では、最初に地方公共団体が整備する 3D 都市モデルとして基本セット¹を推奨しているが、これに含まれる建築物モデル LOD2 は屋根形状を再現したテクスチャ付きのモデルとなっており、リアリティを持たせるため空中写真測量成果をもとに作成されることがほとんどである。また、3D 都市モデルのユースケース開発の多様化が進み、建築物モデル LOD2 よりもさらに詳細度の高い建築物モデル LOD3 の整備機会も増えてきている。

他方、建築物モデル LOD2 や LOD3 の整備に際しては、テクスチャ画像の品質や整備コストの観点から以下の課題が顕在化しつつある。

1) 建築物モデル LOD2 テクスチャ画像の品質

建築物モデル LOD2 の整備範囲は、基本的にユースケースのニーズにより決定され、中心地や市役所周辺を対象に実施されるケースが多い。

この建築物モデル LOD2 に貼り付けるテクスチャ画像は、都市計画基本図作成時に撮影された空中写真から流用されることが多く、その空中写真の重複度は、通常、同一撮影コース上の隣接写真との重なり（オーバーラップ：OL）が 60%、隣接コースとの重なり（サイドラップ：SL）が 30%という低い重複度となっている。

建築物モデル LOD2 の壁面テクスチャ画像は、撮影ポイント直下から離れていくにしたがい空中写真に写る建築物の倒れ込み量が大きくなる特性を活かすことで、その生成が可能となる。そのため、空中写真同士の重複度が低くなると、空中写真に壁面が写らないために起こるテクスチャ画像の欠損、建築物の倒れ込み量が少なくなることによって起こるテクスチャ画像の解像度低下（ゆがみ）や障害物の映り込み（オクリュージョン）といった課題が発生する。

¹ 建築物モデル LOD1 及び LOD2、道路モデル LOD1、土地利用モデル LOD1、災害リスクモデル LOD1、都市計画決定情報モデル LOD1、地形モデル LOD1

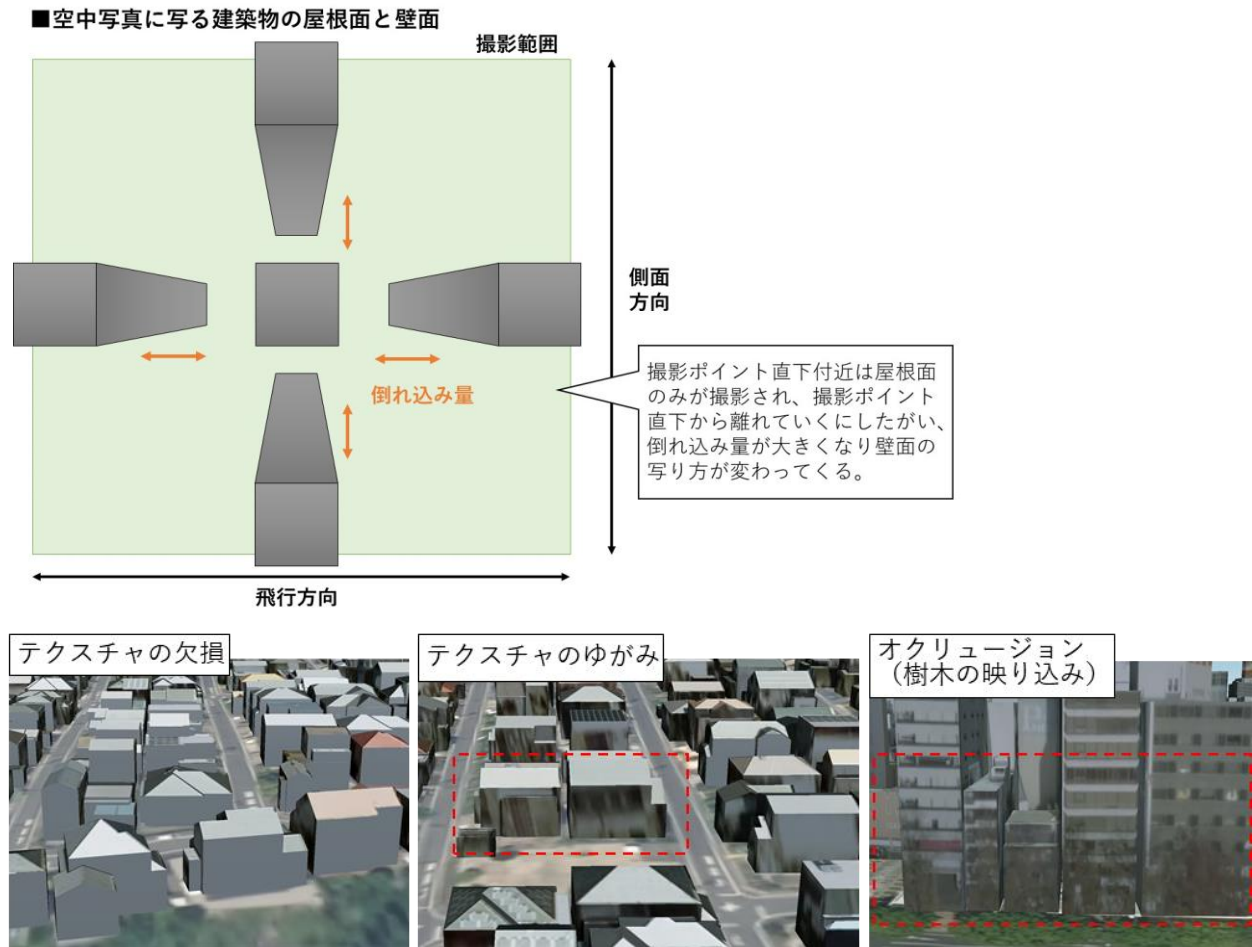


図 1-1 空中写真の特性と建築物モデル LOD2 テクスチャ画像の課題事例

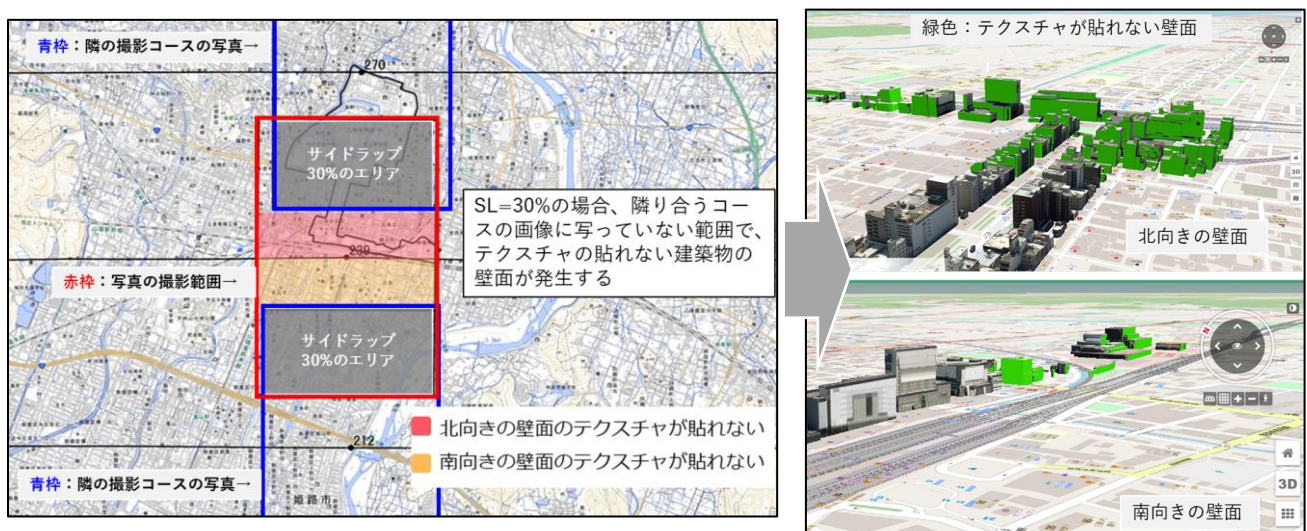


図 1-2 撮影コースとテクスチャ画像欠損（品質低下）発生の関係イメージ図

2) 建築物モデル LOD3 の整備コスト

一部の都市では、多様化するユースケース実証に対応するため、建築物モデル LOD3 の整備が行われている。この建築物モデル LOD3 の整備では、詳細度の高いジオメトリとこれに対応するテクスチャ画像を取得するために、車載写真レーザ測量等により精緻な近接測量成果をもとにモデリング作業が行う手法が、これまで多く採用されてきている。

しかし、この手法によって広域を整備する場合、空中写真を用いたモデリング（図化）作業と比べ、整備コストが高くなり、建築物の裏側、建物同士の隙間が狭い箇所及び高層部分等が撮影できない。場所によっては、私有地や鉄道敷地等の土地への立入りが制限され測量を実施できないといった課題もある。

また、車載写真レーザ測量の整備コストが高くなる要因として、車載写真レーザ測量で取得される点群データを図化する作業の難易度が高いことが挙げられる。

さらに、車載写真レーザ測量によって測量できる範囲は道路沿線に限定されるため、建築物モデル LOD3 に貼るテクスチャ画像は、車載写真レーザ測量によって撮影された全方位画像に加え、空中写真や現地撮影写真と併用する必要がある。そのため、テクスチャ画像の自動生成（モデルへの自動貼付）が行えず、手作業が発生することも、整備コストが高くなる要因となっている。

表 1-1 建築物モデル LOD3 作業能率の参考値

パターン	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5
	面数が少ない建物 (2-3 階程度)	小規模で面数が多い建物 (4-5 階程度)	三角屋根の一軒家	大規模で面数が多い建物	面数が多く複雑な建物
対象					
ジオメトリ	3 時間	1 日	1.5 日	3 日	5 日
テクスチャ	3 時間	1 日	1 日	3 日	5 日
合計	6 時間	2 日	2.5 日	6 日	10 日
整備工7 全体棟数	129 棟	97 棟	57 棟	16 棟	8 棟

出典：3D 都市モデル LOD3 データ作成実証レポート

https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0003_ver01.pdf

1-2. 課題解決のアプローチ

利用者やユースケースにとって、より満足度の高いテクスチャ付きの建築物モデル LOD2 又は LOD3 を効率的に提供していくためには、建築物モデル LOD2 に対するテクスチャの貼付率の向上及び建築物壁面のテクスチャ解像度を上げること、ならびに建築物モデル LOD3 の整備コスト低減に向けた取り組みが必要である。

そこで、これらの課題解決に向けて次の 2 つの調査を実施する。

①建築物モデル LOD2 のテクスチャ画像の品質

- テクスチャの貼付率及び解像度を上げるために必要となる建築物モデル LOD2 整備のための空中写真（多方向カメラ及び垂直カメラ）の撮影条件（推奨ラップ率等）を明らかにする
- 建築物モデル LOD2 の整備コストとテクスチャ品質の関係を整理し、最適な撮影手法を整理する

②建築物モデル LOD3 の整備コスト

- 航空機を用いた広域の効率的な整備手法を検討し、その活用可能性を評価する
- LOD3 整備コストと建築物の形状再現度の関係と、活用ケースに応じた整備手法を整理する

テクスチャの貼付率・解像度の向上及び広域の効率的な撮影を実現するための方法として、本調査では「多方向カメラ」を用いた整備手法を検討することとした。

「多方向カメラ」とは、直下視及び、前視、後視、右視、左視の 4 方向に 45 度傾けて取り付けられた複合センサである。4 方向の斜め視画像により建築物壁面テクスチャ改善することが可能と考えられる。

斜め視画像から壁面形状を作成ことができるため建築物モデル LOD3 作成の適用が期待できる。また、広域にデータを取得することが可能であり、地上センサと比較しコスト削減が可能であると考えられる。

撮影主点ごとに 5 方向（直下、前視、後視、右視、左視）の画像を撮影することができるため、対象範囲内は上空の多方向から被写体を撮影することができる。また、従来の航空カメラと同様、撮影主点ごとに GNSS と IMU（ジャイロ）により正確な位置を求めることができる。（図 1-3）

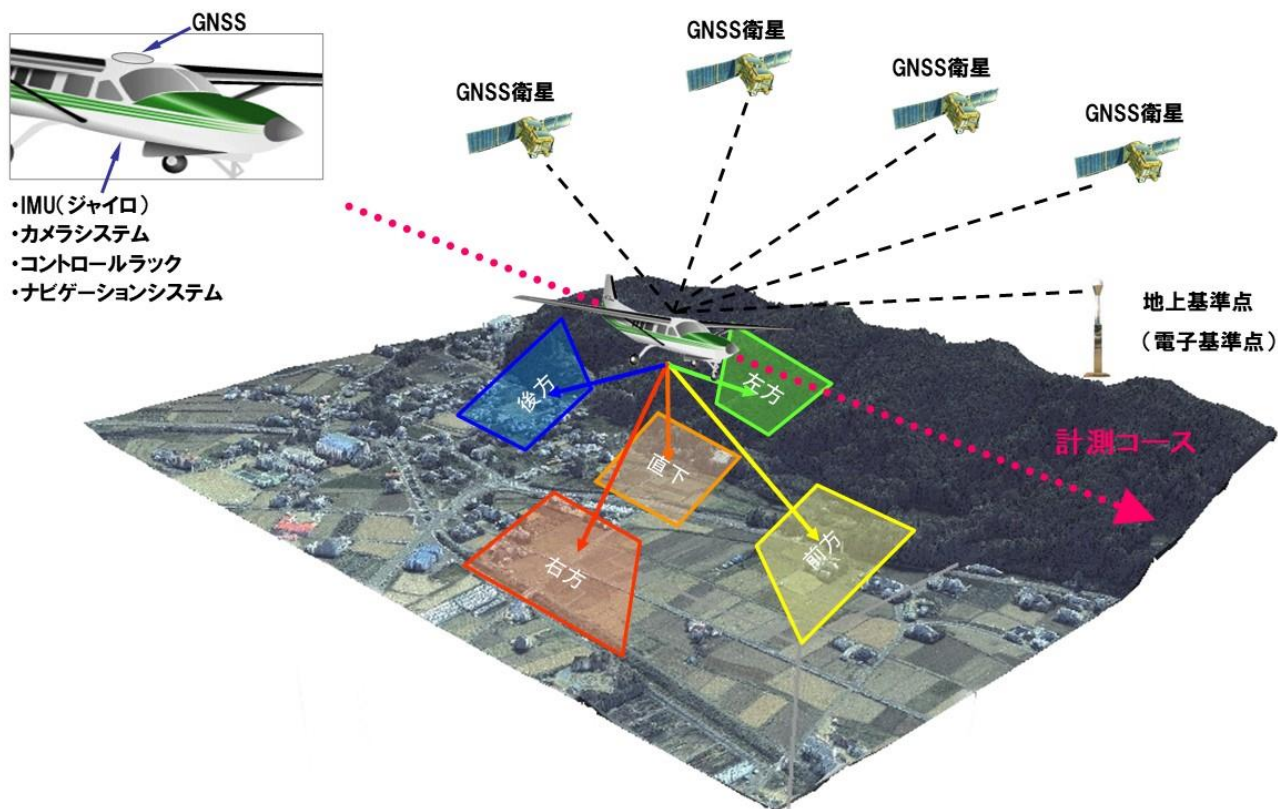


図 1-3 多方向カメラの撮影イメージ

本調査で使用する多方向カメラは、Lica Geosystems 社の CityMapper-2 とする。この多方向カメラは、1 億画素を上回る高解像度のカメラを直下視及び、前視、後視、右視、左視の 4 方向に 45 度傾けて取り付けられた複合センサである。この多方向カメラの詳細を表 1-2 に示す。

表 1-2 本調査で使用する多方向カメラ

機材 (センサ名)	ライカジオシステムズ社 CityMapper-2 (MFC150)	
斜めカメラの角度	約 45 度	
焦点距離	直下視 146mm 斜め視 189mm	
素子寸法	直下視 3.7 μm 斜め視 3.7 μm	
画素数	14,192 × 10,640 px	
地上解像度	3.0cm (直下視)	

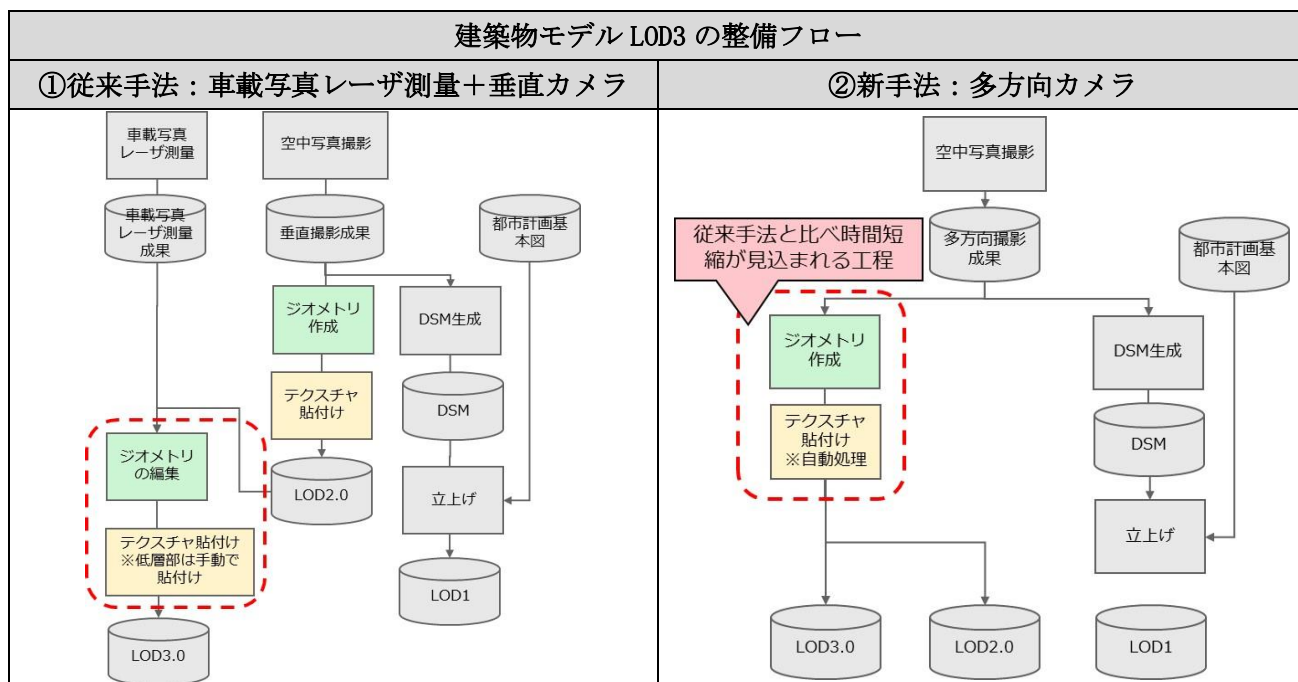
表 1-3 に、従来手法 (車載写真レーザ測量+垂直カメラを用いた整備手法) と多方向カメラを用いた建築物モデル LOD3 の整備フロー (新手法) の整備フローを示す。

車載写真レーザ測量成果と垂直カメラ画像を用いた従来手法は、車載写真レーザ測量によって建築物

の低層階部及び沿道に面している建築物の壁面を精緻に作成し、車載写真レーザ測量では観測できない高層階部壁面、屋根面及び沿道に面さない建築物の裏手側を垂直カメラによる撮影成果で補完する。一方、多方向カメラを用いた新手法は、建築物全体を網羅的に観測することができる。

従来手法と比較し、多方向カメラを活用することでLOD3.0のジオメトリ作成及びテクスチャ貼付けの工程を効率化することが見込まれる。

表 1-3 建築物モデル LOD3 の整備フロー：多方向カメラを用いた新手法と従来手法の比較



2. 空中写真の撮影条件にもとづく建築物モデル LOD2 テクスチャ品質の調査

2-1. 調査目的

- 3D 都市モデルの壁面テクスチャの鮮明といえる妥当な解像度を明らかにする
- 撮影条件と鉛直方向の解像度の関係を明らかにし、主たる航空カメラごとの推奨撮影条件を示す
- 「垂直カメラ」と「多方向カメラ」によるテクスチャ品質及びコストの違いを比較する

2-2. 調査内容

表 2-1 空中写真の撮影条件にもとづく建築物モデル LOD2 テクスチャ品質の調査内容

課題	調査内容
建築物モデル LOD2 のテクスチャ画像の品質	① 壁面テクスチャの最適な鉛直解像度の調査
	② 撮影条件と鉛直方向の解像度の関係整理
	③ 主たる航空カメラごとの推奨撮影条件の整理
	④ 「垂直カメラ」と「多方向カメラ」のテクスチャ品質及びコスト比較

2-3. 調査方法

1) 壁面テクスチャの最適な鉛直解像度の調査

3D 都市モデルの壁面テクスチャについて、鮮明といえる妥当な解像度を明らかにする。テクスチャ画像の鮮明さは、画像の解像度によって決まるため、建築物の壁面を対象とした解像度の異なるテクスチャ画像を生成し、テクスチャ画像の品質に影響する鉛直方向の解像度推奨値を調査する。

対象とする空中写真は、一般的な地域特性をもつ都市域における地図情報レベル 1000 の位置精度を有する撮影成果とする。

この空中写真を使い 3 パターンの建築物を作成し、その見た目の違いを検証する。

3 パターンの建築物は、「①低層建築物（2 階建て戸建て住宅）」、「②中層建築物（5 階建てアパート）」及び「③高層建築物（10 階建てマンション）」を対象とする。

2) 撮影条件と鉛直方向の解像度の関係整理

テクスチャが欠損する又は不鮮明となる撮影条件を整理する。空中写真の特性と鉛直方向の解像度の関係を整理し、テクスチャ画像の欠損又は鉛直方向の解像度推奨値に到達しない条件も明らかにする。

調査はデジタル航空カメラの一つ（UltraCam Eagle Mark1）を例に、カメラの特性と鉛直方向のテクスチャ画像の解像度の関係を分析する。

3) 主たる航空カメラごとの推奨撮影条件の整理

主たる航空カメラごとに推奨される撮影重複度（ラップ率）を整理する。主なデジタル航空カメラを対象に、地上解像度 12cm（地図情報レベル 1000 を想定したときの代表的な解像度）で鉛直方向の解像度 1.5m/px のテクスチャを貼り付けることができる最小ラップ率を算出する。

4) 「垂直カメラ」と「多方向カメラ」のテクスチャの品質及びコスト比較

「垂直カメラ：撮影重複度 0L60%-SL30%」、「垂直カメラ：撮影重複度 0L80%-SL60%」、「多方向カメラ：0L60%-SL50%」の 3 パターンのコストを比較する。なお、対象は、新潟県上越市の建築物モデル LOD2 とする。

2-4. 調査結果

2-4-1. 壁面テクスチャの適切な鉛直方向の解像度

- 建築物の壁面テクスチャ画像の適切な鉛直方向の解像度は、1.5m/px 以下が望ましいと判断した

一般的な住居等の建築物の階高は 3m 程度のことが多い。鉛直方向の解像度を 1.5m/px とすると、1 階層を 2px で表現することができる。2.0m/px で表現される壁面のテクスチャ画像と比較すると、1.5m/px 以下の細かさの解像度をもつテクスチャ画像では、建築物の階数の把握ができるようになる。

表 2-2 鉛直方向の解像度が異なるテクスチャ画像の比較（その 1）




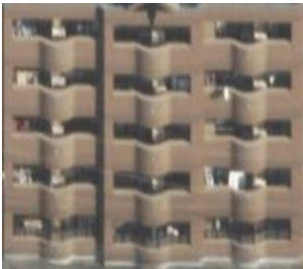




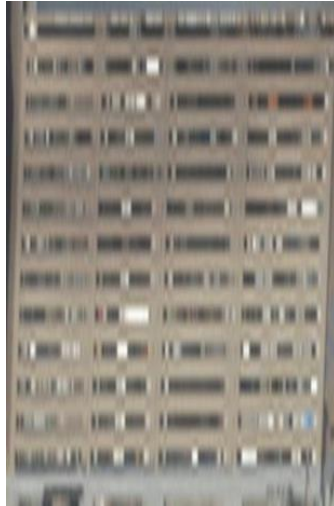



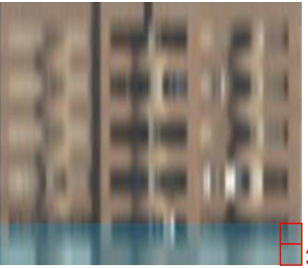
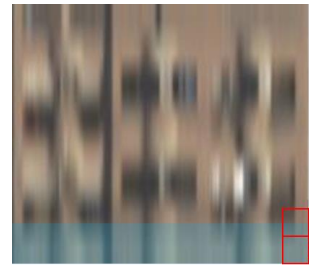




解像度	0.1m	0.5m	1.0m
低層建築物			
中層建築物			
高層建築物			

表 2-3 鉛直方向の解像度が異なるテクスチャ画像の比較 (その 2)

解像度	1.5m	2.0m	2.5m
低層建築物			
中層建築物			
高層建築物			

2-4-2. 撮影条件と鉛直方向の解像度の関係

表 2-4 の事例は、写真の主点と被写体との距離と鉛直方向の解像度の関係を示したものである。鉛直方向の解像度が 1.5m より粗くなる条件を赤で示している。

写真主点からおよそ 150m の位置より一定の高さ以上の被写体は 1.5m より細かな解像度となり、170m の位置では低い被写体でも 1.5m より細かい解像度となる。

表 2-4 UltraCam Eagle Mark1 を例とした単写真の中心からの距離と鉛直方向の解像度の関係

UltraCam Eagle Mark1 の特性		100.5mm		
● 焦点距離		4 μ m		
● ピクセルサイズ		10cm		
● 地上解像度		X 軸 17004px、Y 軸 26460px		
● 画像サイズ		単写真の中心からの距離と鉛直方向の解像度の関係		
Rv【単位：m】				
地上からの高さ				
300		19.48 9.74 6.49 4.87 3.90 3.25 2.78 2.44 2.16 1.95 1.77 1.62 1.50 1.39 1.30 1.22 1.15 1.08 1.03 0.97 0.93 0.89 0.85 0.81 0.78 0.75 0.72 0.70 0.67 0.65		
290		19.66 9.83 6.55 4.91 3.93 3.28 2.81 2.46 2.18 1.97 1.79 1.64 1.51 1.40 1.31 1.23 1.16 1.09 1.03 0.98 0.94 0.89 0.85 0.82 0.79 0.76 0.73 0.70 0.68 0.66		
280		19.84 9.92 6.61 4.96 3.97 3.31 2.83 2.48 2.20 1.98 1.80 1.65 1.53 1.42 1.32 1.24 1.17 1.10 1.04 0.99 0.94 0.90 0.86 0.83 0.79 0.76 0.73 0.71 0.68 0.66		
270		20.02 10.01 6.67 5.00 4.00 3.34 2.86 2.50 2.22 2.00 1.82 1.67 1.54 1.43 1.33 1.25 1.18 1.11 1.05 1.00 0.95 0.91 0.87 0.83 0.80 0.77 0.74 0.71 0.69 0.67		
260		20.19 10.10 6.73 5.05 4.04 3.37 2.88 2.52 2.24 2.02 1.84 1.68 1.55 1.44 1.35 1.26 1.19 1.12 1.06 1.01 0.96 0.92 0.88 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.70 0.67		
250		20.37 10.19 6.79 5.09 4.04 3.37 2.88 2.52 2.24 2.02 1.84 1.68 1.55 1.44 1.35 1.26 1.19 1.12 1.06 1.01 0.96 0.92 0.88 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.70 0.67		
240		20.55 10.28 6.85 5.14 4.04 3.37 2.88 2.52 2.24 2.02 1.84 1.68 1.55 1.44 1.35 1.26 1.19 1.12 1.06 1.01 0.96 0.92 0.88 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.70 0.67		
230		20.74 10.37 6.91 5.18 4.04 3.37 2.88 2.52 2.24 2.02 1.84 1.68 1.55 1.44 1.35 1.26 1.19 1.12 1.06 1.01 0.96 0.92 0.88 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.70 0.67		
220		20.92 10.46 6.97 5.23 4.04 3.37 2.88 2.52 2.24 2.02 1.84 1.68 1.55 1.44 1.35 1.26 1.19 1.12 1.06 1.01 0.96 0.92 0.88 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.70 0.67		
210		21.10 10.55 7.03 5.28 4.04 3.37 2.88 2.52 2.24 2.02 1.84 1.68 1.55 1.44 1.35 1.26 1.19 1.12 1.06 1.01 0.96 0.92 0.88 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.70 0.67		
200		21.28 10.64 7.09 5.32 4.04 3.37 2.88 2.52 2.24 2.02 1.84 1.68 1.55 1.44 1.35 1.26 1.19 1.12 1.06 1.01 0.96 0.92 0.88 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.70 0.67		
190		21.47 10.73 7.16 5.37 4.04 3.37 2.88 2.52 2.24 2.02 1.84 1.68 1.55 1.44 1.35 1.26 1.19 1.12 1.06 1.01 0.96 0.92 0.88 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.70 0.67		
180		21.65 10.83 7.22 5.41 4.33 3.61 3.09 2.71 2.41 2.17 1.97 1.80 1.67 1.55 1.44 1.35 1.27 1.20 1.14 1.08 1.03 0.99 0.94 0.90 0.86 0.83 0.80 0.77 0.74 0.72 0.69		
170		21.84 10.92 7.28 5.46 4.37 3.64 3.12 2.73 2.43 2.18 1.99 1.82 1.68 1.56 1.46 1.37 1.28 1.21 1.15 1.09 1.04 1.00 0.96 0.92 0.88 0.85 0.82 0.79 0.76 0.73 0.71 0.69		
160		22.03 11.01 7.34 5.51 4.41 3.67 3.15 2.75 2.45 2.20 2.00 1.84 1.69 1.57 1.47 1.38 1.30 1.22 1.16 1.10 1.05 1.01 0.97 0.93 0.89 0.86 0.83 0.80 0.77 0.74 0.72 0.69		
150		22.22 11.11 7.40 5.55 4.44 3.70 3.17 2.78 2.47 2.22 2.02 1.85 1.71 1.59 1.48 1.39 1.31 1.23 1.17 1.11 1.06 1.01 0.97 0.93 0.89 0.86 0.83 0.80 0.77 0.74 0.72 0.69		
140		22.40 11.20 7.47 5.60 4.48 3.73 3.20 2.80 2.49 2.24 2.04 1.87 1.72 1.60 1.49 1.40 1.32 1.24 1.18 1.12 1.07 1.02 0.98 0.94 0.90 0.87 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.69		
dH(m)	130	22.59 11.30 7.53 5.65 4.52 3.77 3.23 2.82 2.51 2.26 2.05 1.88 1.74 1.61 1.51 1.41 1.33 1.26 1.19 1.13 1.08 1.03 0.98 0.94 0.90 0.87 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.69		
	120	22.78 11.39 7.59 5.70 4.56 3.80 3.25 2.85 2.53 2.28 2.07 1.90 1.75 1.63 1.52 1.42 1.34 1.27 1.20 1.14 1.08 1.04 0.99 0.95 0.91 0.88 0.84 0.81 0.79 0.76 0.73 0.71 0.68 0.66		
	110	22.97 11.49 7.66 5.74 4.59 3.83 3.28 2.87 2.55 2.30 2.09 1.91 1.77 1.64 1.53 1.44 1.35 1.28 1.21 1.15 1.09 1.04 1.00 0.96 0.92 0.88 0.85 0.82 0.79 0.76 0.73 0.71 0.68 0.66		
	100	23.17 11.58 7.72 5.79 4.63 3.86 3.31 2.90 2.57 2.32 2.11 1.93 1.78 1.65 1.54 1.45 1.36 1.29 1.22 1.16 1.10 1.05 1.01 0.97 0.93 0.89 0.86 0.83 0.80 0.77 0.74 0.72 0.69		
	90	23.36 11.68 7.79 5.84 4.67 3.89 3.34 2.92 2.60 2.34 2.12 1.95 1.80 1.67 1.56 1.46 1.37 1.30 1.23 1.17 1.11 1.06 1.02 0.98 0.94 0.90 0.87 0.83 0.81 0.78 0.75 0.72 0.69		
	80	23.55 11.78 7.85 5.89 4.71 3.93 3.36 2.94 2.62 2.36 2.14 1.96 1.81 1.68 1.57 1.47 1.39 1.31 1.24 1.18 1.12 1.07 1.02 0.98 0.94 0.91 0.87 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.69		
	70	23.75 11.87 7.91 5.94 4.75 3.96 3.39 2.97 2.64 2.37 2.16 1.98 1.83 1.70 1.58 1.48 1.40 1.32 1.25 1.19 1.13 1.08 1.03 0.99 0.95 0.91 0.88 0.85 0.82 0.79 0.76 0.73 0.71 0.68 0.66		
	60	23.94 11.97 7.98 5.98 4.79 3.99 3.42 2.99 2.66 2.39 2.18 1.99 1.84 1.71 1.60 1.50 1.41 1.33 1.26 1.20 1.14 1.09 1.04 1.00 0.96 0.92 0.88 0.85 0.82 0.79 0.76 0.73 0.71 0.68 0.66		
	50	24.14 12.07 8.05 6.03 4.83 4.02 3.45 3.02 2.68 2.41 2.19 2.01 1.86 1.72 1.61 1.51 1.42 1.34 1.27 1.21 1.15 1.10 1.05 1.01 0.97 0.93 0.89 0.86 0.83 0.80 0.77 0.74 0.72 0.69		
	40	24.33 12.17 8.11 6.08 4.87 4.06 3.48 3.04 2.70 2.43 2.21 2.03 1.87 1.74 1.62 1.52 1.43 1.35 1.28 1.22 1.16 1.11 1.06 1.02 0.98 0.94 0.91 0.87 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.69		
	30	24.53 12.26 8.18 6.13 4.91 4.09 3.50 3.07 2.73 2.45 2.23 2.04 1.89 1.75 1.64 1.53 1.44 1.36 1.29 1.23 1.17 1.12 1.07 1.03 0.99 0.95 0.91 0.88 0.84 0.81 0.79 0.76 0.73 0.71 0.68 0.66		
	20	24.73 12.36 8.24 6.18 4.95 4.12 3.53 3.09 2.75 2.47 2.25 2.06 1.90 1.77 1.65 1.55 1.45 1.37 1.30 1.24 1.18 1.13 1.08 1.04 1.00 0.96 0.92 0.88 0.85 0.82 0.79 0.76 0.73 0.71 0.68 0.66		
	10	24.93 12.46 8.31 6.23 4.99 4.15 3.56 3.12 2.77 2.49 2.27 2.08 1.92 1.78 1.66 1.56 1.47 1.38 1.31 1.25 1.19 1.14 1.09 1.05 1.01 0.97 0.93 0.89 0.86 0.83 0.80 0.77 0.74 0.72 0.69		
	0	25.13 12.56 8.38 6.28 5.03 4.19 3.59 3.14 2.79 2.51 2.28 2.09 1.93 1.79 1.68 1.57 1.48 1.40 1.32 1.26 1.20 1.15 1.10 1.06 1.02 0.98 0.94 0.91 0.87 0.84 0.81 0.78 0.75 0.72 0.69		
L(m)		0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300		
Pdx		0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000 2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800 2900 3000		
Pdy		0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000 2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800 2900 3000		
%(X)		- 1.2% 2.4% 3.5% 4.7% 5.9% 7.1% 8.2% 9.4% 10.6% 11.8% 12.9% 14.1% 15.3% 16.5% 17.6% 18.8% 20.0% 21.2% 22.3% 23.5% 24.7% 25.9% 27.1% 28.2% 29.4% 30.6% 31.8% 32.9% 34.1% 35.3%		
%(Y)		- 0.8% 1.5% 2.3% 3.0% 3.8% 4.5% 5.3% 6.0% 6.8% 7.6% 8.3% 9.1% 9.8% 10.6% 11.3% 12.1% 12.8% 13.6% 14.4% 15.1% 15.9% 16.6% 17.4% 18.1% 18.9% 19.7% 20.4% 21.2% 21.9% 22.7%		
		↑		
		単写真の中心位置	単写真の中心位置に近づく	単写真の中心位置から遠ざかる

この関係を写真上に展開すると図 2-1 のとおり表すことができ、接する空中写真の重複度を調整することで赤（鉛直方向の解像度が 1.5m より粗く不鮮明や欠損となる）の範囲を回避することができる。

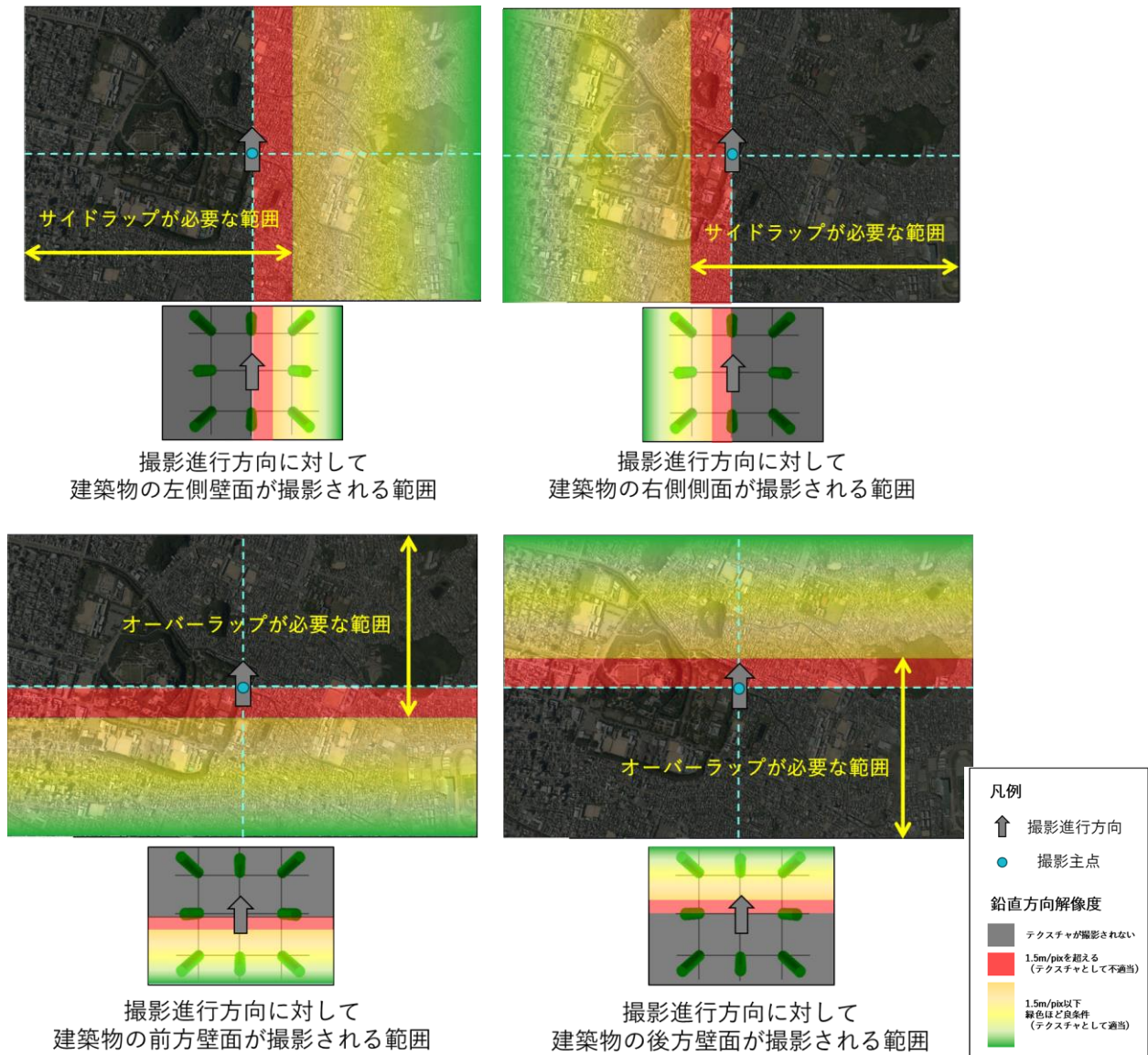


図 2-1 撮影条件を考慮した鉛直方向の解像度解析イメージ

2-4-3. 主なデジタル航空カメラの推奨撮影条件（重複度）

適切な撮影重複度は焦点距離が大きく影響するため、焦点距離に応じ分類すると、適切な撮影重複度は表 2-5 のとおり整理することができる。

表 2-5 建築物の壁面テクスチャ作成に適切な撮影重複度（航空カメラの焦点距離で分類）

航空カメラの 焦点距離 (mm)	OL:80×SL:80	OL:80×SL:60	OL:60×SL:60	OL:60×SL:30
$f \leq 92$	推奨	推奨	条件付推奨※	推奨しない
$100 < f \leq 120$	推奨	条件付推奨※	推奨しない	推奨しない
$146 \leq f$	推奨	推奨しない	推奨しない	推奨しない

f : 焦点距離

※ : センササイズが著しく小さい場合、この撮影重複度を推奨しない

代表的な航空カメラごとの鉛直方向の解像度 1.5m/px を確保するために必要となる撮影重複度を表 2-6 に示す。

表 2-6 鉛直方向の解像度 1.5m/px を確保するための代表的な航空カメラの撮影重複度

区分	カメラ名	焦点距離 (mm)	ピクセルサイズ (μm)	画像サイズ		テクスチャ不適範囲(m) (写真主点からの距離)	鉛直方向の最小解像度 (cm/px)	X 軸 (OL) 方向ラップ範囲 (%)	Y 軸 (SL) 方向ラップ範囲 (%)
				X 軸 (OL) 方向	Y 軸 (SL) 方向				
垂直	DMC	120.0	12.00	7,680	13,824	96.0	0.31	60.4	55.8
垂直	DMC II 140	92.0	7.20	11,200	12,096	122.6	0.27	59.1	58.4
垂直	DMC II 230	92.0	5.60	14,144	15,552	157.7	0.28	59.3	58.5
垂直	DMC II 250	112.0	5.60	14,016	16,768	192.0	0.33	61.4	59.5
垂直	DMC III	92.0	3.90	14,592	25,728	226.4	0.39	62.9	57.3
垂直	UltraCam Falcon Mark 2	70.0	6.00	11,310	17,310	112.0	0.25	58.3	55.4
垂直	UltraCam Falcon Mark 2	101.7	6.00	11,310	17,310	162.7	0.36	62.0	57.8
多方向	UltraCamOs prey4.1	79.6	3.76	14,016	20,544	203.2	0.36	62.1	58.2
多方向	CityMapper-2	71.0	3.76	10,640	14,192	181.2	0.43	64.2	60.6
多方向	CityMapper-2	112.0	3.76	10,640	14,192	285.9	0.68	72.4	66.8
多方向	CityMapper-2	146.0	3.76	10,640	14,192	372.7	0.89	79.2	71.9
レーザ	Terrain Mapper-2	71.0	3.76	10,640	14,192	181.2	0.43	64.2	60.6

技術検証レポート_多方向カメラを用いた空中写真測量による 3D 都市モデル整備手法に関する調査

区分	カメラ名	焦点距離 (mm)	ピクセルサイズ (μm)	画像サイズ		テクスチャ不適用範囲 (m) (写真主点からの距離)	鉛直方向の最小解像度 (cm/px)	X 軸 (OL) 方向ラップ範囲 (%)	Y 軸 (SL) 方向ラップ範囲 (%)
				X 軸 (OL) 方向	Y 軸 (SL) 方向				
レーザ	RCD30	53.0	6.00	7,752	10,320	84.8	0.28	59.1	56.8
レーザ	RCD30	83.0	6.00	7,752	10,320	132.8	0.43	64.3	60.7
垂直	UltraCam Eagle M1	79.8	5.20	13,080	20,010	147.3	0.28	59.4	56.1
垂直	UltraCam Eagle M1	100.5	5.20	13,080	20,010	185.5	0.36	61.8	57.7
垂直	UltraCam Eagle M1	210.0	5.20	13,080	20,010	387.6	0.75	74.7	66.1
垂直	UltraCam Eagle M2	79.8	4.60	14,790	23,010	166.5	0.28	59.4	56.0
垂直	UltraCam Eagle M2	100.5	4.60	14,790	23,010	209.7	0.36	61.8	57.6
垂直	UltraCam Eagle M2	210.0	4.60	14,790	23,010	438.2	0.75	74.7	65.9
垂直	UltraCam Eagle M3	79.8	4.00	17,004	26,460	191.5	0.28	59.4	56.0
垂直	UltraCam Eagle M3	100.5	4.00	17,004	26,460	241.2	0.35	61.8	57.6
垂直	UltraCam Eagle M3	210.0	4.00	17,004	26,460	504.0	0.74	74.7	65.9
垂直	UltraCam Eagle M4.1	90.0	3.76	18,060	28,110	229.7	0.32	60.6	56.8
垂直	UltraCam Eagle M4.1	120.0	3.76	18,060	28,110	306.3	0.43	64.1	59.1
垂直	UltraCam Eagle M4.1	150.0	3.76	18,060	28,110	382.9	0.53	67.7	61.4
垂直	UltraCam Falcon	100.5	6.00	11,310	17,310	160.8	0.36	61.8	57.7
垂直	UltraCam Falcon Prime	70.5	6.00	11,310	17,310	112.8	0.25	58.3	55.4
垂直	UltraCam Falcon Prime	100.5	6.00	11,310	17,310	160.8	0.36	61.8	57.7
垂直	UltraCam X	100.5	7.20	9,420	14,430	134.0	0.36	61.9	57.7
垂直	UltraCam Xp	70.0	6.00	11,310	17,310	112.0	0.16	58.3	55.4
垂直	UltraCam Xp	100.5	6.00	11,310	17,310	160.8	0.36	61.8	57.7
垂直	UltraCam Xp Wide Angle	70.5	6.00	11,310	17,310	112.8	0.25	58.3	55.4

(※地上解像度は 12cm)

2-4-4. 垂直カメラと多方向カメラのテクスチャの品質及びコスト比較

表 2-7 は、垂直カメラと多方向カメラのそれぞれの撮影成果から作成した建築物モデル LOD2 のテクスチャ画像のイメージである。この比較結果から、多方向カメラによって撮影されたテクスチャ画像の方が、窓等の建築物の開口部の形状を鮮明に表現できることが分かる。

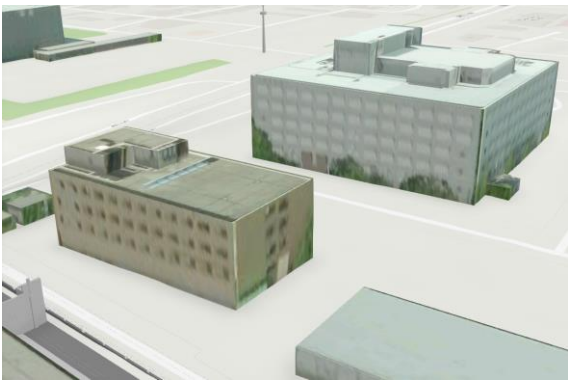



多方向カメラは広範囲にわたり、より現実世界に近いテクスチャ画像の生成が可能であり、都市のランドマーク等を詳細に作成する際に有効である。

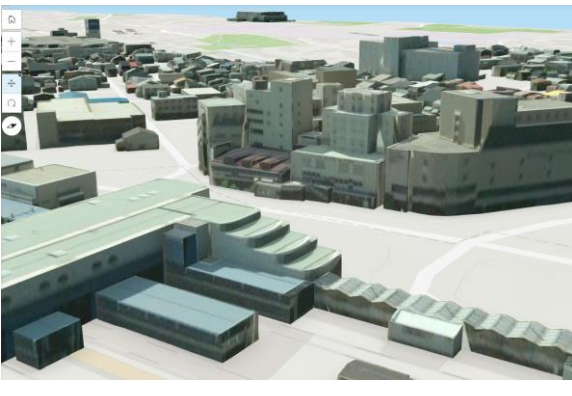

また、中核市・特例市レベル（約 30k m²）を想定した垂直カメラ及び多方向カメラによる空中写真撮影の作業コストを表 2-8 に比較した。

多方向カメラは、斜め視カメラから被写体を写す必要があるため、撮影対象エリアの外側から内側に向かって撮影を行う必要がある。

多方向カメラの直下視は垂直カメラと同等の精度であることがほとんどであり都市計画基本図の更新等に使用することができるが、一方で撮影のコース数やコースの延長が増えるため、垂直カメラによる撮影と比較するとコストが増大する。

表 2-7 垂直カメラと多方向カメラのテクスチャ画像の比較

撮影 エリア	垂直カメラ (OL:80×SL:60) DMC II 230	多方向カメラ (OL:60×SL:50) City Mapper-2
上 越 市 役 所		
高 田 駅 周 辺		

撮影 エリア	垂直カメラ (OL:80×SL:60) DMC II 230	多方向カメラ (OL:60×SL:50) City Mapper-2
直江津市周辺		

垂直カメラ及び多方向カメラで撮影したテクスチャ画像の解像度を図 2-2 に示す。

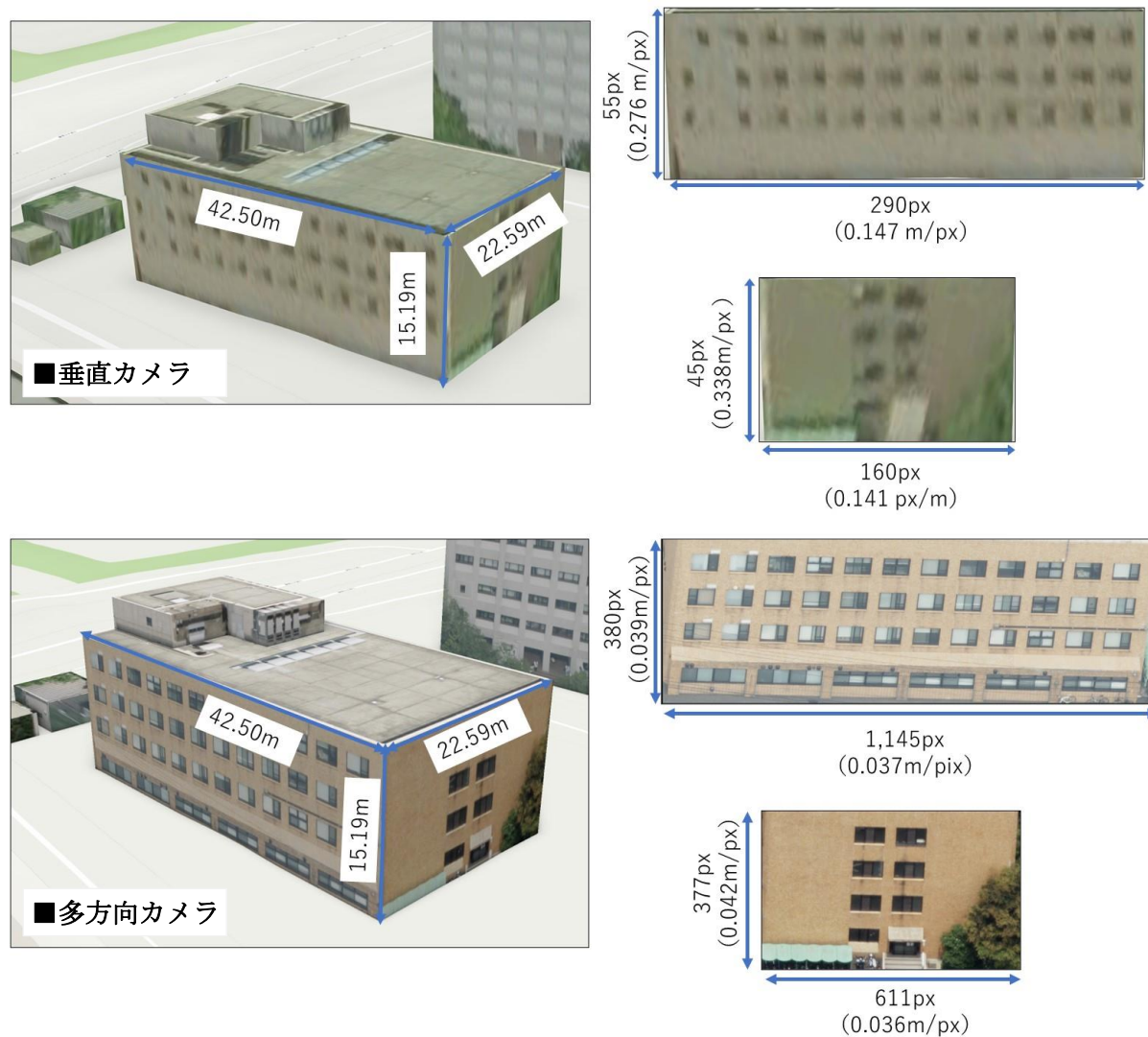
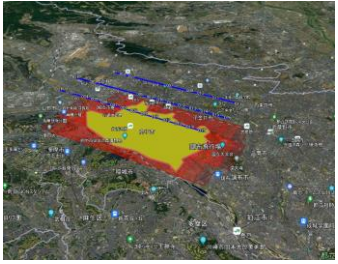
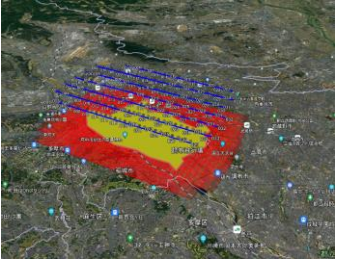
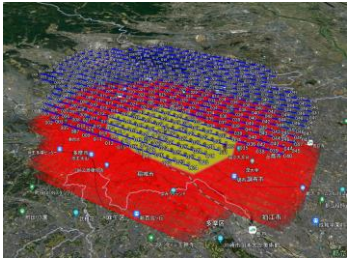


図 2-2 同一の建築物を対象とした垂直カメラ及び多方向カメラのテクスチャ画像の解像度の比較例

表 2-8 垂直カメラと多方向カメラの撮影コストの試算（中核市・特例市レベル約 30k m²を想定）

比較項目	①垂直カメラ 従来の空中写真撮影 機材：UltraCam Eagle Mark4.1	②垂直カメラ 鉛直解像度 1.5m/px 機材：UltraCam Eagle Mark4.1	③多方向カメラ 機材：CityMapper-2 (MFC150)
重複度	OL：60×SL：30	OL：80×SL：60	OL：60×SL：50 (※直下視)
コース数	3	7	22
写真枚数	44	212	839 (斜め視画像枚数は除く)
撮影コスト※	370 万円	530 万円	1340 万円
イメージ			

※撮影コストは令和 5 年度版設計業務等標準積算基準書を参考とした。

3. 多方向カメラを用いた建築物モデル LOD3 の整備手法の調査

3-1. 調査目的

- 多方向カメラの位置正確度と形状再現度を検証し、建築物モデル LOD3 作成の適用可能性を明らかにする
- 多方向カメラによる整備手法の特徴を整理し、その使用場面を明らかにする

3-2. 調査内容

表 3-1 多方向カメラを用いた建築物モデル LOD3 の整備手法の調査内容

課題	調査内容	
建築物モデル LOD3 の整備 コスト	①	多方向カメラ撮影成果の位置正確度の検証
	②	建築物モデル LOD3.0 モデリングによる形状再現度の検証
	③	「多方向カメラ」を用いた LOD3 建築物整備の評価

3-3. 調査方法

1) 多方向カメラ撮影成果の位置正確度の検証

地上の正しい位置の検証のため GNSS 測量成果との較差を評価する。また、壁面の正しい位置を観測できるか検証のため車載写真レーザ測量成果との較差を評価する。多方向カメラによる撮影成果が、建築物モデル LOD3 の満足する位置正確度を確保できることを検証する。

2) 建築物モデル LOD3.0 のモデリングによる形状再現度の検証

多方向カメラによる撮影成果を用いた建築物モデル LOD3.0 の図化作業を行い、建築物形状の再現度・詳細度及びその作業能率を検証する。また、対象は LOD3.0 の大規模建築物と小規模建築物、ジオメトリ作成とテクスチャ作成に分け、次の条件でコスト算定する。

- 垂直カメラ
 - ジオメトリ作成：壁面 3 面図化、建築物の裏側及び高層階は空撮成果で補完
 - テクスチャ作成：複数のセンサで取得された画像を使用するため手作業で貼付
- 多方向カメラ
 - ジオメトリ作成：壁面 4 面図化（建築物の裏側、高層階も図化可能）
 - テクスチャ作成：テクスチャの自動貼付処理が可能

3) 「多方向カメラ」を用いた建築物モデル LOD3.0 整備の評価

技術検証レポート_多方向カメラを用いた空中写真測量による 3D 都市モデル整備手法に関する調査

LOD3.0 の整備を含むトータルコストを「垂直カメラ+MMS（車載写真レーザ測量）」による整備手法と比較する。また、それぞれの手法の建築物モデル LOD3.0 整備における適用場面を整理する。

3-4. 調査結果

3-4-1. 多方向カメラ撮影成果の位置正確度の検証

新潟県上越市の越後ときめき鉄道沿線を対象に、多方向カメラの直下視の地上画素寸法（地上解像度）を 3cm で撮影した成果の位置正確度を検証した。

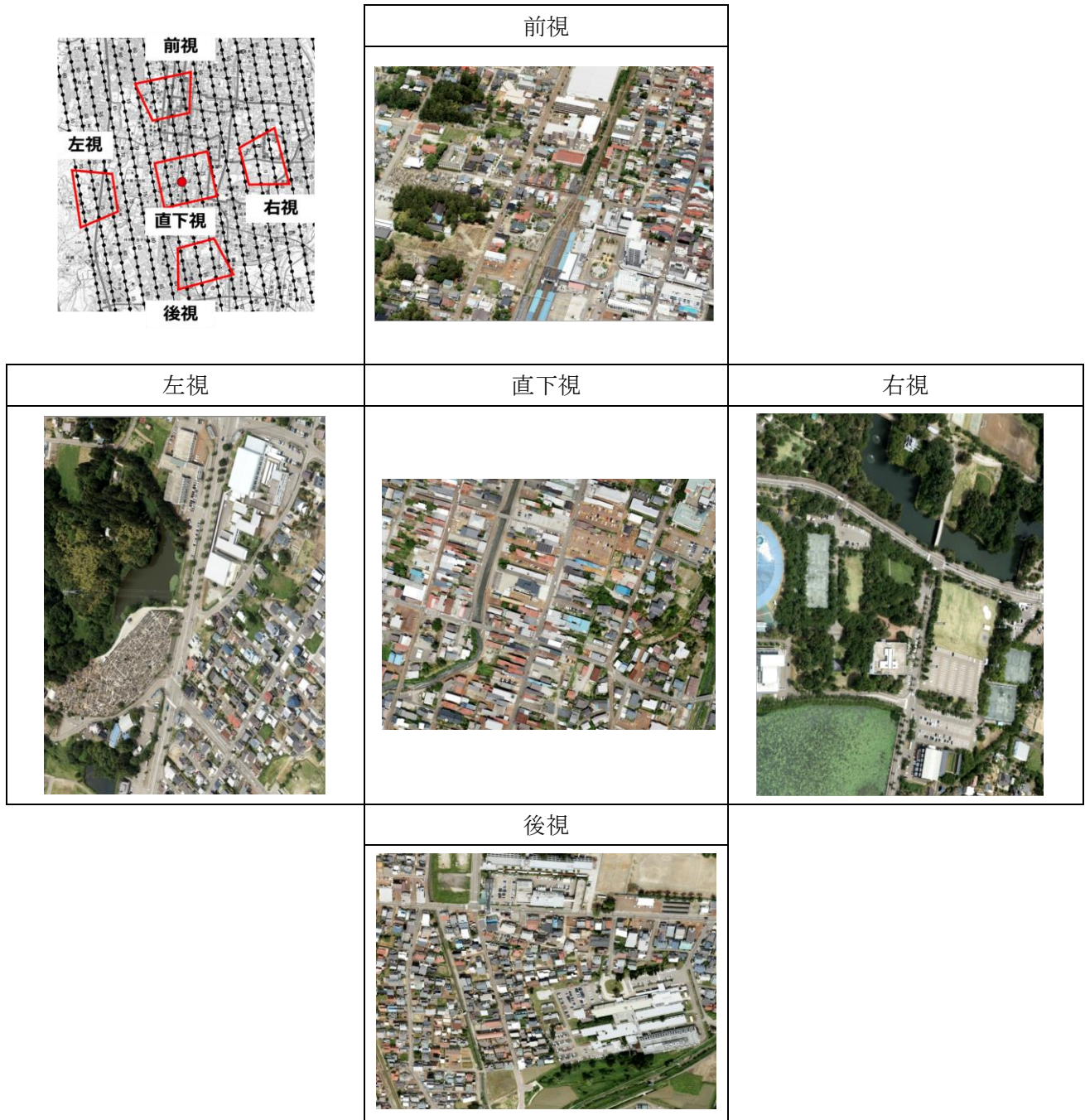


図 3-1 検証対象とした多方向カメラの撮影成果のイメージ

多方向カメラの撮影成果の位置正確度の検証は、GNSS 測量で観測した検証点との比較及び車載写真レ

レーザ測量成果との比較を行った。

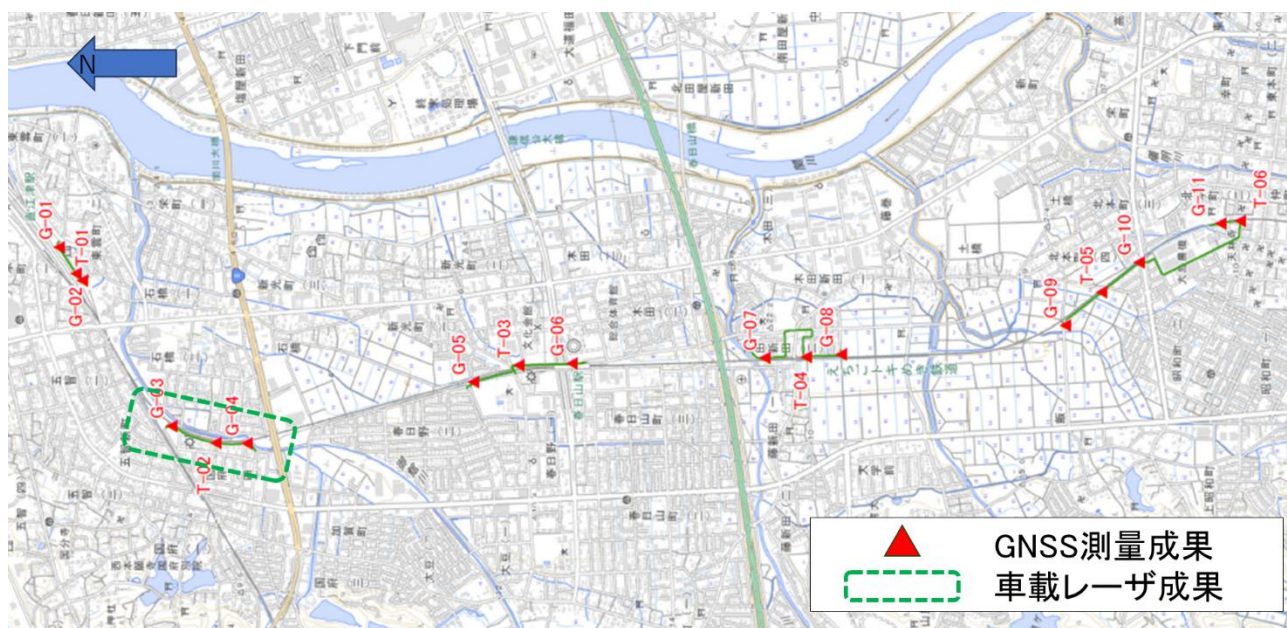


図 3-2 GNSS 測量成果の検証点配点図と MMS 計測路線

1) GNSS 測量成果との較差検証

測量成果との較差の RMSE (平均二乗誤差) を表 3-2 及び図 3-3、較差の最大値を表 3-3 及び図 3-4 に示す。

RMSE は観測値 (多方向カメラの撮影成果から得た座標) と真とみなす値 (ここでは GNSS 測量成果) の較差のばらつきを表したものであり、この値が小さいほど精度が高いといえる。また、較差の最大値は、異常値を含んでいないことを確認するために用いる。

RMSE は、水平及び標高とも前後視及び直下視は 10cm 程度、左右視は 5cm 程度であり、良好な精度を有していることが確認できた。特に左右視は特に高精度であった。また、最大値も大きな較差がないことも確認できた。RMSE と同様に、前後視及び直下視より左右視のほうが較差は小さい傾向であった。

表 3-2 GNSS 測量成果との較差の RMSE (平均二乗誤差)

RMSE	X	Y	S(斜距離)	Z
Nadir	0.081	0.046	0.093	0.124
Forward	0.065	0.121	0.137	0.112
Backward	0.053	0.069	0.087	0.084
Left	0.059	0.045	0.074	0.051
Right	0.069	0.051	0.086	0.058

単位:m



図 3-3 GNSS 測量成果との RMSE (平均二乗誤差)

表 3-3 GNSS 測量成果との較差の最大値

Max	X	Y	S(斜距離)	Z
Nadir	0.146	0.112	0.171	0.250
Forward	0.123	0.230	0.230	0.213
Backward	0.109	0.166	0.188	0.190
Left	0.132	0.077	0.139	0.096
Right	0.167	0.104	0.169	0.107

単位:m

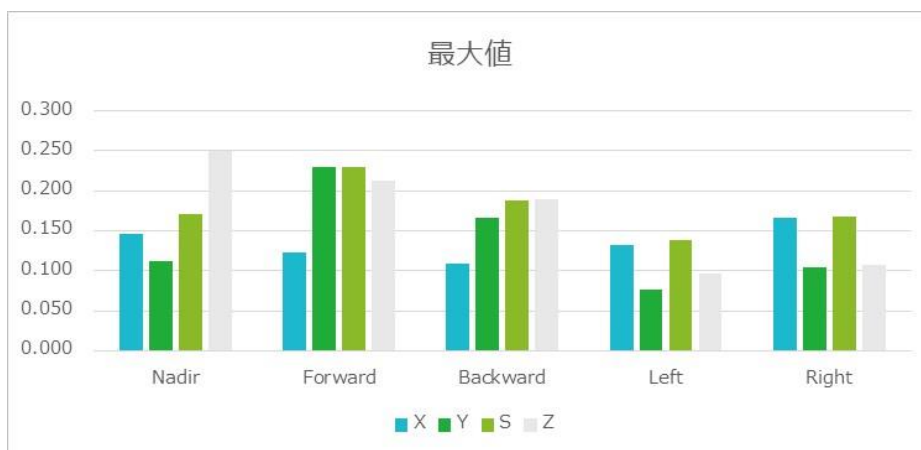


図 3-4 GNSS 測量成果との較差の最大値

なお、GNSS 測量成果の検証点（真とみなす値）は、区画線や柵の角などの明瞭な位置を観測した。

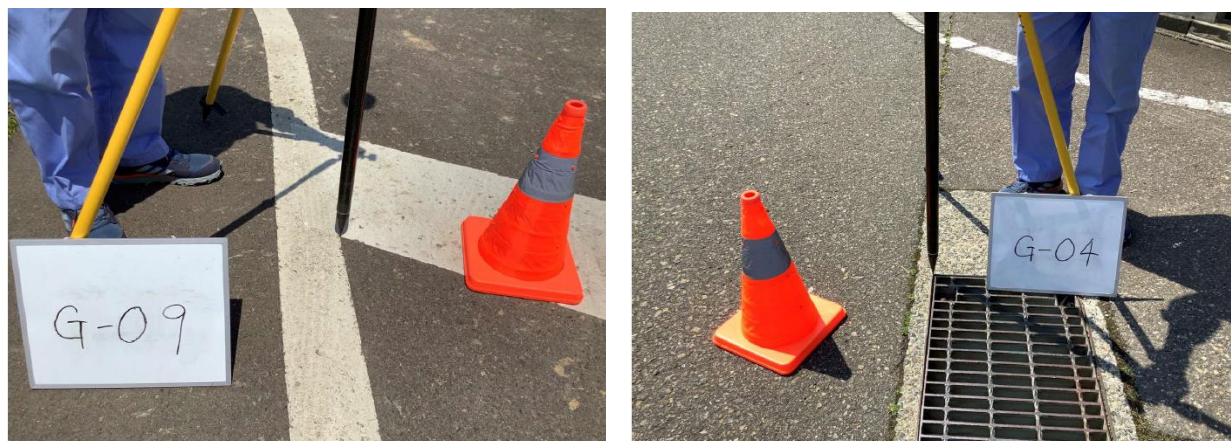


図 3-5 検証点の観測位置

2) 車載写真レーザ測量成果との較差検証

多方向カメラの撮影成果と車載写真レーザ測量成果との較差は、RMSE は水平及び標高成分共に 10cm 程度であり、同等の品質をもつ成果であることを確認した。

なお、車載写真レーザ測量成果は、公共測量作業規程の準則にもとづき実施した成果であり、地図情報レベル 500 の精度が確保されている。点群成果は 100 万点/秒の照射性能を備えたセンサを 2 台使用しており、400 点/m² を上回る点密度を有する。

表 3-4 車載写真レーザ測量との較差 RMSE (平均二乗誤差)

RMSE	X	Y	S	Z
C13-Right	0.098	0.064	0.117	0.094

単位:m



図 3-6 車載写真レーザ測量との較差 RMSE (平均二乗誤差)

表 3-5 車載写真レーザ測量との較差最大値

Max	X	Y	S	Z
C13-Right	0.199	0.120	0.204	0.225

単位:m

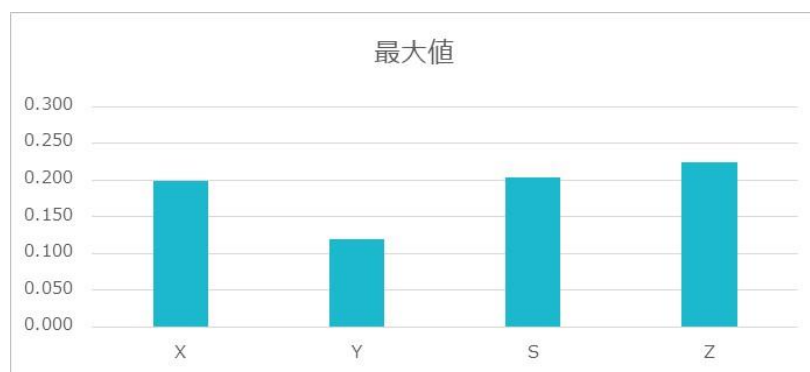


図 3-7 車載写真レーザ測量との較差最大値

車載写真レーザ測量成果の検証は、建築物の壁面上の明瞭な位置で実施した。



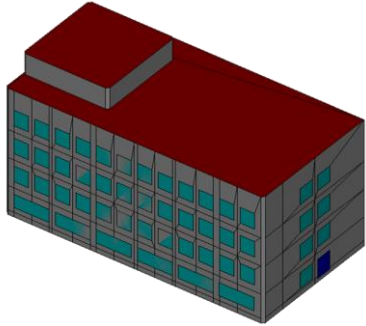
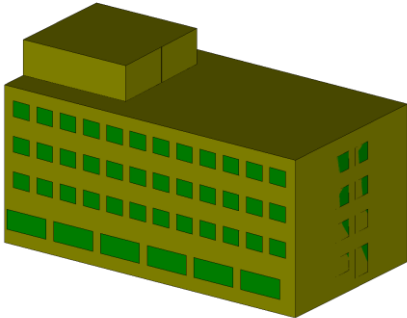
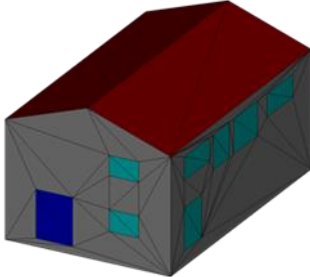
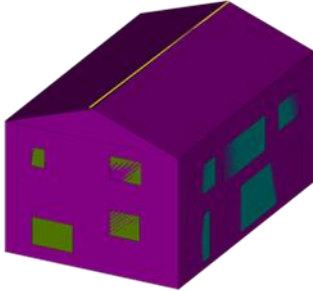
図 3-8 多方向カメラ（左図）と車載写真レーザ測量（右図）の成果の較差検証事例

3-4-2. 建築物モデル LOD3.0 のモデリングによる形状再現度の検証

車載写真レーザ測量成果及び垂直カメラ撮影成果を用いた従来手法と、多方向カメラ撮影成果を用いた新手法によってそれぞれモデリングした建築物モデル LOD3.0 を表 3-6 に示す。

また、多方向カメラ撮影成果から作成した新潟県上越市の建築物モデル LOD3 の試作事例を図 3-9 に示す。

表 3-6 検証用に作成した建築物モデル LOD3.0

建築物の分類	①従来手法：車載写真レーザ測量+垂直カメラ	②新手法：多方向カメラ
大規模建築物		
小規模建築物		

■多方向カメラ撮影成果から作成した建築物モデル LOD3 の試作事例 1



■多方向カメラ撮影成果から作成した建築物モデル LOD3 の試作事例 2



図 3-9 多方向カメラ撮影成果から作成した建築物モデル LOD3 の試作事例

建築物モデル LOD3.0 の場合、建築物全体の外観、窓及びドアの有無・位置など、従来手法とのモデリング結果に大きな違いはなく、同等の詳細度で作成できることを確認した。

しかし、多方向カメラの撮影成果は、建築物の軒や庇によって壁面の一部が隠れてしまうため、建築物モデル LOD3.1 以上のモデルを作成した場合の軒裏の表現の位置正確度の保証が課題となる。

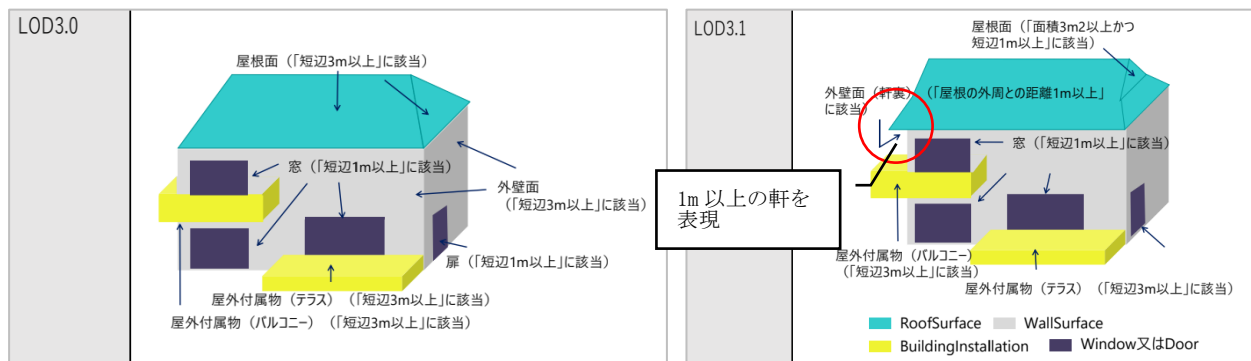


図 3-10 建築物モデル LOD3.0 と LOD3.1 の取得方法の違い

出典：3D 都市モデル標準製品仕様書 (<https://www.mlit.go.jp/plateaudocument/>)

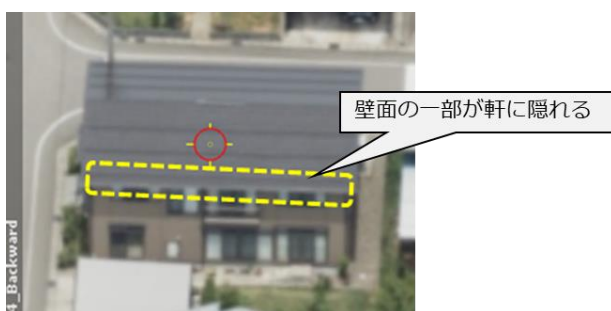


図 3-11 多方向カメラ撮影成果：軒に壁面の一部が隠れる事例

従来手法及び多方向カメラを用いた新手法における建築物モデル LOD3.0 のモデリング作業能率を表 3-7 に示す。

表 3-7 建築物モデル LOD3.0 のモデリング作業能率の比較

整備手法		①従来手法：車載写真レーザー測量+垂直カメラ	②新手法：多方向カメラ
		建築物モデル LOD3.0	建築物モデル LOD3.0
大規模 建築物	ジオメトリ作成	3.0 時間 ^{※1}	2.5 時間 ^{※2}
	テクスチャ貼付	3.0 時間	0.25 時間 ^{※3}
小規模 建築物	ジオメトリ作成	3.0 時間 ^{※4}	2.5 時間 ^{※3}
	テクスチャ貼付	3.0 時間	0.25 時間 ^{※3}

※1：建築物の裏側・高層階は空撮成果で補完、壁面は 3 面図化

※2：建築物の裏側、高層階も図化可能であり、壁面は 4 面図化

※3：自動処理

※4：建築物の裏側は空撮成果で補完、壁面を 3 面図化

3-4-3. 多方向カメラを用いた建築物モデル LOD3 整備手法の評価

中核市・特例市レベル（約 30k m²）を想定した建築物モデル LOD3.0 の整備コストについて、従来手法（車載写真レーザ測量＋垂直カメラ）と多方向カメラを用いた新手法を比較した結果を表 3-8～表 3-10 に示す。

表 3-8 従来手法と多方向カメラを用いた LOD3 整備手法のコスト比較

整備手法 工程	整備コスト（万円）		コスト試算条件等
	①従来手法 車載写真レーザ測量 ＋垂直カメラ	②新手法 多方向カメラ	
空中写真撮影	530	1,340	<ul style="list-style-type: none"> ● 撮影エリア 30k m² ● 垂直カメラ撮影重複度：0L80×SL60 ● 多方向カメラ直下視の撮影重複度：0L60×SL50
車載写真 レーザ測量	200	0	<ul style="list-style-type: none"> ● LOD3 整備範囲として延長 2km の計測
LOD1 作成	50	50	<ul style="list-style-type: none"> ● 中核市・特例市レベル（約 30k m²）を想定
LOD2.0 作成	120	120	<ul style="list-style-type: none"> ● LOD2 整備範囲として 1k m²
LOD3.0 作成 ：ジオメトリ	640	540	<ul style="list-style-type: none"> ● LOD3.0 の整備対象建築物として 300 棟
LOD3.0 作成 ：テクスチャ	640	60	<ul style="list-style-type: none"> ● LOD3.0 の整備対象建築物として 300 棟 ● 従来手法は主に手作業で実施、多方向カメラはテクスチャ付与を自動処理
合計	2,180	2,110	⇒多方向カメラを用いた整備手法では、空中写真撮影作業のコストは大きくなるが、特に LOD3.0 テクスチャの付与作業の自動化によるコスト低減効果大きい

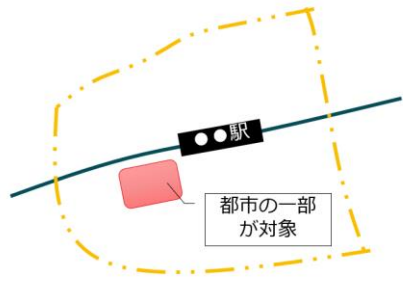
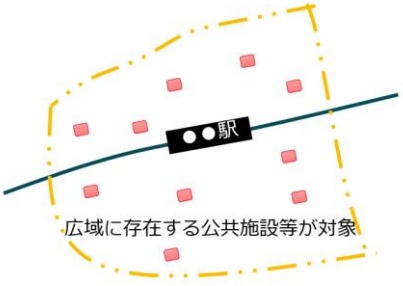
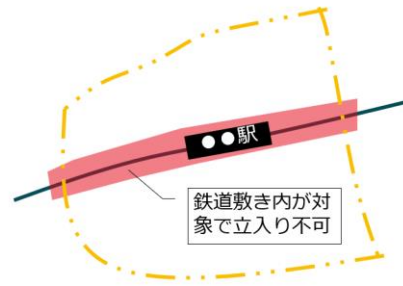
表 3-9 従来手法と多方向カメラを用いた LOD3 整備手法の特徴整理

特徴	①従来手法：車載写真レーザ測量＋垂直カメラ	②新手法：多方向カメラ
網羅性	<ul style="list-style-type: none"> ● 建築物の高層階や沿道に面していない部分（歩行者や植樹の遮蔽等も含む）は作成できない（局所的なモデリングとなる） ● 垂直カメラ画像等を併用しモデリング/テクスチャ貼付を行う 	<ul style="list-style-type: none"> ● 建築物同士の近接等の遮蔽がない限りあらゆる方向から図化できる（広範囲のモデリングが可能） ● 土地への立入り不要である

特徴	①従来手法：車載写真レーザ測量+垂直カメラ	②新手法：多方向カメラ
視認性	<ul style="list-style-type: none"> ● 点群データから地物形状を識別するためのノウハウが必要となる 	<ul style="list-style-type: none"> ● 画像（写真）データであり全体の形状や屋根形状を把握しやすい
形状再現性	<ul style="list-style-type: none"> ● 低層階の軒や庇等の奥行きが図化可能 ● 多方向カメラと比較し、詳細なモデリングが可能である（LOD3.3 まで対応可能） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 低層階の軒や庇等の奥行きを図化が課題 ● また車載写真レーザ測量の画像と比べ解像度が劣る

表 3-10 整備条件に応じた建築物モデル LOD3 の推奨整備手法

凡例：◎優位、○可能、△課題あり、×不可

建築物モデル LOD3 整備の条件 (前提)		①従来手法： 車載写真レーザ測量+垂直カメラ	②新手法：多 方向カメラ	活用イメージ
1	<ul style="list-style-type: none"> ● 対象地物がある程度まとまった範囲に存在し、地上測量可能であるケース（LOD3.0） ● 建築物 300 棟を大きく下回る規模感 	◎ (コスト面で優位)	○	 都市の一部が対象
2	<ul style="list-style-type: none"> ● 対象地物が広域にわたり、点在しているケース（LOD3.0） ● 建築物 300 棟を上回る規模感 	○	◎ (コスト面で優位)	 広域に存在する公共施設等が対象
3	<ul style="list-style-type: none"> ● 測量を行う際に土地への立入りが困難なケース（LOD3.0） 	× (物理的に撮影ができないため)	◎	 鉄道敷き内が対象で立入り不可

建築物モデル LOD3 整備の条件 (前提)		①従来手法： 車載写真レーザ測量+垂直カメラ	②新手法：多方向カメラ	活用イメージ
4	<ul style="list-style-type: none"> ● 対象地物の数が多いケース (LOD3.0) ● テクスチャ画像貼付作業が増大 	○	◎	 <p>広範囲に高品質テクスチャ</p>
5	<ul style="list-style-type: none"> ● LOD3.1 以上の詳細な形状が求められるケース 	◎	△ (LOD3.1 以上の詳細なモデリングが課題)	 <p>LOD3.1以上</p>

4. 成果と課題

4-1. 本調査・検討で得られた成果

本調査の結果にもとづき、2つの課題に対しては、以下の方法でデータ整備を進めることが効果的であると考えられる。

①建築物モデル LOD2 テクスチャ画像の品質

- 壁面テクスチャとして適切な鉛直方向の解像度は 1.5m 以内である
- 撮影条件と鉛直方向の解像度の関係を把握した。これをもとに主要な航空カメラの 3D 都市モデルのテクスチャに有効な推奨する撮影重複度を求めた（表 2-6）
- 多方向撮影成果はテクスチャ品質が向上する（特に建築物の紋章等を把握しやすくなり都市を代表するランドマーク的な建築物に有効）
- 多方向撮影のコストは垂直撮影と比較し、2.5～3.6 倍程度要する

②建築物モデル LOD3 の整備コスト

- 多方向写真撮影成果の位置正確度を GNSS 測量成果と車載写真レーザ測量の点群成果（壁面を対象とした）との較差で評価した結果、高い位置精度を有しており 3D 都市モデル作成に使用できる
- 多方向撮影成果によるモデリングは、軒裏表現も可能であるが LOD3.1 以上は品質確認が課題である
- ジオメトリ作成は従来手法である車載写真レーザ測量+垂直撮影成果によるモデリングと比較し、16%程作業効率が向上した
- 多方向撮影成果によるモデリングは、従来手法で観測できない建築物の裏手や高層階も対応可能である
- 多方向撮影は低層階の奥行き等の不得手な部分があり、現地の補備測量などの対応が必要となる
- 従来手法と多方向撮影成果による手法によるモデリングを実施した場合のコストを試算し、その活用ケースを整理した（表 3-8、表 3-10）

また、推奨ラップ率の算出や多方向カメラによる品質向上及びコスト縮減の可能性が確認できた。結果は 3D 都市モデル測量マニュアル及び 3D 都市モデルの導入ガイダンスのコラムとして取りまとめた。

今後の 3D 都市モデルデータ整備の検討での活用を想定し、本調査で得た成果を表 4-1 に整理した。

表 4-1 本調査・検討で得られた成果

調査・検討の観点			成果	
空中写真の撮影条件にもとづく建築物モデル LOD2 テクスチャ品質	1	壁面テクスチャに適切な壁面解像度	● 建築物の壁面テクスチャ画像の鉛直方向の解像度は、1.5m/px 以内とすることを推奨	
	2	壁面テクスチャに有効な撮影重複度	● テクスチャ画像の鉛直方向解像度を 1.5m/px とするために必要な撮影重複度を整理	
			航空カメラの焦点距離	撮影重複度
			f ≤ 92 (mm)	● OL:80%×SL:80% ● OL:80%×SL:60%
100 < f ≤ 120 (mm)			● OL:80%×SL:80%	
		146 ≤ f (mm)	● OL:80%×SL:80%	
	3	多方向撮影成果による壁面テクスチャの品質	● 建築物の細かな形状が読み取ることができ、垂直撮影成果と比較しテクスチャ品質が向上することを確認	
	4	多方向撮影成果と垂直撮影成果のコストの比較	● 多方向撮影のコストは垂直撮影のコストの 2.5~3.6 倍程度	
多方向カメラを用いた建築物モデル LOD3 の整備手法	1	位置正確度	● 地図情報レベル 500 の位置正確度を確保可能 ▶ GNSS 測量成果との較差は、水平、標高とも直下視は 10cm 程度、左右視は 5cm 程度であり良好な精度である ▶ 車載写真レーザ測量との較差水平、標高とも 10cm 程度であり良好な精度	
	2	形状再現度	● 建築物の場合、LOD3.0 の詳細度までモデリング可能 ▶ LOD3.1 以上の詳細度は、建築物の軒・庇によって視認できない箇所があるので、より詳細な検証が必要	
	3	能率・コスト	● 多方向撮影成果によるモデリングは撮影にコストを要するが、後続作業のモデリング及びテクスチャ貼付けが効率化される ● 広範囲又は整備棟数が多い場合に有効な整備手法となる	

4-2. 今後の課題と展望

今回の調査の結果、垂直写真のテクスチャ特性を改めて確認するとともに、多方向カメラを用いて建築物モデル LOD3.0 が作成できることが明らかとなった。特に詳細度の高い 3D 都市モデル整備において有効な空中写真の撮影方法が明らかとなったため、新規撮影を検討する際の一助として本調査結果の活用が望まれる。

今後は、本調査で実施した多方向カメラによる 3D 都市モデル整備において建築物以外にも詳細度の高い橋梁モデルや都市施設モデル等の適用を目指す。

また、多方向カメラ撮影成果による 3D 都市モデル整備は公共測量作業規程の準則に規定されていない新しい測量技術であり今後、公共測量への適合が期待される。

については、自治体が空中写真の撮影を行う際に、予め 3D 都市モデルの整備を見据えて検討してもらうため、本調査結果の頒布が必要である。

これにより、高詳細度の 3D 都市モデルを広範囲かつ効率的に整備できるようになり、3D 都市モデルの整備範囲の拡大を目指す。

表 4-2 今後の課題と対応

今後の課題		対応
1	3D 都市モデル整備も視野に入れた空中写真の撮影計画	<ul style="list-style-type: none"> ● 建築物等に貼付されるテクスチャ画像の鮮明さを確保するために必要となる空中写真撮影時に推奨重複度の周知 ● 従来の地形図整備だけでなく、3D 都市モデル整備も視野に入れた空中写真の撮影計画検討の普及（一般化）
2	多方向カメラ撮影成果の建築物 LOD3.1 以上及びその他地物への適用	<ul style="list-style-type: none"> ● 建築物モデル LOD3.1 以上の精度検証 ● 都市域規模の広範囲をカバーするメリットをいかした建築物以外の橋梁や都市設備等の LOD3 モデルの作成実証
3	公共測量への適合	<ul style="list-style-type: none"> ● 多方向カメラ撮影成果による 3D 都市モデル整備を公共測量として承認を得るための条件等の検討が必要

多方向カメラを用いた空中写真測量による
3D 都市モデル整備手法に関する調査

2024 年 3 月 発行

委託者：国土交通省 都市局

受託者：国際航業株式会社