

AI 等を活用した LOD2 自動生成 ツールの開発及び OSS 化技術検証 レポート

series 56

PLATEAU

3D 都市モデル活用のための技術資料 PLATEAU Technical Report

Technical Report for Development and Open Sourcing of LOD2 Automated Generation Tool Utilizing AI and Other Technologies

目次	
1.	実施概要 4
1.1.	本レポートの目的4
1.2.	業務内容 4
1.3.	業務実施フロー
1.4.	実施体制 5
1.5.	スケジュール
2.	建物 LOD2 自動生成手法の検討 7
2.1.	ベース技術の評価7
2.1.1	. 評価対象建物の選定7
2.1.2	. 評価方法
2.1.3	. 評価結果
2.2.	手法改良検討11
2.2.1	. 建物自動分類の AI 適用 11
2.2.2	. 屋根線検出の AI 適用 15
2.2.3	. バルコニー判定の AI 適用 17
3.	建物 LOD2 自動生成ツールの開発 20
3.1.	設計概要 20
3.1.1	. 設計方針
3.1.2	. 前提、制約条件 20
3.1.3	. 機能概要
3.2.	システム設計
3.2.1	. システム構成
3.2.2	. システム I/F 21
3.2.3	. 動作環境
3.2.4	. ユースケース
3.3.	モジュール概要設計
3.3.1	. CityGML 入力モジュール 27
3.3.2	. モデル要素生成モジュール 29
3.3.3	. 位相一貫性チェック・補正モジュール
3.3.4	. テクスチャ貼付けモジュール
3.3.5	. CityGML 出力モジュール 41
3.4.	モジュール詳細設計 44
3.4.1	. CityGML 入力モジュール 44
3.4.2	. モデル要素生成モジュール 46
3.4.3	. 位相一貫性チェック・補正モジュール
3.4.4	. テクスチャ張付けモジュール 101

3.4.5	5. CityGML 出力モジュール	109
3.5.	ファイル仕様	113
3.5.1	. 設定パラメータ	113
3.5.2	航空写真(原画像)	118
3.5.3	. 航空写真 DSM 点群	119
3.5.4	. 外部標定パラメータ	120
3.5.5	. 内部標定パラメータ	120
3.5.6	5. CityGML 入力ファイル	121
3.5.7	7. CityGML 出力ファイル	121
3.5.8	. 実行ログ	122
3.5.9	. モジュールログ	122
3.5.1	0. モデル化結果サマリー	123
4.	建物 LOD2 自動生成ツールの検証	125
4.1.	検証概要	125
4.2.	モデル正確度検証	125
4. 2. 4. 2. 1	モデル正確度検証 . 対象地域の選定	125 125
4. 2. 4. 2. 1 4. 2. 2	モデル正確度検証 対象地域の選定 評価基準	125 125 126
4. 2. 4. 2. 1 4. 2. 2 4. 2. 3	 モデル正確度検証 対象地域の選定 評価基準 評価結果 	125 125 126 127
4. 2. 4. 2. 1 4. 2. 2 4. 2. 3 4. 2. 4	 モデル正確度検証 対象地域の選定 評価基準 評価結果 モデル作成失敗要因分析 	125 125 126 127 128
4. 2. 4. 2. 1 4. 2. 2 4. 2. 3 4. 2. 4 4. 2. 5	 モデル正確度検証 対象地域の選定 評価基準 評価結果 モデル作成失敗要因分析 モデル作成例 	125 125 126 127 128 129
4. 2. 4. 2. 1 4. 2. 2 4. 2. 3 4. 2. 4 4. 2. 5 4. 2. 6	 モデル正確度検証	 125 125 126 127 128 129 132
4. 2. 4. 2. 1 4. 2. 2 4. 2. 3 4. 2. 4 4. 2. 5 4. 2. 6 4. 3.	モデル正確度検証	 125 125 126 127 128 129 132 134
4. 2. 4. 2. 1 4. 2. 2 4. 2. 3 4. 2. 4 4. 2. 5 4. 2. 6 4. 3. 4. 4.	モデル正確度検証	125 125 126 127 128 129 132 132 134 135
4. 2. 4. 2. 1 4. 2. 2 4. 2. 3 4. 2. 4 4. 2. 5 4. 2. 6 4. 3. 4. 4. 5.	モデル正確度検証	125 125 126 127 128 129 132 134 135 138
4. 2. 4. 2. 1 4. 2. 2 4. 2. 3 4. 2. 4 4. 2. 5 4. 2. 6 4. 3. 4. 4. 5. 6.	モデル正確度検証	125 125 126 127 128 129 132 134 135 138

1. 実施概要

1.1. 本レポートの目的

国土交通省都市局では 2020 年度から Project PLATEAU を開始し、スマートシティの社会実装を はじめとするまちづくりのデジタルトランスフォーメーションを推進するための基盤データとし て、3D 都市モデルの整備・活用・オープンデータ化事業を進めている。

本レポートは、2022 年度に行った AI 等を活用した LOD2 自動生成ツールの開発及び OSS 化の取 組みに関する技術検証レポートであり、同ツールの技術仕様や実行環境構築方法、精度検証結果 等を公開することを目的としている。

1.2. 業務内容

本業務は、2022 年度の「まちづくりのデジタルトランスフォーメーションの推進に向けた 3D 都 市モデルの標準仕様の拡張及びデータ整備の効率化等に関する調査業務」のうち、以下の内容に ついて実施した。

■ AI 等を活用した LOD2 自動生成ツールの開発及び OSS 化

3D都市モデル LOD2 を効率的に作成する手法を確立するため、AI 等を活用した LOD2 の自動生 成ツールを開発した。開発した機能の有効性を実証するため、データ整備事業者を対象にユー ザーモニタリングを行った。また、開発した自動生成ツールを OSS として Project-PLATEAU GitHub に公開した。



1.3. 業務実施フロー

4

図 1-1 業務実施フロー

1.4. 実施体制

本業務の実施体制を表 1-1、図 1-2 に示す。

衣 I I 天爬冲闹			
主体	役割		
アジア航測(株)LOD2 自動生成 G (AAS)	・ベース技術の提供		
	・関連技術、既往手法の調査		
	・OSS ツール開発		
	・性能改良		
	・性能評価		
国際航業(株) (KKC)	OSS ツールを用いた LOD2 作成の試行		
中部大学 藤吉弘亘 教授	AI 技術適用に関する助言		
名城大学 堀田一弘 教授			



表 1-1 実施体制

1.5. スケジュール



図 1-3 実施スケジュール

2. 建物 LOD2 自動生成手法の検討

2.1. ベース技術の評価

本業務の受託者であるアジア航測では、航空レーザー点群を用いたルールベースの建物 LOD2 自動生成手法(以下、「ベース技術」)を保有している。本業務ではインプットデータとしてより汎用性の高いデータである航空写真 DSM 点群を想定しているため、その課題や改良ポイントを洗い出すため、まずベース技術について評価を行った。

2.1.1. 評価対象建物の選定

東京都三鷹市で建物サンプルを合計 182 棟選定し、評価対象とした。図 2-1 に示した屋根タイ プで選定した建物を分類した。



図 2-1 ベース技術評価における屋根形状の分類

表 2-1 ベース技術評価における屋根形状ごとの建物軒数の統計

屋根形状	棟数 [棟]	割合 [%]
切妻屋根	20	11.0%
寄棟屋根	35	19.2%
陸屋根(屋上設備なし)	20	11.0%
陸屋根(屋上設備あり)	36	19.8%
宝形屋根	10	5.5%
片流れ屋根	6	3.3%
複合屋根	55	30.2%

表 2-1 に屋根形状ごとの建物棟数の統計を示す。

2.1.2. 評価方法

選定した建物サンプルについてベース技術を用いて LOD2 モデルを生成し、表 2-2 に示した評価基準で目視による形状評価を行った。

評価	評価基準
А	3D モデルが正しく、修正の必要がない
В	屋根形状は正しいが、1、2 箇所程度部分的に異なる
С	屋根形状が誤っている または 3 箇所以上部分的に異なる
D	元の屋根形状と大きく異なる、面が閉じていない、破綻している等

表 2-2 ベース技術評価における形状評価基準

LOD2 モデルの生成条件においては、「3D 都市モデル整備のための測量マニュアル」に定めた空 中写真の撮影条件(オーバーラップ率:60%、サイトラップ率:30%、地上画素寸法:25cm)とより 良い撮影条件(オーバーラップ率:80%、サイトラップ率:60%、地上画素寸法:8cm)で計測した データの両方についてモデルを生成した。また、有償ソフトウェアと比較するため、海外製ソフ トウェア:Leica HxMap¹(以下、「海外製ソフト」)を用いたモデル生成も行った。

¹ <u>https://leica-geosystems.com/ja-jp/products/airborne-systems/software/leica-hxmap</u>

2.1.3. 評価結果

地上画素寸法 8cm のデータから作成したモデルの評価結果を図 2-2 に示す。陸屋根においては、 ベース技術は海外製ソフトより良い結果となっている。一方、家屋(切妻屋根、寄棟屋根など) においては、ベース技術は海外製ソフトより劣った結果となっている。



図 2-2 8cm データから作成したモデルの評価結果

地上画素寸法25cmのデータから作成したモデルの評価結果を図 2-3に示す。25cmデータでは、 入力点群の品質は著しく低下しているため、ベース技術でも海外製ソフトでも良くない結果と なっている。ただし、陸屋根においては、8cmデータと同じように、ベース技術は海外製ソフトよ り良い結果となっている。



図 2-3 25cm データから作成したモデルの評価結果

2.2. 手法改良検討

ベース技術の評価結果を踏まえて、航空写真 DSM 点群を処理対象とした建物 LOD2 自動生成手法 を検討した。

図 2-4 に検討した建物 LOD2 自動生成の処理フローを示す。陸屋根タイプの建物については、 ルールベースの手法の有効性が示されたため、ベース技術を改良した手法を開発した。家屋タイ プの建物については、ルールベースの手法では限界があるため、AI を活用した屋根線の検出やバ ルコニー判定を組み込んだ新たな手法を開発した。なお、メインフローにおいて陸屋根と家屋の 処理を分岐させるために、AI による建物の自動分類を利用した。

LOD2 自動生成手法の処理詳細について「3.4.2 モデル要素生成モジュール」にて記載する。



図 2-4 建物 LOD2 自動生成の処理フロー

2.2.1. 建物自動分類の AI 適用

本ツールのモデル生成では、建物の形状をもとに2つの異なるモデリング方法に振り分けてモ デル生成を行う。建物自動分類処理では、AIを適用することにより建物単位で陸屋根または家屋 (非陸屋根)に分類を行う。

AI 手法には画像分類手法の ResNet34²を用いることとした。画像分類手法とは、画像 1 枚に対 してそれが何であるかのラベリングを行うような手法である。本処理ではモデリングを行う建物 単位に画像を切り出し、その建物が陸屋根形状または非陸屋根形状の建物のいずれかに分類する ように ResNet34 を学習させることで建物形状の自動分類を実現した。AI モデルの選定にあたっ

² Deep Residual Learning for Image Recognition <u>https://arxiv.org/abs/1512.03385</u>

ては、画像分類手法として一般的であること、膨大な棟数の建物を処理するために処理時間と分 類精度のバランスが良いものを考慮して選定した。

建物自動分類の処理フローを図 2-5 に示す。入力には DSM 点群から作成した画像と CityGML に 含まれる LODO 建物外形(以下、「footprint」)を用いる。画像クロップ処理では、footprint をも とに画像から建物単位で建物部分を切り出す。切り出された建物画像は ResNet34 に入力すること で、建物単位で屋根形状を分類する。出力は各建物画像に対して陸屋根または非陸屋根の分類結 果となる。詳細な処理フローは 3.4.2.3 に示す。



図 2-5 建物自動分類の処理フロー

学習・評価用データの取得地域は東京都三鷹市の一部と神奈川県川崎市の一部とした。 教師ラベルは建物単位で作成し、各建物の形状分類はオルソ画像または DSM 点群から目視で判 断することにより、各建物に陸屋根または非陸屋根のいずれかのラベル割り当てた。陸屋根の判 断基準は屋根面が平面であると判断できるもの(段差の有無にかかわらず)とし、非陸屋根はこ れを満たさないものとした。教師ラベルの例を図 2-6 に示す。



図 2-6 建物自動分類の教師ラベル例(赤:非陸屋根建物、黄:陸屋根建物)



建物自動分類結果の例を図 2-7 に示す。

陸屋根分類結果



非陸屋根分類結果

図 2-7 建物自動分類結果例

評価用データでの建物自動分類の精度を表 2-3 に示す。評価指標はF1、Precision Recall は とした。各評価指標は次式である。

$$F1 = 2 \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}$$
$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$
$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

TP(TruePositive): 真が+のデータを+と推論 FN(FalseNegative): 真が+のデータを-と推論 FP(FalsePositive): 真が-のデータを+と推論 TN(TrueNegative): 真が-のデータを-と推論

Precision は適合率と呼ばれ、システムが出力した結果の正しい割合を示す指標である。Recall は再現率と呼ばれ、データ全体のうちどれだけが正しく推論できたかを示す指標である。F1 は適 合率と再現率の加重平均であり、二つの指標を合わせた指標である。それぞれ、1.0 が最も良い評 価である。

使用データ				
	学習データ	テストデータ		
建物数	11602	1331		
モデル性能				
F1	0. 7	'90		
Precision	0. 784			
Recall	0.7	'96		

表 2-3 陸屋根/非陸屋根判定モデル性能

2.2.2. 屋根線検出の AI 適用

2.2.1 で分類された建物のうち、家屋(非陸屋根)に分類された建物に対して屋根線の検出を行 う。検出された屋根線は後工程でモデルを生成するときにノード(頂点)とエッジ(辺)として 利用される。

屋根線を検出する AI 手法には HEAT³を使用した。HEAT は画像のうちからノードの候補点を取り 出し、候補点同士のつながり(エッジ)を評価することで正しいノードとエッジを検出する AI で ある。検出精度が高いこと、処理速度が速いことを考慮して HEAT を選定した。

屋根線検出の処理フローを図 2-8 に示す。入力は 2.2.1 で非陸屋根と分類された建物の画像で あり、出力は HEAT により検出された屋根線のノードとエッジである。詳細な処理フローは 3.4.2.5 に示す。



図 2-8 屋根線検出の処理フロー

学習・評価用データの取得地域は東京都三鷹市の一部とした。

教師ラベルは、屋根線のノードとエッジを繋ぐようにして、各建物に対して目視による作成を 行った。屋根線検出の教師ラベル例を図 2-9 に示す。

³ HEAT: Holistic Edge Attention Transformer for Structured Reconstruction <u>https://heat-structured-reconstruction.github.io</u>



図 2-9 屋根線検出の教師ラベル例 (赤:屋根線、青:建物外形)

屋根線検出結果の例を図 2-10 に示す。評価用データでの屋根線検出精度を表 2-4 に示す。

入力画像		
屋根線 検出結果		

図 2-10 屋根線検出結果例(赤:ノード、青:エッジ)

使用データ			
	学習データ	テストデータ	
エリア	東京都三鷹市	東京都三鷹市	
建物数	5992	573	
モデル性能			
	頂点	線分	
F1	0.705	0.494	
Precision	0.762	0.543	
Recall	0.657	0. 454	

表 2-4 屋根線検出モデル性能

2.2.3. バルコニー判定の AI 適用

建物の中にはバルコニーを含むものがある。バルコニーは一般的に屋根面よりも低いと考え られるため、モデリング時にその領域を低く作る必要がある。バルコニー判定処理では建物画像 のうちからバルコニー領域の抽出を行う。

バルコニー領域を抽出する AI 手法にはセマンティックセグメンテーション手法の TransUNet⁴ を使用した。セマンティックセグメンテーション手法とは、画像の画素単位で特定のクラスに分 類することで、画像の全ての画素で物体を特定する手法である。本処理では建物画像からバルコ ニー領域と非バルコニー領域に画素単位で分類することにより、バルコニー領域の抽出を行う。 AI 手法の選定にあたって、抽出精度が良いこと、処理時間が短いことを踏まえて選定した。

バルコニー判定の処理フローを図 2-11 に示す。入力は 2.2.1 で非陸屋根と分類された建物の 画像であり、出力は TransUNet によりバルコニー領域を白に設定したマスク画像である。詳細な フローは 3.4.2.5 に示す。

⁴ TransUNet: Transformers Make Strong Encoders for Medical Image Segmentation <u>https://arxiv.org/abs/2102.04306</u>4



図 2-11 バルコニー判定の処理フロー

学習・評価用データの取得地域は東京都三鷹市の一部とした。

教師ラベルは、建物からバルコニー領域を塗りつぶすようにして、各建物に対して目視による 作成を行った。



図 2-12 バルコニー領域の教師ラベル作成例

バルコニー領域の抽出結果例を図 2-13 に示す。



図 2-13 バルコニー抽出結果例

評価用データでのバルコニー領域抽出精度を表 2-5 に示す。評価指標は IoU とした。IoU は抽 出した領域と正解領域との重なり度合いを評価する指標である。



図 2-14 IoU の算出

表 2-5 バルコニー領域の抽出精度

使用データ			
	学習データ	テストデータ	
エリア	東京都三鷹市	東京都三鷹市	
建物数	6720	653	
モデル性能			
IoU 0. 6802			

3. 建物 LOD2 自動生成ツールの開発

3.1. 設計概要

3.1.1. 設計方針

本システムの設計方針を以下に示す。

- ・ 本システムの開発、運用コストを減らすため、OSS を積極的に利用すること。
- ・ 本システムの開発成果を OSS として公開し、企業を含めたユーザーに利用されるため、 商業利用可のライブラリや OSS のみ使用すること。

3.1.2. 前提、制約条件

「3D都市モデル整備のための測量マニュアル」に定められた空中写真の撮影条件を踏まえて本 システムに入力する航空写真 DSM 点群は下記仕様の航空写真より作成されたものを想定する。

- 地上画素寸法: 25cm
- オーバーラップ率: ≧60%
- サイドラップ率: ≧30%

3.1.3. 機能概要

本システムの主な機能を以下に示す。

・ 航空写真 DSM 点群や建物外形データ等を入力として LOD2 建物形状のモデル作成を行い、 CityGML 形式にて建物形状データを出力する。

3.2. システム設計

3.2.1. システム構成

システム構成を図 3-1 に示す。

本システムは、①CityGML入力機能、②モデル要素生成機能、③位相一貫性チェック・補正機能、 ④テクスチャ貼付け機能、⑤CityGML出力機能の5つの機能から構成される。各機能は独立して いて、入力されたデータは順番に処理される。

本システムの入力データには、LOD1 GityGML、内部標定要素、外部標定要素、航空写真(原画 像)、航空写真 DSM 点群が含まれる。航空写真 DSM 点群は、SfM/MVS ソフトウェアにて航空写真 (原画像)から作成されたものとする。なお、内部標定要素と外部標定要素は、 SfM/MVS ソフト ウェアが出力したものを手動編集にて作成されたものとする。



図 3-1 システム構成図

3.2.2. システム I/F

3.2.2.1. 外部 I/F

本システムの外部システムとの I/F について記載する。

SfM/MVS ソフトウェア
 航空写真(原画像)から航空写真DSMを生成する。また、航空カメラの外部標定要素、
 内部標定要素情報を出力する。なお、SfM/MVS ソフトウェアが出力した外部標定要素、
 部標定要素情報は、手動編集にて標準フォーマットに変換する。
 本業務では SURE Aerial⁵ソフトウェアを利用してDSMを生成した。

3.2.2.2.内部 I/F

本システムの内部モジュール間の I/F について記載する。

 LOD2 建物形状データ(OBJ ファイル)
 本システムでは OBJ ファイル形式の LOD2 建物形状データで、各モジュール間のデータ授 受を行う。

⁵ <u>https://www.nframes.com/products/sure-aerial/</u>

3.2.2.3. ユーザーI/F

本システムの実行は、コマンドプロンプトにて下記のコマンドを入力して行うものとする。 > python AutoCreateLod2. py param. json AutoCreateLod2. py: 本システムの Python コード param. json : 設定パラメータファイル

システムが表示するシステムメッセージを以下に記載する。

1	AutoCreateLod2 ヘッダ情報
	Version : 0.0.0
	Start Time : 2022-12-12 18:38:07.585341
4	
5	Module Information List モジュール名・ログファイル名
6	InputCityGML Module
7	LogFileName : input_citygml_log.txt
8	ModelElementGeneration Module
9	LogFileName : model_element_generation_log.txt
10	CheckPhaseConsistensy Module
11	LogFileName : check_phase_consistensy_log.txt
12	Pastelexture Module
13	LogFileName : paste_texture_log.txt
14 15	OutputCityGML Module
15	LogFileName : output_citygmi_log.txt
17	Taput Deperator File Dath : paper kawasaki isan 1 + 2 - / 2 - / 2 - / 2
10	Input Parameter File Path, param_Kawasaki,json 人川ハラスータノアイルハス DobugElog - Folco dobugロが出力フラグ
10	Debugring: raise Uebugring (Debugring)// OutputOR1: True ORIファイル出力フラグ
20	LASファイルのxy座標入れ替えフラグ
21	RotateMatrixMode : 0 テクスチャ貼付け処理の回転行列のモード
22	
23	CityGML1ファイル分のモシュールことの実行結果ロク情報
24	2022-12-12 18:38:07,592 [INFO] 53392544_bldg_6697_op.gml processing
25	2022-12-12 18:38:07,593 [INFO] InputCityGML Module Run
	2022-12-12 18:38:09,929 [INFO] InputCityGML Module : Result : SUCCESS
27	2022-12-12 18:38:09,929 [INFO] InputCityGML Module End
28	
29	2022-12-12 18:38:09,930 [INFO] ModelElementGeneration Module Run
30	2022-12-12 21:09:52,086 [INFO] ModelElementGeneration Module : Result : WARNING
31	2022-12-12 21:09:52,086 [INFO] ModelElementGeneration Module End
32	
33	2022-12-12 21:09:52,090 [INFO] CheckPhaseConsistensy Module Run
34	2022-12-12 21:12:37,018 [INFO] CheckPhaseConsistensy Module : Result : WARNING
	2022-12-12-21.12.57,010 [INFO] CHECKPHaseConsistensy Mounterend
37	2022-12-12-21.12.37 620 [INFO] PasteTexture Module Run
	2022-12-12 21:12:55,020 [INFO] PasteTexture Module : Result : SUCCESS
39	2022-12-12 21:13:55.032 [INFO] PasteTexture Module End
40	
41	2022-12-12 21:13:55,032 [INFO] OutputCityGML Module Run
42	2022-12-12 21:13:59,316 [INFO] OutputCityGML Module : Result : SUCCESS
43	2022-12-12 21:13:59,316 [INFO] OutputCityGML Module End
44	
45	
46	2022-12-12 21:13:59,487 [INFO] 53392545_bldg_6697_op.gml processing
47	2022-12-12 21:13:59,487 [INFO] InputCityGML Module Run
48	2022-12-12 21:14:05,515 [INFO] InputCityGML Module : Result : SUCCESS
20	(途中省略)
	2022-12-13 09:08:39,913 [INFO] OutputCityGML Module Run
100	2022-12-13 09:09:06,940 [INFO] OutputCityGML Module : Result : SUCCESS
101	2022-12-13 09:09:06,940 [INFO] OutputCityGML Module End
102	
103	
104	End Time : 2022-12-13 09:00.140985 フッタ情報
105	Process Time: 14:29:33.048571

図 3-2 実行ログ出力例(main_log.txt、標準出力)

システムメッセージは、標準出力とファイルに出力する。

ファイルの出力先は、設定パラメータファイルの"OutputLogFolderPath"で指定したフォルダ内の"outputlog_YYYYMDD_HHMMSS"フォルダに出力する。ファイル構成は以下の通りである。

<ファイル構成例>

LogFolder ("OutputLogFolderPath"で指定されたフォルダ)

└ outputlog_20221011_110120(システム実行ごとの日時フォルダ) └ main_log.txt

3.2.3. 動作環境

3.2.3.1. ハードウェア、OS 環境

本システムの推奨環境、および必要環境を以下に示す。

推奨環境:

OS: Microsoft Windows 10 /11 CPU: Intel Core i7 以上 Memory: 16GByte 以上 GPU: Nvidia RTX 2080 以上 GPU Memory: 8GByte 以上

必要環境:

OS: Microsoft Windows 10 /11 CPU: Intel Core i5 以上 Memory: 8GByte 以上 GPU: Nvidia Quadro P620 以上 GPU Memory: 2GByte 以上

3.2.3.2. ソフトウェア環境

本システムの使用言語は、Python(バージョン 3.9)である。 以下に使用ライブラリに一覧を示す。

ライブラリ名	ライセンス	説明
alphashape	MIT License	点群外形形状作成ライブラリ
anytree	Apache 2.0	木構造ライブラリ
autopep8	MIT License	コーディング規約(PEP)準拠にソー
		スコードを自動修正するフォー
		マッターライブラリ
coverage	Apache 2.0	カバレッジ取得ライブラリ
einops	MIT License	数値計算ライブラリ
flake8	MIT License	静的解析ライブラリ
jakteristics	BSD License	点群の幾何学的特徴量計算ライブ
		ラリ
laspy	BSD 2-Clause License	LAS ファイル処理ライブラリ
1xm1	BSD 3-Clause License	xml 処理ライブラリ
matplotlib	Python Software	グラフ描画ライブラリ
	Foundation License	
MLCollections	Apache 2.0	機械学習ライブラリ
MultiScaleDeformableAttention	Apache 2.0	物体検出ライブラリ
NumPy	BSD 3-Clause License	数値計算ライブラリ
Open3D	MIT License	点群処理ライブラリ
opencv-python	MIT License	画像処理ライブラリ
opencv-contrib-python	MIT License	画像処理ライブラリ
Pytorch	BSD 3-Clause License	機械学習ライブラリ
plateaupy	MIT License	CityGML 読み込みライブラリ
PyMaxflow	GNU General Public	GraphCut 処理ライブラリ
	License version 3.0	
рургој	MIT License	地理座標系変換ライブラリ
PuLP	BSD License	数理最適化ライブラリ
scikit-learn	BSD 3-Clause License	機械学習ライブラリ
scipy	BSD 3-Clause License	統計や線形代数、信号・画像処理
		などのライブラリ
Shapely	BSD 3-Clause License	図形処理ライブラリ
Torchvision	BSD 3-Clause Lisence	機械学習ライブラリ

表 3-1 使用ライブラリ一覧

3.2.4. ユースケース

本システムを用いた LOD2 建築物モデル生成の手順は以下の通りである。

- (1) 入力データの準備
 - 図 3-1 システム構成図に示す通り、SfM/MVS ソフトウェアを用いて航空写真(原画像)から DSM 点群を作成する。
 - ・ また、手動編集にて SfM/MVS ソフトウェアが出力する外部標定要素、内部標定要素情報を 本システムの入力フォーマットに沿ったデータに変換する。
 - ・ 建物外形データに関しては、航空写真の撮影エリアに該当する LOD1 CityGML ファイルを 用意する(例:G 空間情報センターからダウンロードする)。
- (2) パラメータファイルの作成
 - ・ 本システムに入力する設定パラメータファイルを作成する。
 パラメータファイルの記載内容については、「3.5.1 設定パラメータ」を参照すること。
- (3) システムの実行
 - (2)で作成したパラメータファイルを指定して、本システムを実行する。
 実行方法、および、システム終了時のシステムメッセージの表示例については、3.2.2.3
 ユーザーI/Fを参照すること。

3.3. モジュール概要設計

3.3.1. CityGML 入力モジュール

3.3.1.1. 概要

CityGML 入力ファイルを読み込み、本システムに必要な建物属性データを取得する。

3.3.1.2. 入力データ

表 3-2 に CityGML 入力モジュールの入力データの一覧を示す。

表 3-2 CityGML 入力モジュールの入力データの一覧				
No	データ名	入力元	説明	
1	CityGML 入力	設定パラメータファイル	・設定パラメータファイルの	
	ファイルパス		"CityGMLFolderPath"キー が指定する	
			フォルダ内に存在する CityGML ファイ	
			ルのパス	

3.3.1.3. 出力データ

表 3-3 に CityGML 入力モジュールの出力データの一覧を示す。

	表	3-3	CitvGML	入力モジュ・	ールの出力デ・	ータの一	覧
--	---	-----	---------	--------	---------	------	---

No	データ名	出力先	説明
1	建物外形	モデル要素生成モ	・建物外形ポリゴンを示す座標リスト
		ジュール	
2	建物 ID	システム全般	・建物を識別する唯一の ID 番号
3	ログメッ	CityGML 入力ログファ	・CityGML 入力のログメッセージを出力する
	セージ	イル	・CityGML 入力に失敗した際のエラーメッセー
			ジを主に出力する
			・ログメッセージは、設定パラメータファイル
			の"OutputLogFolderPath"で指定したフォル
			ダ内の"outputlog_YYYYMMDD_HHMMSS"フォル
			ダに input_citygml_log.txt として出力する

_			
1	2022-11-29 08:06:35,822 [INFO]		CityGML1ファイル分のモジュールごとの実行結果ログ情報
2	2022-11-29 08:06:35,822 [INFO]	start processing 53394414_bldg_6697.gml	処理対象のCityGMLファイル名
3	2022-11-29 08:06:35,822 [INFO]	InputCityGML Module Run	開始時刻
4	2022-11-29 08:06:35,957 [MODEL	_ERROR] InputCityGML Module : All outline not	found メッセージ
5	2022-11-29 08:06:36,015 [INFO]	InputCityGML Module End	終了時刻
6	2022-11-29-00:12:22,630 [INFO]		
7	2022-11-29 08:12:22,631 [INFO]	start processing 53394415_bldg_6697.gml	
8	2022-11-29 08:12:22,631 [INFO]	InputCityGML Module Run	
9	2022-11-29 08:12:22,681 [INFO]	InputCityGML Module End	
10	2022-11-29 08:18:27,577 [INFO]		
11	2022-11-29 08:18:27,577 [INFO]	<pre>start processing 53394416_bldg_6697.gml</pre>	
12	2022-11-29 08:18:27,577 [INFO]	InputCityGML Module Run	
13	2022-11-29 08:18:27,639 [INFO]	InputCityGML Module End	

図 3-3 CityGML 入力ログ出力例

3.3.1.4. 処理内容

CityGML 入力ファイルを読み込み、本システムに必要な建物属性データを取得する。取得する建物属性データは以下の通りである。

• 建物 ID

CityGML ファイルの "gml:id" タグより取得する。

· 建物外形

CityGML ファイルの以下の1、2のいずれかのタグより取得する。

- 1、bldg:lod0RoofEdge
- 2、bldg:lod0FootPrint

3.3.1.5. 例外処理

表 3-4 に CityGML 入力モジュールの例外処理の一覧を示す。

No	エラー名称	発生条件	処理内容
1	ファイル読み込みエ	CityGML 入力ファイルが存在しな	エラーログを出力し、次の
	ラー	<i>V</i>)	CityGML ファイルの処理に移
			行する。
2	入力データエラー①	建物属性データの読み込みに失敗	エラーログを出力し、当該建
			物の処理を終了する。
			次の建物の読み込み処理を継
			続する。

表 3-4 CityGML 入力モジュールの例外処理の一覧

3.3.2. モデル要素生成モジュール

3.3.2.1. 概要

航空写真 DSM 点群と CityGML 入力モジュールが作成した建物外形データを使用して、LOD2 相当の建物 3D モデルの作成を行う。

3.3.2.2. 入力データ

表 3-5 にモデル要素生成モジュールの入力データを示す。

No	データ名	入力元	説明
1	航空写真 DSM 点群	航空写真 DSM 点群	・航空写真から SfM/MVS 処理にて作成さ
		ファイル	れた DSM 点群データ
			・ファイルフォーマットは las ファイル
			形式とする(バージョンは、1.2~1.4に
			対応)
			・建物の地面の高さを建物外形の外側近
			傍範囲にある点群データを使用して決
			定する関係上、航空写真 DSM 点群のデー
			タ範囲は建物外形のデータ範囲より一
			回り大きな範囲のデータであることが
			望ましい
2	建物外形	CityGML 入力モ	・建物外形ポリゴンを示す座標リスト
		ジュール	

表 3-5 モデル要素生成モジュールの入力データの一覧

3.3.2.3. 出力データ

表 3-6 にモデル要素生成モジュールの出力データを示す。

No	データ名	出力先	説明
1	LOD2 建物形状	位相一貫性	 ・テクスチャなし建物 3D モデルデータ
	データ	チェック・補正	・モデルの詳細度は LOD2 相当とする
		モジュール	・ファイルフォーマットは OBJ ファイル形式
			 ・建物1棟につき、1つの0BJファイルとする
2	ログメッセージ	モデル要素生成	・モデル要素生成時のログメッセージを出力する
		ログファイル	・モデル要素生成に失敗した際のエラーメッセー
			ジを主に出力する
			・ログメッセージは、設定パラメータファイルの
			"OutputLogFolderPath"で指定したフォルダ
			内の"outputlog_YYYYMMDD_HHMMSS"フォルダ
			に model_element_generation_log.txt として
			出力する

表 3-6 モデル要素生成モジュールの出力データの一覧

1	2022-12-12 18:38:09,931	「INFO] CityGML1ファイル分のモジュールごとの実行結果ログ情報
2	2022-12-12 18:38:09,931	「INFO] start processing 53392544 bldg 6697 op.gml 処理対象のCityGMLファイル名
3	2022-12-12 18:38:09,931	[INFO] ModelElementGeneration Module Run 開始時刻
4	2022-12-12 18:38:37,167	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-728d2464-7636-41b6-bd65-2bcc32466f5d, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
5	2022-12-12 18:38:37,177	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-fded1380-0096-4b9a-810f-c037a9234330, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
6	2022-12-12 18:38:37,189	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-40434b0c-1fb8-425c-9b17-1e27ecbef0b6, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
7	2022-12-12 18:38:37,199	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-8dc61c74-5569-4fe2-a620-c17cafb486b9, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
8	2022-12-12 18:38:37,209	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-a3ecb995-31aa-4a6b-8d39-698435fab57f, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
9	2022-12-12 18:39:49,199	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-9e25d1cc-6d9e-425c-9bad-63f0b1aaafe9, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
10	2022-12-12 19:24:16,622	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-73589b46-1474-43b4-8603-98dcb2d160d4, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
11	2022-12-12 21:03:12,879	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-2dfb22ce-3d0c-4835-b71c-6dfd6bd00372, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
12	2022-12-12 21:04:20,119	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-bddb66cb-31f4-4ff2-a496-5641d780b3ea, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
13	2022-12-12 21:04:20,129	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-01bcdc91-5333-4ab2-97fa-b45c456a2e00, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
14	2022-12-12 21:04:33,070	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-a66b0ded-b373-4ef3-a319-0c767beb4966, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
15	2022-12-12 21:04:33,080	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-8a05096e-8ca2-4d01-b7ea-7b17afd41cb9, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
16	2022-12-12 21:09:52,086	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-e5aee9b7-8cf2-41e6-9604-f3d25caaf757, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
17	2022-12-12 21:09:52,086	[WARNING] ModelElementGeneration Module : Could not create models for some data. メッセージ
18	2022-12-12 21:09:52,086	[INFO] ModelElementGeneration Module End 終了能刻
19	2022-12-12 21.14.03,317	[1iiru] ************************************
20	2022-12-12 21:14:05,517	[INFO] start processing 53392545_bldg_6697_op.gml
21	2022-12-12 21:14:05,517	[INFO] ModelElementGeneration Module Run
22	2022-12-12 21:14:18,707	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-a0828493-1a69-414e-9a59-c73c2956f8b7, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
23	2022-12-12 21:14:18,777	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-ff498a5e-41ac-4953-8866-5950dec491b8, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
24	2022-12-12 21:14:30,471	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-e22f8850-f89a-4e58-bea4-6124af3fd34e, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
25	2022-12-12 21:14:43,601	[MODEL_ERROR] ModelElementGeneration Module : bldg-301983a4-e6b7-460b-8ebf-c944c63ac9ff, LasManager.read_header, No point cloud data within the read range.
26	2022-12-12 22:12:09,311	[WARNING] ModelElementGeneration Module : Could not create models for some data.
27	2022-12-12 22:12:09,312	[INFO] ModelElementGeneration Module End

図 3-4 モデル要素生成/ログ出力例

3.3.2.4. 処理内容

まず、建物外形データを基に点群データの読み込みを行う。建物の屋根形状を推定するために 必要な建物外形範囲内の点群(建物点群)の取得と、地面の高さを決定するために必要な建物外形 範囲外の近傍点(地面点群)を取得し、地面点群を基に地面の高さを決定する。

次に、建物点群と建物外形データを基に建物が陸屋根か非陸屋根のどちらであるかを判定する。 本モジュールは、建物が陸屋根の場合と非陸屋根の場合でモデルの作成方法が異なるため判定処 理が必要となる。

最後に、判定結果を基にそれぞれのモデル生成処理を行い、作成したモデルを OBJ ファイルに 出力する。 なお、モデルの作成に失敗した場合は、当該モデルの作成を中断し、次の建物のモデル作成を 開始する。

図 3-5 に処理フローを、表 3-7 に処理の概要を示す。



図 3-5 モデル要素生成/処理フロー

No	処理分類	処理	概要
1	共通 建物外形範囲内		・航空写真 DSM 点群から、建物外形範囲内の点群
		の点群の取得と	を取得する
		地面の高さ探索	・航空写真 DSM 点群から、建物外形範囲の外側近
		処理	傍点群を取得し、取得した点群を基に地面の高
			さを決定する
2	共通	陸屋根/非陸屋根	・建物外形範囲内の点群からモデル化対象の建物
		判定	が陸屋根、非陸屋根のどちらであるか判断する
3	陸屋根	平面推定処理	・建物外形範囲内の点群から平面を推定する
4	陸屋根	屋根形状推定処	・推定面ごとにクラスタリングした点群を基に、
		理	屋根の外形形状を決定する
5	陸屋根	モデル面作成処	・作成した屋根の外形形状、および、建物外形形状
		理	を使用して、モデルの屋根面、壁面、地面の形状
			データを作成する
6	非陸屋根	屋根線検出処理	・建物外形範囲内の点群から屋根線を検出し、最
			適化をおこなう
7	非陸屋根	バルコニー判定	・建物外形範囲内の点群からバルコニー位置を推
		処理	定し、バルコニー面を決定する

表 3-7 モデル要素生成の処理概要

8	非陸屋根	屋根高さ推定処	・建物外形範囲内の点群と屋根線から屋根面の高
		理	さを決定する
9	非陸屋根	モデル面作成処	・作成した屋根の外形形状、および、建物外形形状
		理	を使用して、モデルの屋根面、壁面、地面の形状
			データを作成する
10	共通	OBJ ファイル出	・モデルの屋根面、壁面、地面の形状データを OBJ
		力処理	ファイルに出力する

3.3.2.5. 例外処理

表 3-8 にモデル要素生成モジュールの例外処理の一覧を示す。

No	エラー名称	発生条件	処理内容
1	ファイル読み込みエラー①	航空写真 DSM 点群の	エラーログを出力し、モジュー
		フォルダパスが存在し	ルの処理を終了する。
		ない	
2	ファイル読み込みエラー②	航空写真 DSM 点群の	エラーログを出力し、モジュー
		フォルダパス内に las	ルの処理を終了する。
		ファイルが存在しない	
3	入力データエラー①	建物外形データが存在	エラーログを出力し、モジュー
		しない	ルの処理を終了する。
4	入力データエラー②	建物外形データに対応	当該建物形状データの処理を
		する航空写真 DSM 点群	終了し、エラーログを出力す
		データが存在しない	る。
			次の建物形状データの処理を
			継続する。
5	入力データエラー④	建物外形データの近傍	当該建物形状データの処理を
		範囲に対応する航空写	終了し、エラーログを出力す
		真 DSM 点群データが存	る。
		在しない	次の建物形状データの処理を
			継続する。
6	モデル要素生成エラー	内部エラー	当該建物形状データの処理を
			終了し、エラーログを出力す
			る。
			次の建物形状データの処理を
			継続する。

表 3-8 モデル要素生成モジュールの例外処理の一覧

3.3.3. 位相一貫性チェック・補正モジュール

3.3.3.1. 概要

モデル要素生成モジュールにて出力された LOD2 建物形状データの各建物に対して、位相一貫 性検査を行い、異常形状やデータの矛盾等を抽出して自動補正を行う。

3.3.3.2. 入力データ

表 3-9 に位相一貫性チェック・補正モジュールの入力データの一覧を示す。

No	データ名	入力元	説明
1	LOD2 建物形状	モデル要素生	・建物1棟につき、1つの0BJファイルが存在する
	データ	成モジュール	・ファイルフォーマットは OBJ ファイル形式
2	設定パラメータ	設定パラメー	・設定パラメータファイルの"PhaseConsistency"
		タファイル	キーに指定される

表 3-9 位相一貫性チェック・補正モジュールの入力データの一覧

3.3.3.3. 出力データ

表 3-10 に位相一貫性チェック・補正モジュールの出力データの一覧を示す。

No	データ名	出力先	説明
1	補正済み LOD2 建	テクスチャ貼	・位相一貫性チェック・補正モジュールによって補
	物形状データ	付けモジュー	正された建物形状データ
		ル	・建物1棟につき、1つの0BJファイルが存在する
			ファイルフォーマットは OBJ ファイル形式
2	ログメッセージ	位相一貫性検	・位相一貫性チェック・補正時のログメッセージを
		査結果ログ	出力する
		ファイル	・ログメッセージの種類は大別して、バージョンな
			どのモジュール情報、異常な建物形状データの検
			査結果、検査のサマリー情報の3種類である。
			・ログメッセージは、設定パラメータファイルの
			"OutputLogFolderPath"で指定したフォルダ内
			の"outputlog_YYYYMMDD_HHMMSS"フォルダに
			check_phase_consistensy_log.txt として出力す
			3

表 3-10 位相一貫性チェック・補正	モジュールの出力データの一覧
----------------------	----------------

		CityGML1ファイル分のモジュールごとの実行結果ログ情報
34	2022-11-29 08:37:13,121 [INFO]	
35	2022-11-29 08:37:13,121 [INFO] start processing 53394424_bldg_6697.gml	処理対象のCityGMLファイル名
36	2022-11-29 08:37:13,121 [INFO] CheckPhaseConsistensy Module Run	開始時刻
37	2022-11-29 08:37:13,122 [INFO] CheckPhaseConsistensy Module : DeleteErrorObject	:-False 削除フラグ
38	2022-11-29 08:37:57,202 [MODEL ERROR] CheckPhaseConsistensy Module : ['File	: ./temp/createmodel/bldg_68d73364-47cc-48b9-92ac-0fcae515361f.obj'
39	2022-11-29 08:37:57,655 [INFO] CheckPhaseConsistensy Module : Summary	× ~ + > 2
40	→ Number of files ·····: 5	×72-7
41	→ No Error files ·····: 4	
42	Auto corrected files : 1	
43	Deleted files	
44	Error files : 0 世祖一員性俠宣編未Summary	
45	2022-11-29 08:37:57,655 [INFO] CheckPhaseConsistensy Module End	終了時刻
46	2022-11-29 09:09:08,/06 [1NF0]	
47	2022-11-29 09:09:08,706 [INFO] start processing 53394425_bldg_6697.gml	
48	2022-11-29 09:09:08,706 [INFO] CheckPhaseConsistensy Module Run	
49	2022-11-29 09:09:08,707 [INFO] CheckPhaseConsistensy Module : DeleteErrorObject	:-False
50	2022-11-29 09:09:12,014 [INFO] CheckPhaseConsistensy Module : Summary	
51	> Number of files: 3	
52	No Error files	
53	Auto corrected files : 0	
54	Deleted files	
55		
56	2022-11-29 09:09:12,014 [INFO] CheckPhaseConsistensy Module End	

図 3-6 位相一貫性検査/補正ログ出力例

3.3.3.4. 処理内容

始めにパラメータファイルの位相一貫性検査に関連する内容を読み込む処理を実行する。次に 建物形状データ毎の処理を行う。処理内容は、OBJファイルの入力処理、各検査/補正処理、OBJ ファイルの出力処理、検査に異常があった場合のログファイルの出力処理とする。全ての建物形 状データの処理終了後に、検査/補正結果の全体のサマリーをログ出力して終了する(図 3-6)。



図 3-7 位相一貫性検査/補正処理フロー

モジュールが実施する検査内容と異常時の処理を表 3-11 に示す。

No	検査項目	検査内容	異常形状検出時の処理内容
1	連続頂点重複	連続する重複した頂点の	・重複頂点を削除する。
		検出	
2	ソリッド閉合	閉じていない面の検出	・閉じていない部分の面を追
			加する。
3	非平面三角形分割	平面になっていない面の	・非平面部分を三角形分割す
	(厚み)	検出(面の法線方向の厚み	る。
		で検出)	
4	非平面三角形分割	平面になっていない面の	・非平面部分を三角形分割す
	(角度)	検出(面を三角形に分割し	る。
		た法線の角度差で検出)	
5	面積0ポリゴン	面の面積が0のものを検出	・ポリゴンを削除する。
6	自己交差/自己接触	始終点以外の自己交差、自	・異常内容、建物の位置をログ
		己接触の検出	ファイルに出力する。
			・パラメータファイルにて
			DeleteErrorObject が true
			に指定されている場合は、該
			当する建物データは削除さ
			れる。
7	地物内面同士交差	地物内の面同士の交差の	・異常内容、建物の位置をログ
		検出	ファイルに出力する。
			・パラメータファイルにて
			DeleteErrorObject が true
			に指定されている場合は、該
			当する建物データは削除さ
			れる。

表 3-11 位相一貫性検査/処理内容

3.3.3.5. 例外処理

No	エラー名称	発生条件	処理内容
1	ファイル読み込みエラー	入力ファイル読み込み	・エラーログを出力し、モ
		に失敗	ジュールの処理を終了する。
2	入力データエラー①	入力パラメータの指定	・エラーログを出力し、モ
		値が規定範囲外	ジュールの処理を終了する。
3	入力データエラー②	建物形状データの入力	・当該建物形状データの処理
		OBJ ファイルの読み込	を終了し、エラーログを出力
		みに失敗	する。
			・次の建物形状データの処理
			を継続する。
4	検査・補正エラー	内部エラー	・当該建物形状データの処理
			を終了し、エラーログを出力
			する。
			・次の建物形状データの処理
			を継続する。
5	出力エラー	補正済みLOD2建物形状	・当該建物形状データの処理
		データの出力に失敗	を終了し、エラーログを出力
			する。
			・次の建物形状データの処理
			を継続する。

表 3-12 に位相一貫性チェック・補正モジュールの例外処理の一覧を示す。 表 3-12 位相一貫性チェック・補正モジュールの例外処理の一覧

3.3.4. テクスチャ貼付けモジュール

3.3.4.1. 概要

航空写真(原画像)から屋根、壁面のテクスチャ画像を抽出し、LOD2 建築物モデルに貼付ける 処理を行う。

3.3.4.2. 入力データ

表 3-13 にテクスチャ貼付けモジュールの入力データの一覧を示す。
No	データ名	入力元	説明
1	航空写真データ	航空写真	・テクスチャ画像の元データとなる
	(原画像)	(原画像)	・ファイルフォーマットは TIFF ファイル形式
		ファイル	
2	外部標定要素	外部標定パ	・対象となる航空写真枚数分の情報が記載されている
		ラメータ	・ファイルフォーマットはテキストファイル形式
		ファイル	
3	内部標定要素	内部標定パ	・航空写真撮影に使用した航空カメラに関する情報が
		ラメータ	記載されている
		ファイル	・ファイルフォーマットはテキストファイル形式
4	LOD2 建物形状	テクスチャ	・位相一貫性チェック・補正モジュールが出力した建
	データ	貼付けモ	物形状データ
		ジュール	・建物1棟につき、1つの OBJ ファイルが存在する
			・ファイルフォーマットは OBJ ファイル形式
5	回転行列種別	設定パラ	・ワールド座標からカメラ座標に変換する際に使用す
		メータファ	る回転行列Rの種別
		イル	・2種類の種別を用意する
			・種別が0の場合は、 $R = R_x(\omega)R_y(\phi)R_z(\kappa)$
			・種別が1の場合は、 $R = R_z(\kappa)R_y(\phi)R_x(\omega)$

表 3-13 テクスチャ貼付けモジュールの入力データの一覧

(1) 外部標定要素情報

表 3-14 に外部標定要素情報の一覧を示す。

表 3-14 外部標定要素の一覧

No	要素名	要素 ID	説明
1		XO	
2	投影中心位置	YO	・航空写真撮影時のカメラの三次元座標
3		Z0	
4		Omega	・航空写真撮影時のカメラの傾き
5	カメラ迩埶	Phi	ω:進行方向の軸の回転角(ローリング)
0	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~		φ:進行方向に直角で水平な軸の回転角(ピッチング)
6		Kappa	κ : 鉛直方向の軸の回転角(ヨーイング)

(2) 内部標定要素情報

表 3-15 に内部標定要素情報の一覧を示す。

No	データ名称	要素 ID	説明
1	焦点距離	FocalLength	カメラの焦点距離(mm)
2	イメージセンサ	ImageSize_x	イメージセンササイズ(x, y) の実サイズ(mm)
3	サイズ	ImageSize_y	
4	1pixel のサイズ	PixelSize_x	カメラの lpixel(x, y)の実サイズ(µm)
5		PixelSize_y	
6	カメラ主点座標	PrinciplePoint_x	カメラの主点座標(x, y)(mm)
7		PrinciplePoint_y	

表 3-15 内部標定要素情報の一覧

3.3.4.3. 出力データ

No	データ名	出力先	説明
1	テクスチャ付き	CityGML 出力モ	・テクスチャ貼付けに成功した場合はテクスチャ
	LOD2 建物形状	ジュール	座標情報が記載されている
	データ		・ファイルフォーマットは OBJ ファイル形式
2	マテリアルファ	CityGML 出力モ	・テクスチャ画像のファイルパスが記載されてい
	イル	ジュール	る
			・ファイルフォーマットは MTL ファイル形式
3	テクスチャ画像	CityGML 出力モ	 ・本モジュールで作成したテクスチャ画像
		ジュール	・建物1棟につき、1ファイルが出力される
			・ファイルフォーマットは JPG ファイル形式
4	ログメッセージ	テクスチャ貼付	・テクスチャ貼付けのログメッセージを出力する
		けログファイル	・テクスチャ貼付けに失敗した際のエラーメッ
			セージを主に出力する
			・ログメッセージは、設定パラメータファイルの
			"OutputLogFolderPath"で指定したフォルダ
			内の"outputlog_YYYYMMDD_HHMMSS"フォルダ
			に paste_texture_log. txt として出力する

表 3-16 テクスチャ貼付けモジュールの出力データの一覧

ţ		
	2022-11-29-08:10:39,823 [INFO]	CityGML1ファイル分のモジュールごとの実行結果ログ情報
	2022-11-29 08:10:39,823 [INFO] start processing 53394414_bldg_6697.gml	処理対象のCityGMLファイル名
	2022-11-29 08:10:39,824 [INFO] PasteTexture Module Run	開始時刻
	2022-11-29 08:11:21,439 [INFO] PasteTexture : Photo not found	メッセージ
	2022-11-29 08:12:22,120 [INFO] PasteTexture Module End	終了時刻
	2022-11-29 08.10.50,052 [INFO]	
	2022-11-29 08:16:56,053 [INFO] start processing 53394415_bldg_6697.gml	
	2022-11-29 08:16:56,053 [INFO] PasteTexture Module Run	
	2022-11-29 08:18:27,398 [INFO] PasteTexture Module End	
	2022-11-29 08:21:25,359 [INFO]	
11	2022-11-29 08:21:25,359 [INFO] start processing 53394416_bldg_6697.gml	
12	2022-11-29 08:21:25,360 [INFO] PasteTexture Module Run	
13	2022-11-29 08:22:50,908 [INFO] PasteTexture Module End	

図 3-8 テクスチャ貼付けログ出力例

3.3.4.4. 処理内容

LOD2 の各建物モデルに対し、OBJ ファイル記載の屋根面と壁面の絶対座標を元に、外部標定要素および内部標定要素から建物が含まれる航空写真を選定し、その写真内の建物の画像座標位置を特定する。画像座標を元に航空画像から矩形を切り出し、並べて貼付けた JPEG 画像をテクスチャ画像として出力を行う。抽出したテクスチャ画像の座標位置の情報は OBJ ファイルに付加して出力を行う。また参照元となるテクスチャ画像、テクスチャ画像のパス情報を記したマテリアルファイルを出力する。



図 3-9 テクスチャ貼付け処理概要

3.3.4.5. 例外処理

表 3-17 にテクスチャ貼付けモジュールの例外処理の一覧を示す。

表 3-17 テクスチャ貼付けモジュ	ールの例外処理の一覧
--------------------	------------

No	エラー名称	発生条件	処理内容
1	入力データ読み込みエラー	各入力データのいずれ	エラーログを出力し、モジュー
		かの読み込みに失敗	ルの処理を終了する。
2	テクスチャ画像抽出エラー	入力した航空写真上に	当該建物形状データの処理を
		建物位置に対応する座	終了しエラーログを出力する。
		標がなく、テクスチャ	次の建物形状データの処理を
		画像が作成できない	継続する。

3.3.5. CityGML 出力モジュール

3.3.5.1. 概要

LOD1 CityGML データに、前述までの処理で作成した LOD2 建物形状データを追加し、LOD1 と LOD2 を含む CityGML データを作成する。

3.3.5.2. 入力データ

表 3-18 に CityGML 出力モジュールの入力データの一覧を示す。

No	データ名	入力元	説明
1	CityGML 入力	設 定 パ ラ	・設定パラメータファイルの"CityGMLFolderPath"
	ファイルパス	メータファ	キーで指定するフォルダ内に存在する CityGML ファ
		イル	イルパス
2	LOD2 建物形状	テクスチャ	・ファイルフォーマットは OBJ ファイル形式
	データ	貼付けモ	
		ジュール	
3	LOD2 建物形状	設 定 パ ラ	・LOD2 建物形状データで使用している平面直角座標
	データの座標系	メータファ	系の系番号(1~19の値)
	情報	イル	・LOD2 建物形状データを CityGML に出力する際に行
			う、平面直角座標系を経緯度座標系に変換する処理
			において使用する
			・設定パラメータファイルの"LasCoordinateSystem"
			キーに指定される

表 3-18 CityGML 出力モジュールの入力データの一覧

3.3.5.3. 出力データ

表 3-19 に CityGML 出力モジュールの出力データの一覧を示す。

No	データ名	出力先	説明
1	LOD2 CityGML	CityGML 出力	 ・入力されたCityGMLデータにLOD2建物形状デー
		ファイル	タを追記したデータ
2	ログメッセージ	CityGML 出力ロ	・CityGML 出力のログメッセージを出力する
		グファイル	・CityGML 出力に失敗した際のエラーメッセージ
			を主に出力する
			・ログメッセージは、設定パラメータファイルの
			"OutputLogFolderPath"で指定したフォルダ
			内の"outputlog_YYYYMMDD_HHMMSS"フォルダ
			に output_citygml_log. txt として出力する

表 3-19 CityGML 出力モジュールの出力データの一覧

1	2022-11-29 08:12:22,122 [INFO]	
2	2022-11-29 08:12:22,122 [INFO] start processing 53394414_bldg_6697.gml	
3	2022-11-29 08:12:22,122 [INFO] OutputCityGML Module Run	
4	2022-11-29 08:12:22,627 [INFO] OutputCityGML Module End	
5	2022-11-29 08:18:27,399 [INFO]	CityGML1ファイル分のモジュールごとの実行結果ログ情報
6	2022-11-29 08:18:27,400 [INFO] start processing 53394415_bldg_6697.gml	処理対象のCityGMLファイル名
7	2022-11-29 08:18:27,400 [INFO] OutputCityGML Module Run	開始時刻
8	2022-11-29 08:18:27,424 [WARNING] OutputCityGML Module : Objfile not found ./ter	mp/texturemapping/bldg_746be7d3-b3c1-42df-a6e5-0bae080c2c4d.obj メッセージ
9	2022-11-29 08:18:27,574 [INFO] OutputCityGML Module End	終了時刻
10	2022 22 20 00:22:50,020 [18:0]	
11	2022-11-29 08:22:50,910 [INFO] start processing 53394416_bldg_6697.gml	
12	2022-11-29 08:22:50,910 [INFO] OutputCityGML Module Run	
13	2022-11-29 08:22:50,990 [INFO] OutputCityGML Module End	

図 3-10 CityGML 出力ログ出力例

3.3.5.4. 処理内容

本機能の処理概要を図 3-11 に示す。LOD2 の各建物形状データに対し、CityGML 形式の記述に 変換し、CityGML ファイル内の LOD1 建物形状データ内の同じ建物を探索して得られた同じ位置に 変換した情報を追加し、出力する処理を行う。

OBJ ファイルに記載してある建物形状座標は平面直角座標系となっているため、経緯度座標系 に変換してから CityGML に記載する。





3.3.5.5. 例外処理

表 3-20 に CityGML 出力モジュールの例外処理の一覧を示す。

衣 3-20 しITYGML 田月モンユールの例外処理の)一覧
------------------------------	-----

No	エラー名称	発生条件	処理内容
1	入力データ読み込み	各入力データのいずれかの読み	エラーログを出力し、モジュー
	エラー	込みに失敗	ルの処理を終了する

3.4.1. CityGML 入力モジュール

3.4.1.1. CityGML 入力処理

CityGML 入力ファイルを読み込み、本システムに必要な建物属性データを取得する。 CityGML ファイルの読み込みにはオープンソース(plateaupy)を使用する。



図 3-12 CityGML 入力処理フロー

(1) 入力物情報

建物1つに対応して、CityGMLファイルから入力する要素は以下の通りである。

● 建物 ID

CityGML ファイルの"bldg:Building gml:id"タグより取得する。

● LOD0 建物外形

以下の1、2のいずれかのタグより取得する。

- 1、"bldg:lod0RoofEdge"
- 2、"bldg:lod0FootPrint"

Core:Cit YM0del> <pre>(中醫) (中醫) (##B) (dage) (da</pre>			
<pre></pre>			
図 3-13 lodORoofEdge タグ例			
Kcore:cityObjectMember〉 〈bldg:Building gml:id="BLD_f09989b9-87de-4948-ad0f-7e04edf4287a"〉 〈cen:stringAttribute〉 〈cen:stringAttribute〉 〈cen:stringAttribute〉 〈cen:stringAttribute〉 〈cen:stringAttribute〉 〈cen:stringAttribute〉			
<pre></pre>			

図 3-14 lod0FootPrint タグ例

(2) plateaupy 改修事項

CityGML ファイルの読み込みに plateaupy を使用するが、オープンソースとして公開されているものを本モジュール向けに改修して使用する。

plaeaupy では現状、LODO 座標点リストの外周のみを取得する仕様となっている。(対象タグ: gml:exterior) 今後内周(穴あきの場合)を取得する場合は exterior の他に interior を取得タグ に追加する必要がある。

改修対象の plateaupy は 2021/7/22 更新時とする。

以下の改修を実施している。

- ファイル毎の読み込みに変更
 変更箇所:plparser.py(クラス:plparser 関数:_init_())
 変更前:CityGMLファイル読み込みをフォルダ毎に行う
 変更後:CityGMLファイル読み込みをファイル毎に行う
- lod0FootPrint 情報の読み込みを追加
 追加箇所:plbldg.py(クラス:Building 関数:_init_())
 plbldg.py(クラス:plbldg 関数:loadFile())
 追加:lod0FootPrint 情報の読み込み機能
- CityGML ファイル出力時の改行対応追加
 CityGML ファイル出力時に改行処理を正しく行うため、CityGML ファイル読み込み時に空
 白、改行を無視する。
 追加箇所: plobj.py(クラス:plobj 関数:loadFile())
 追加: CityGML ファイル読み込み時に空白、改行を無視して読み込む

3.4.2. モデル要素生成モジュール

3.4.2.1. LAS ファイルの読み込み

LAS ファイルの読み込みでは、入力された建物外形形状と重畳する LAS ファイルの点群を取得 する。なお、前処理としてパラメータファイルに記載されている *DsmFolderPath*内に存在する LAS ファイルのヘッダにアクセスし、建物外形形状範囲と重畳する LAS ファイルの選別を行う。点群 データを取得する際は、選別済みの LAS ファイルから建物外形形状範囲と重畳する点群データ(座 標情報と RGB 色情報)を取得する。

LAS ファイルの読み込み時に地面探索の処理も併せて実施する。(詳細は、3.4.2.2 地面探索 を 参照)

3.4.2.2. 地面探索

地面探索では、建物の地面の高さを決定するために、建物外形形状の外側にある近傍点を探索 して最低高さを求める処理を行う。なお、探索範囲は下図とする。



図 3-15 地面探索範囲

地面探索では探索範囲内の点群を取得する必要があるが、LAS ファイルの読み込み処理においても、同様の処理(建物外形形状に重畳する点群の取得)を行うため、LAS ファイル読み込み処理時に地面探索の処理も併せて実施する。

以下に、LAS ファイル読み込み処理と地面探索処理の処理フローを記載する。



図 3-16 LAS ファイル読み込み処理と地面探索処理

地面探索処理では、モデルの接地面の高さとして使用する地面点の最低高さの他に、屋根形状 を算出する際に使用する GraphCut 処理用の地面の高さを算出している。以下に、算出方法を示す。

【GraphCut 処理用の地面高さの算出方法】

- 1. 地面探索範囲内の点群を取得し地面点とする
- 2. 地面点から最低高さと最高高さを取得する
- 3. 地面点の内、最低高さ以上、かつ、(最低高さ+最高高さ)/2以下の高さを持つ点を抽出 する
- 4. 抽出した点の高さに注目してヒストグラムを作成する bin 数の算出方法は以下の通り

 $bin_{tmp} = \frac{(\max(zs) - \min(zs) + 0.5)}{1.0} \overset{*}{\sim} 少数点以下は切り捨て$

$$bin = \begin{cases} 2 & bin_{tmp} < 2\\ bin_{tmp} & else \end{cases}$$

5. ヒストグラムの結果を用いて、GraphCut 処理用の地面高さを算出する

$$\text{height} = \frac{height_{most} + height_{most+1}}{2}$$

height_{most} : 最頻binの高さ height_{most+1} : 最頻binの正方向に隣接するbinの高さ

3.4.2.3. 建物分類

建物分類処理では、建物を陸屋根と非陸屋根に分類する。なお、建物分類に使用する DSM 点群は 3.4.2.1LAS ファイルの読み込みで取得した建物外形形状に重畳する点群を用いる。

(1) 建物分類用画像の生成

建物分類処理では画像形式のデータを入力として使用するため、建物外形形状に重畳する DSM 点群を画像に変換する。この変換処理では、RGB 画像および、高さをグレースケールで表した画像 の 2 つを生成する。また、建物分類精度向上のため、建物の外形線の最長の辺が水平方向を向く ように回転させる。

以下に、建物分類用画像生成処理のフローを示す。



図 3-17 建物分類用画像の生成処理

(2) 陸屋根/非陸屋根判定

建物の陸屋根/非陸屋根の判定は、画像認識モデルの ResNet34 を使用して行う。学習済みモデルは、東京都三鷹市と神奈川県川崎市で作成した学習データを用いて学習したものを使用する。

なお、例外処理として家屋モデリングで使用する機械学習モデルの入力サイズ上限を超える建物は陸屋根とする。約20m四方の正方形領域に収まらない建物が該当する。

以下に陸屋根/非陸屋根の判定処理のフローを示す。



図 3-18 陸屋根/非陸屋根判定処理

3.4.2.4. 陸屋根のモデル要素生成方法

陸屋根/非陸屋根判定で陸屋根と分類された建物の 3D モデル生成処理について記載する。 陸屋根の場合のモデル要素生成方法は、以下の処理からなる。

- 1. 平面推定処理
 - 建物外形形状内の点群を屋根ごとに分割する
- 2. 屋根の外形形状の取得
 - ・ 屋根ごとの点群に対して屋根の外形形状を作成し、形状の補正を行う
- 3. モデル面の作成
 - 2 次元座標上の屋根の外形形状、建物外形形状と、屋根の高さおよび地面の高さ情報を基に、3次元座標上のモデル面(屋根面、壁面、接地面)の形状を作成する
- 4. OBJ ファイル出力
 - 作成したモデル面の形状情報を OBJ ファイルに出力する



図 3-19 陸屋根の場合のモデル要素生成処理

(1) 平面推定処理

平面推定処理では、建物外形形状内の点群(建物点群)から屋根ごとの外形形状を作成するため に、入力点群を屋根ごとにクラスタリングする処理を行う。

まず、建物点群のそれぞれの点に対して、垂直度(verticality)特徴量を算出し、垂直度が閾値 以下の点群(水平面に該当する点群)を抽出する。

次に抽出した点群に対して、高さ(z座標値)によるクラスタリング、点の色によるクラスタリン グ、連続性よるクラスタリングを順次行う。高さによるクラスタリングよりも後段のクラスタリ ング処理では、前段の処理結果のクラスタに対してクラスタリング処理を行う。

そして、クラスタリング結果から建物外形線近傍に存在するクラスタのみを抽出し、建物中央 部に存在する構造物(設備等)を除外する。抽出したクラスタに対して、クラスタ内点群の高さ座 標が近く、水平連続なクラスタ同士をマージして屋根面点群候補とする。 最後に、屋根面点群候補をシードにして、GraphCut による最適化を行い建物点群から各屋根面の点群を抽出する。抽出した各屋根面の点群の高さの平均値を屋根面の高さとする。



図 3-20 陸屋根モデリング 平面推定処理



図 3-21 陸屋根モデリング 平面推定処理時の処理結果の遷移

(2) 屋根の外形形状の取得

平面推定処理でクラスタリングした屋根ごとの点群から、屋根の外形形状を作成と形状補正を 行う。

以下に処理フローを示す。



図 3-22 陸屋根モデリング 屋根の外形形状の取得処理



図 3-23 陸屋根モデリング 屋根の外形形状取得処理時の処理結果の遷移

屋根の外形形状の取得処理では、最初に屋根ごとにクラスタリングした点群に対して MBR(Minimum Bounding Rectangle)を行い、屋根の大まかな形状を決定する。なお、この処理で行 う MBR は単に点群に対する最小外接矩形を取得する処理ではなく、再帰的に最小外接矩形を取得 し、屋根形状の凹凸を再現した形状を取得する処理である。以下に、MBR 処理のフローを記載す る。



実施回数が規定数を超えた場合 ※処理結果は階層構造で保持する

図 3-24 陸屋根モデリング MBR 処理



図 3-25 陸屋根モデリング MBR 処理フロー

MBR 処理フロー内で行う屋根タイプの設定については、下図に示すように屋根点群近傍に存在 する建物外形線の状態から、5種類の屋根タイプに分類する。



図 3-26 陸屋根モデリング 屋根タイプ

MBR 処理で取得した屋根の外形形状は屋根ごとに形状を取得しているため、屋根の外形形状が 隣接屋根の外形形状に重畳している場合や、建物外形線外に領域がはみ出している可能性がある。 屋根同士、および、屋根と建物外形線との整合性を保つために、屋根の外形形状の整形を行う。

屋根形状の整形処理は、欠落領域(建物外形領域内で屋根に割り当てがされていない領域)を解 消するための処理と、屋根同士で重畳している領域や建物外形外にはみ出している領域を解消す る処理からなる。

以下に、屋根形状の整形処理フローを記載する。



図 3-27 陸屋根モデリング 屋根形状の整形処理

(3) モデル面の作成

作成する建物モデルのモデル面は、頂点列が反時計回りを表面とし、頂点列が時計回りを裏面 とする。また、モデルの内部が空洞となるようにモデル面を作成する。



図 3-28 モデルの仕様

モデル面の作成は、大別してモデル面の作成準備、屋根面の作成、壁面の作成、接地面の作成、 補正処理からなる。以下にモデル面作成処理のフローを示す。



図 3-29 陸屋根モデリング モデル面の作成処理

① モデル面の作成準備

モデル面の作成にあたり、屋根形状の補正と屋根の包含関係の把握を行う。また、壁面作成時に使用する屋根形状の有向グラフの作成をモデル面の作成準備処理内で行う。

屋根形状の補正では、屋根形状の頂点位置の微妙なずれを解消するために近傍にある頂点を マージする処理と、屋根の境界点の追加を行う。

a. 頂点マージ



同一座標になるべき頂点が計算誤差などにより微妙 にずれる場合があるため、頂点マージ処理行い座標 位置を補正する



壁面作成位置を特定する際に使用する有向グラフ のために、屋根の辺の途中に他屋根の頂点が位置 する場合は、辺の途中に頂点を追加する

図 3-30 陸屋根モデリング 屋根の形状補正

なお、屋根の境界点の探索と屋根形状への頂点追加処理は以下の方法を用いる。

屋根のグルービング 親屋根ごとにグルーピングする
 グループ1(親無し):赤,緑,青
 グループ2(親:赤):橙,黄





2. 1のグループごとに重畳する辺をグルーピングする

【辺のグルーピング方法】

- x軸と注目辺がなす角度ごとにグルーピングする i.
- (この際算出する角度は、方向付き(正負付き)角度とする) 角度ごとにグルーピングした辺に対して、サンプリングを行い点
- ii. 群化し、クラスタリングを実施する(近傍辺ごとにグルーピング)



3. 2のグループの内、複数の屋根の辺が存在するグループを対象に補間対象点の探索と追加(辺の分割)を行う グループ内の辺の総当たり同士で、点の端点が対象辺の途中に位置するか確認する

【補間対象点の探索】

- ■刈款への休み♪ 一方の辺はサンプリングして点群化する サンプリング点から、もう一方の辺の端点の最近傍点を探索する ii.
- 注目点と最近傍点間の距離が閾値未満かつ辺上(辺の端点は除く)の iii.
- 場合、辺を最近傍点で分割する



4. 全てのグループに対して、補間対象点の探索と辺の分割の終了後に頂点マージ処理を行う 赤枠部分をマージするため、頂点をクラスタリングする際は補間対象点探索時の距離閾値以上の値を設定する



図 3-31 陸屋根モデリング 屋根の境界点の探索と頂点追加方法

以下に、モデル面の作成準備で行う処理のフローを記載する。



図 3-32 陸屋根モデリング モデル面の作成準備処理

モデル面の作成準備で行う外壁形状の作成処理で作成した外壁形状は壁面作成位置の探索処理 で使用する。また、どの屋根にも包含されていない屋根から作成した外壁形状は、接地面を作成 する際に使用する。

② 屋根面の作成

屋根の外形形状の取得処理で得られた屋根の 2D 外形形状に高さ情報を付与することで、屋根面 を作成する。なお、屋根面作成対象の屋根の内部の他屋根を含む場合は、他屋根の部分を横切る ように屋根を分割する必要がある。これは、出力データフォーマットが OBJ のため面に穴の情報 を設定できないためである。



図 3-33 陸屋根モデリング 屋根面作成方法のコンセプト



図 3-34 陸屋根モデリング 他屋根を含む場合の屋根面の分割方法

以下に屋根面作成処理のフローを記載する。



図 3-35 陸屋根モデリング 屋根面の作成処理

③ 壁面の作成

壁面の作成位置を特定するために、屋根の外形形状とモデル面作成準備で作成した外壁形状を 利用して有向グラフを作成する。有向グラフを作成する際に、屋根の外形形状は表面(頂点列が反 時計回り)、外壁形状は裏面(頂点列が時計回り)になるようにグラフを作成すると、壁面を作成す る地点が双方向エッジとして現れる。

取得した双方向エッジを基に、双方向となる屋根(または、地面)を特定し、2つの屋根の高さを 壁面の上辺と下辺の高さとして壁面を作成する。



図 3-36 陸屋根モデリング 壁面作成のコンセプト

壁面の表面の設定は、壁面の法線が z 軸方向を向くように面を回転した際に、壁面の頂点列が 反時計回りになるように頂点列の順列方向を設定する。

壁面の法線方向の設定および、壁面の表面の設定について下図に示す。



図 3-37 陸屋根モデリング 壁面の法線方向の設定方法



図 3-38 陸屋根モデリング 壁面の表面決定方法

以下に壁面作成処理のフローを記載する。



図 3-39 陸屋根モデリング 壁面作成処理

④ 地面の作成

モデル面の作成準備処理で作成した、どの屋根にも包含されていない屋根を結合して作成した 外壁形状を利用して接地面を作成する。2D座標点列である外壁形状に、地面の高さ情報を付与す ることで 3D座標点列の接地面とする。なお、接地面は裏面となるように、頂点の順列方向を時計 回りに設定する。 以下に、地面の作成処理を記載する。



図 3-40 陸屋根モデリング 地面の作成処理

⑤ 補正処理

本書のアルゴリズムでは、壁面作成位置に壁面の上辺と下辺に接する屋根の高さを基に矩形を 作成することで壁面を作成している。この手法で作成した壁面は、隣り合う2つの壁面において 壁面の高さが異なる場合に、低い方の壁面の頂点が高い方の壁面に共有されない問題がある。そ のため、補正処理で不足頂点を補う。

また、計算誤差などによりモデル面の頂点座標が微妙に異なる場合が発生するため、頂点マージ処理を行う。



図 3-41 陸屋根モデリング 不足頂点の追加方法



図 3-42 陸屋根モデリング 不足頂点の追加処理



図 3-43 陸屋根モデリング 頂点マージの方法



図 3-44 陸屋根モデリング 頂点マージ処理

(4) OBJ ファイル出力

モデル要素が生成できた場合は、モデル情報を OBJ フォーマットファイルに出力する。出力先は、中間フォルダ(システムを起動したカレントディレクトリ/temp/createmodel フォルダ)とする。

出力する OBJ ファイルは、建物 1 棟につき 1 ファイルとし、ファイル名は"建物 ID".obj とする。

OBJ ファイルの記載方法を以下に示す。



図 3-45 OBJ ファイルの記載方法

3.4.2.5. 非陸屋根のモデル要素生成方法

陸屋根/非陸屋根判定で非陸屋根と分類された建物の 3D モデル生成処理について記載する。 非陸屋根の場合のモデル要素生成方法は、以下の処理からなる。

- 1. 2次元屋根形状の作成
 - ・ 建物外形形状内の領域を屋根線で分割する
 - ・ 各屋根面がバルコニーであるかを判定する
- 2. 3次元モデル形状の生成
 - ・ 屋根面に高さを付与し、3次元座標上のモデル面(屋根面、壁面、接地面)
- 3. OBJ ファイル出力
 - ・ 作成したモデル面の形状情報を OBJ ファイルに出力する

OBJ ファイル出力については、陸屋根と同様のため省略し、他の2項目についての説明を記載 する。

(1) 2次元屋根形状の作成

建物外形情報と建物外形形状に重畳する点群を使用して2次元屋根形状の生成を行う。 以下に、2次元屋根形状作成処理の全体フローを示す。



家屋モデリング - 2次元屋根形状の生成

図 3-46 家屋モデリング 2 次元屋根形状の生成処理

① 入力用画像の作成

屋根線検出および、バルコニー判定で使用するデータを作成する。それらの処理で使用する機 械学習モデルには、点群のデータをそのまま入力として与えることが出来ないため、画像に変換 する。画像作成処理の最後には、推論精度向上のため、画像を 3.125 倍に拡大し解像度 8cm 相当の画像にする処理を行う。

以下に、入力用画像の作成処理のフローを示す。



図 3-47 入力画像生成処理

② 屋根線検出

機械学習モデルの HEAT を用いて屋根線の検出を行う。 以下に、屋根線検出のフローを示す。

家屋モデリング 屋根線検出



③ 屋根線の最適化

HEAT で検出した屋根線は、屋根線の端点間の隙間や、屋根の外形線と屋根線の端点のずれがあるため、出力のまま使用することはできない。そのため、屋根線の長さや位置の調整を行う。 屋根線の最適化は以下の 10 ステップからなる。

- 1. 建物外の屋根線の端点を最も近い外形線上へ移動する
- 2. 外形線付近の端点を外形線の頂点または、外形線上へ移動する
- 3. 二重の線を除去する
- 4. 他の線分と繋がっていない端点で、近くに繋ぐ先がある場合、移動・延長して繋げる
- 5. 外形線上にある屋根線を除去する
- 6. 屋根線の角度が建物の向きに対して垂直水平になるように調整する
- 7. 交差している屋根線の交点に新たな頂点を作成し、その頂点で屋根線を分割する
- 8. 距離の近い端点を1つにまとめる
- 9. 外形線上にある屋根線を除去する
- 10. 他の線分と繋がっていない端点がある場合、その端点を持つ線分を除去する

屋根線最適化の処理例を以下に図示する。



④ 屋根面の抽出

最適化処理により最適化された屋根線で区切られた各領域を屋根面として抽出する。 以下にその例を示す。





屋根面の抽出は、屋根線と外形線を平面グラフとみなし、グラフ上を探索することで行う。グ ラフは隣接リスト形式で保持し、頂点毎に辺を時計回りにソートした状態にする。グラフの探索 時には、次に辿る辺を、最後に使用した辺の時計回り順で次の辺とすることで、反時計回り順に 屋根面の頂点を辿り領域を抽出出来る。また、この手法では建物の外形線も抽出されるが、外形 線は頂点が時計回りで抽出されるため、区別することができる。例を以下の図に示す。



以下に、屋根面抽出の処理フローを示す。



図 3-52 屋根面抽出処理

穴がある面が存在する場合には、時計回りの多角形が複数抽出される。その場合には、穴は外 形線よりも面積が小さいため、面積を比較することで、外形線と穴を区別することができる。

また、穴は obj ファイルで扱うことが出来ないため、穴を完全に内包する屋根面と接続し、1つの多角形として扱うようにする。処理例を以下に示す。


図 3-53 穴の処理例

また、以下に処理フローを示す。



凶 3-54 八切処理

⑤ バルコニー判定

バルコニーの屋根面は他の屋根面と区別して建物モデルを生成するため、各屋根面がバルコ ニーであるかを判定する。本処理は2段階からなる。

まず始めに、機械学習モデルの TransUNet を用い、バルコニー領域のセグメンテーションを行うことでピクセル毎にバルコニーであるかを判定する。

その後、各屋根面において、領域内の半分以上のピクセルがバルコニーと判定されていた場合 に、その屋根面をバルコニーとする。

以下の図 3-55 に処理例を示す。



図 3-55 バルコニー判定処理例

以下に処理フローを示す。



図 3-56 バルコニー判定処理

(2) 3次元モデル形状の作成

建物外形情報と屋根形状を使用して3次元モデル形状の生成を行う。 以下に、3次元モデル形状作成処理の全体フローを示す。



家屋モデリング - 3次元モデル形状の生成

図 3-57 家屋モデリング 3 次元モデル形状の生成処理

① 屋根面高さの推定

作成した屋根形状は2次元座標上での形状のため、屋根形状の各頂点に高さを付与することで、 3次元の屋根形状を決定する。各頂点の高さは、屋根形状を作成する際に使用した点群と屋根形 状から推定する。高さ推定時には、一つの屋根面が複数の屋根面に分割する方が良い場合がある ため、一度各屋根面を三角形に分割して推定を行う。推定には、線形計画法を用いる。

以下に屋根面高さの推定処理フローを示す。



図 3-58 屋根面高さの推定処理

屋根の最低高さと最高高さは、建物外形形状に重畳する点群の高さ情報から決定する。ノイズ や地面の点を考慮し、あらかじめ地面の高さから 2m 以下の点を除いた上で、25 パーセンタイル を最低高さ、90 パーセンタイルを最高高さとする。

三角形分割処理は屋根面毎に行う。屋根面をN角形としたとき、多角形の頂点間を結ぶN-3本の線分を追加することで、N角形をN-2個の三角形に分割することができる。この分割方法は複数通り考えられるため、目的に合った分割方法で分割する。1回目の三角形分割では分割線の長さの総和が最小になるように分割を行う。また2回目の三角形分割では線形計画法で求めた高さを使用し、隣接する三角形の法線同士のなす角の総和が最小になるように分割を行う。これらの三角形分割方法は動的計画法を用いて求める。

線形計画法の高さ決定処理では、家屋の体積の最大化と隣接三角形の法線がなす角の総和の最 小化を目的関数、各頂点の高さを変数として線形計画法を実行する。目的関数の2つの要素はト レードオフの関係にあるため、重みを付けてバランスの良い形状になるようにする。この際、各 頂点の高さの変数に屋根の最高高さ、最小高さおよび、外形線からの距離を元に制約を付与する ことで、DSM 点群の高さに合わせた外側が低く中心部が高い屋根形状が再現されるようになる。

② 屋根面の作成

屋根面は分割した三角形毎に1つのモデル面として作成する。各頂点の2次元座標に高さ情報 を付与して3次元座標上でのモデル面とする。なお、バルコニーと判定された面については、推 定した頂点の高さを使用せず、屋根の最小高さを全頂点の高さとする。

以下に屋根面作成の処理フローを示す。



図 3-59 屋根面の作成処理

③ 接地面の作成

接地面は、建物外形形状を基に作成する。建物外形形状は2次元座標上での形状のため、高さ 情報を付与することで3次元座標上でのモデル面とする。付与する高さ情報は、地面探索時に算 出した地面の高さとする。



図 3-60 接地面の作成処理

④ 壁面の作成

壁面は屋根面同士、および、屋根面と接地面の輪郭線で同じ2次元座標を結び異なる高さであ る線の間に作成する。壁面の表面が建物外側を向くようにするため、頂点列の順序は出現順が屋 根面及び地面と逆順になるようにする。本処理のコンセプトを以下に示す。



図 3-61 家屋モデリング 壁面作成のコンセプト

また、結ぶべき線が交差している場合には、以下の図のように交点に新たな頂点を作成し2つの面で壁を作成する。



図 3-62 家屋モデリング 交差部分の壁面生成処理





図 3-63 家屋モデリング 壁面生成処理

⑤ 面の統合

前節までのモデル面生成方法で生成されたモデルは、面が細かく分割されているため、面の数 が多くなっている。そのため、法線が同一方向の隣接する面を1つの面としてまとめ、面数を削 減する。その際、穴を含む面が生成さることを防ぐため、穴が発生する場合には統合しないよう にする。



図 3-64 家屋モデリング 面の統合

以下に面統合の処理フローを示す。



図 3-65 家屋モデリング 面統合処理

3.4.3. 位相一貫性チェック・補正モジュール

3.4.3.1. 全体の処理フロー

位相一貫性検査/補正処理の全体フローを、図 3-66 に示す。

最初にパラメータファイルを入力した後、各 0BJ ファイルに対して一連の処理を行う。処理内 容は 0BJ ファイルを入力し、0bjInfo クラス(3.4.3.2 参照) に建物情報の格納、各検査/補正処 理の実施、エラー検出時にログファイルに出力、補正結果の 0BJ ファイルを出力である。

最後に全体の処理のサマリーをログファイルに出力する。



図 3-66 全体処理フロー

3.4.3.2. 建物情報保持クラス

0BJ ファイルを入力し、建物データの情報を保持するクラス 0bjInfos と関連するクラス図を 図 3-67 に示す。座標値のクラスは、オープンソースライブラリである Shapely の Point クラス を使用し、建物情報の保持は、0BJ ファイルの構造をクラス化した各クラスにより行う。今回入 力する 0BJ ファイルには、部材(屋根面/壁面/地面)毎の面情報は、コメントにより分割して格納 されているため、0bjInfo のメンバ変数 faces_list にて部材毎に面情報を格納する。



図 3-67 建物情報クラス/関連クラス図

3.4.3.3. OBJ ファイル入力処理

OBJファイルの入力処理フローを、図 3-68 に示す。建物毎に分かれている OBJファイル群を読み込み、建物情報群クラスにデータを登録する処理を行う。





3.4.3.4. 連続頂点重複検査/補正処理

連続頂点重複検査/補正の処理フローを図 3-69 に示す。1 つの建物データ内の各部材の全ての 面データに対して頂点重複検査を行い、重複点があれば除外する処理を行う。



図 3-69 連続頂点重複検査/補正処理フロー

3.4.3.5. ソリッド閉合検査/補正処理

ソリッド閉合検査/補正処理の概略フロー図を図 3-70 に示す。まず1つの建物データの全ての 面に対して、三角形に分割処理を行う。次に、分割された各三角形の線分に対して、他の三角形 と同一の線分があるかどうかを探索し、同一線分があれば、線分を除外する。面が予め頂点で分 割されているケースもあるため、線分が分割されたものに対してマージ処理を行った後に、再度 同一線分を除外する。同一線上の重複分を削除し、残った線分を開口部と判定して、エラー出力 する。最後に、開口部の線分から面データを作成して元データに追加する補正処理を行う。この 際、面データの法線方向から部材を判断して、該当する部材の FaceInfo[] データにデータを追 加するものとする。ソリッド閉合検査/補正処理フロー図を図 3-71 に示す。



図 3-70 ソリッド閉合検査/補正処理の概略フロー





凸多角形の三角形分割処理の概要フロー図を図 3-72 に、凹多角形の三角形分割処理の概要フロー図を図 3-73 に、三角形分割の全体処理フローを図 3-74 に示す。

図 3-72 凸多角形の三角形分割処理の概要フロー図



図 3-73 凹多角形の三角形分割処理の概要フロー図



図 3-74 面の三角形分割処理フロー

開口部検出処理フローを図 3-75 に、開口部の面データの作成処理フローを図 3-76 に示す。



図 3-75 開口部検出処理フロー





3.4.3.6. 非平面三角形分割検查/補正処理

非平面厚み検査/補正処理の概要フロー図を図 3-77 に、非平面法線検査/補正処理の概要フロー 図を図 3-78 に示す。1つの建物データ内の全ての面データに対し、非平面厚み検査、非平面法線 検査を行い、該当するエラーを検出した場合には、エラー内容と座標位置を検査結果情報に登録 する処理を行う。非平面厚み検査は、面の厚みを算出し、厚みが一定値を超えていないかの検査 を行う。非平面法線検査は、面内の連続する3頂点から法線を算出し、各法線の角度の差分が一 定値を超えていないかの検査を行う。面の厚み、または、各法線の角度の差分が一定値を超えて いる場合は、面を三角形に分割したものに置き換える補正処理を実施する。



図 3-77 非平面厚み検査/補正処理の概要フロー図



図 3-78 非平面法線検査/補正処理の概要フロー図

非平面三角形分割検査/補正の全体処理フローを図 3-79 に、非平面厚み検査の処理フローを図 3-80 に、非平面法線検査の処理フローを図 3-81 に示す。



図 3-79 非平面三角形分割検査/補正処理フロー



図 3-80 非平面厚み検査処理フロー



図 3-81 非平面法線検査処理フロー

3.4.3.7. 面積0ポリゴン検査/補正処理

面積 0 ポリゴン検査の処理フローを図 3-82 に示す。1 つの建物データ内の全ての面データに 対し、面積が0 となっていないかの検査を行い、面積が0 となっている面は削除する。



図 3-82 面積0ポリゴン検査処理フロー

3.4.3.8. 自己交差/自己接触検査処理

自己交差/自己接触検査処理の概要フロー図を図 3-83 に示す。1 つの建物データ内の各部材の 全ての面データに対して自己交差/自己接触検査を行い、該当するエラーを検出した場合には、エ ラー内容と座標位置を検査結果情報に登録する処理を行う。自己交差検査処理の概要フロー図を 図 3-84 に、自己接触検査処理の概要フロー図を図 3-85 に示す。自己交差/自己接触検査の全体 処理フローを図 3-86 示す。



図 3-83 自己交差/自己接触検査処理の概要フロー図



図 3-84 自己交差検査処理の概要フロー図



図 3-85 自己接触検査処理の概要フロー図



図 3-86 自己交差/自己接触検査の全体処理フロー

3.4.3.9. 地物内面同士交差検査処理

地物内面同士交差検査の概要フロー図を図 3-87 に示す。1 つの建物データ内の全ての面データ に同士の交差検査を行い、該当するエラーを検出した場合には、エラー内容と座標位置を検査結 果情報に登録する処理を行う。検査にあたっては、面データを一旦、三角形に分割した後、分割 した三角形同士が交差しているかどうかを判定することにより行うものとする。位置関係算出処 理の概要フロー図を図 3-88 に示す。地物内面同士交差検査の処理フローを図 3-89 に示す。三角 形同士の交差判定処理フローを図 3-90 に示す。



図 3-87 地物内面同士交差検査処理の概要フロー図



図 3-88 位置関係算出処理の概要フロー図



図 3-89 地物内面同士交差検査処理フロー



図 3-90 三角形同士の交差判定処理フロー

3.4.3.10.OBJ ファイル出力処理

obj ファイルクローズ

1

OBJファイルの出力処理フローを、図 3-91 に示す。建物情報クラスの内容を OBJ ファイルに 出力する。位相一貫性検査処理以外にも使用されるため、処理フローは、テクスチャファイルの 出力処理も含んだものを記載している。



図 3-91 OBJ ファイル処理フロー

3.4.4. テクスチャ張付けモジュール

3.4.4.1. 全体の処理フロー

テクスチャ自動貼付けの全体フローを、図 3-92 に示す。



図 3-92 全体処理フロー

3.4.4.2. テクスチャ画像抽出処理

(1) 屋根面テクスチャ画像抽出処理

屋根面として 0BJ ファイルに記載されている絶対座標を読み込み、有効な航空写真と画像座標 を算出しテクスチャ登録を行う。複数枚の有効な航空写真がある場合は、テクスチャ画像が最大 となるものを登録する。



(2) 壁面テクスチャ画像抽出処理

壁面として OBJ ファイルに記載されている絶対座標を読み込み、有効な航空写真と画像座標を 算出しテクスチャ登録を行う。複数枚の有効な航空写真がある場合は、テクスチャ画像が最大と なるものを登録する。



- (3) 絶対座標から画像座標への変換
 - ・ カメラの回転行列

内部標定要素から以下の式を用いて回転行列を算出する。 なお、入力時のカメラ姿勢は度(degree)となっているため、ラジアンに変換してから計 算を行う。

$$\begin{split} \boldsymbol{R} &= \boldsymbol{R}_x(\omega)\boldsymbol{R}_y(\phi)\boldsymbol{R}_z(\kappa) \\ &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\omega) & -\sin(\omega) \\ 0 & \sin(\omega) & \cos(\omega) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\phi) & 0 & \sin(\phi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\phi) & 0 & \cos(\phi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\kappa) & -\sin(\kappa) & 0 \\ \sin(\kappa) & \cos(\kappa) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \cos\kappa\cos\phi & -\sin\kappa\cos\phi & \sin\phi \\ \cos\kappa\sin\omega\sin\phi + \sin\kappa\cos\omega & \cos\kappa\cos\omega - \sin\kappa\sin\omega\sin\phi & -\sin\omega\cos\phi \\ \sin\kappa\sin\omega - \cos\kappa\cos\omega\sin\phi & \sin\kappa\cos\omega\sin\phi + \cos\kappa\sin\omega & \cos\omega\cos\phi \end{pmatrix} \end{split}$$

回転行列は以下の2種類とし、設定パラメータファイルの値から切り替え可能とする。

種別 $0: \mathbb{R} = R_x(\omega)R_y(\phi)R_z(\kappa)$ 種別 $1: \mathbb{R} = R_z(\kappa)R_y(\phi)R_x(\omega)$

絶対(ワールド)座標系からカメラ座標系への変換 OBJ ファイルの座標系が以下のため、外部標定要素の値は OBJ ファイルの座標系に統一 した値を入力すること。



図 3-95 OBJ ファイルの座標系

T = (Tx、Ty、Tz):カメラ位置(ワールド座標)
 X = (X、Y、Z):対象のワールド座標
 上記からカメラ座標系に変換した座標(X' = (X'、Y'、Z'))を計算する。

 $X' = R^T (X - T)$



・ カメラ座標系から画像座標系への変換



下記計算で画像座標(mm)に変換を行う。

$$\begin{pmatrix} x_{\rm h} \\ y_{\rm h} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{X'}{Z'} \\ \frac{Y'}{Z'} \end{pmatrix}$$

画像座標を mm から pixel に変換する。

(Cx、Cy) : 画像主点
fx : x軸の焦点距離(pixel)
fy : y軸の焦点距離(pixel)
pixel座標X = Cx - fx * Xh
pixel座標Y = Cx - fy * Yh

上記だと画像中心が原点となるため、画像座標(左上原点)に変換する。

imageSize_x : x 軸の画像サイズ(pixel) imageSize_y : y 軸の画像サイズ(pixel) 左上原点の座標 X = imageSize_x/2 + pixel 座標 X 左上原点の座標 Y = imageSize_y/2 + pixel 座標 Y - imageSize_y





(4) 陰面判定

壁面テクスチャ画像が航空写真上で陰面(立体の見えない面)かを判定し、陰面であれば正しい テクスチャが取得できないためテクスチャ貼付けを行わない。屋根面については陰面判定を行わ ない。

判定方法は、壁面座標のうち屋根面と接する頂点と、屋根面と接していない頂点を結ぶ線分(青 色と黄色)が、屋根面頂点を繋ぐ線分(赤色)内に入るか交差している場合は陰面、そうでなければ 陰面ではないものとする。前述以外の線分については検査を行う必要はない。

屋根面の間にある壁面については、より高い位置を屋根面として処理を行い、低い方の屋根面 と接している部分は「屋根面と接していない頂点」として扱う。(図 3-98 参照)



図 3-98 屋根面間の壁面



屋根面座標:①23④ 壁面座標:①265/2673/4378/①485 地面座標:5678

・上記図の①②⑥⑤の壁面の場合、以下の通りとなる。

屋根面と接する頂点と、屋根面と接していない頂点を結ぶ線分: ②−⑥、⑤−① 屋根面頂点を繋ぐ線分: ①−②−③−④

→⑤-①の線分が屋根面頂点を繋ぐ線分と交差しているため、陰面と判定する。

・上記図の②⑥⑦③の壁面の場合、以下の通りとなる。

屋根面と接する頂点と、屋根面と接していない頂点を結ぶ線分:2−6、2−6 屋根面頂点を繋ぐ線分:1−2−3−4

→いずれの線分も屋根面頂点を繋ぐ線分と交差していないため陰面ではないと判定する。

3.4.4.3. テクスチャ画像貼付け処理

テクスチャ画像を航空写真から切り出し、新しく作成した出力先画像に貼付け、JPG ファイルと して出力を行う。出力画像の幅と高さは 2 の累乗とし、画像最大幅は 4096pixel、最大高さは 4096pixel とする。



3.4.4.4. テクスチャ画像座標取得処理

テクスチャ画像貼付け処理で取得した座標を元に、OBJファイルに記載する座標に変換を行う。 取得した座標系が左上原点の[x(0~横の画像幅), y(0~縦の画像高さ)]座標であるのに対し、OBJ ファイルに記載する座標系は左下原点の[u(0~1), v(0~1)]座標となる。

座標系の変換は以下の手順とする。

- XY 左上原点座標系→UV 左上原点座標系の計算
 [XY 左上原点座標での対象座標 / 画像の最大幅高]
- UV 左上原点座標系→UV 左下原点座標系
 V 座標のみ[1- UV 左上原点座標系]



図 3-100 座標系の変換例
3.4.5. CityGML 出力モジュール

3.4.5.1. CityGML 出力処理

OBJファイルから得られた LOD2 の各建物形状データに対し、CityGML 形式の記述に変換を行う。 CityGMLファイル内にある同じ建物の LOD1 建物形状データを探索し、得られた位置に変換した情報を追加し、出力する処理を行う。





3.4.5.2. 出力物情報

建物1つに対応して、CityGMLファイルに追加し出力する要素は以下の通りである。

● LOD2 建物形状

以下の情報を含む"bldg:boundedBy"タグ情報を、建物を構成するポリゴン数追加する。

- ポリゴン種別 ID("bldg:WallSurface"/"bldg:RoofSurface"/"bldg:GroundSurface")
- テクスチャのポリゴン ID("gml:Polygon")
- 建物形状座標 ID ("gml:LinearRing")
- 建物形状座標("gml:posList")

各 ID 名称は以下の通りとする。

通し番号は[0]から1ずつインクリメントしたものを、ポリゴン数割り振る。

ID 種類	命名規則	例(建物 ID:BLD_12345678-abcd-1234-abcd-12345678abcd の場合)
ポリゴン種別 ID(壁面)	wall_建物 ID_通し番号	wall_BLD_12345678-abcd-1234-abcd-12345678abcd_0
ポリゴン種別 ID(屋根	roof_建物 ID_通し番号	roof_BLD_12345678-abcd-1234-abcd-12345678abcd_0
面)		
ポリゴン種別 ID(地面)	ground_建物 ID_通し番号	ground_BLD_12345678-abcd-1234-abcd-12345678abcd_0
テクスチャのポリゴン	texture_建物 ID_通し番号	texture_BLD_12345678-abcd-1234-abcd-12345678abcd_0
ID		
建物形状座標 ID	shape_建物 ID_通し番号	shape_BLD_12345678-abcd-1234-abcd-12345678abcd_0

表 3-21 ID 種類

追加位置は"bldg:lod1Solid"の次(LOD2 テクスチャ情報がある場合は"bldg:lod2Solid"

の次)とする。

<pre>k </pre>	ig:k	ooun	dedBy	> 		ml•id	ポリコン種別/ID
^	Σn.	108. Zh	nario Ida•i	od 2k	108 8	gin - no Surefe	(Wall/Roof/Ground)
^		- Xn	/om	1:00	ltis	urfac	
^			2011	< 91	l:su	irface	lenher>
^				<u>```</u>	< 21	I :Pol	con sulid="texture BLD f098e3b9-87de-494#-addf-/ell4edf428/a >
^						<gm td="" <=""><td>exterior></td></gm>	exterior>
^							(gnl:LinearRing gnl:id="shape_BLD_f098e3b9-87de-4948-ad0f-7e04edf4287a_0") しのと生物が小人生気の
^							<gml:poslist>35.666527405345605 139.74182969402375 37.17047821 (中部) 35.666527405345605 139.74182969402375 37.17047821</gml:poslist>
î.							<pre></pre>
<u></u>						<td>:exterior></td>	:exterior>
2					8</td <td>mliPo</td> <td>ivgon> LODZ建物が代産標(ホッコン毎)</td>	mliPo	ivgon> LODZ建物が代産標(ホッコン毎)
2				- 4</td <td>mlis</td> <td>surfac</td> <td>Member></td>	mlis	surfac	Member>
~		÷.,		m : N	ulti	Surfa	26
~	. n		plag	1002	muit	ISULT	sce>
<td>ldg:</td> <td>bou:</td> <td>ndedB</td> <td>ourr y></td> <td>ace></td> <td></td> <td></td>	ldg:	bou:	ndedB	ourr y>	ace>		

図 3-102 LOD2 建物形状 タグ例

建物形状にテクスチャが貼付けされている場合、以下の要素を追加する。

LOD2 建物テクスチャのポリゴン ID 群
 建物1つに対応して、テクスチャのポリゴン ID("gml:surfaceMember")をポリゴン数含
 んだ "bldg:lod2Solid"を追加する。
 追加位置は "bldg:lod1Solid"の次とする。



図 3-103 LOD2 建物テクスチャのポリゴン ID 群 タグ例

● テクスチャ情報

以下の情報を含む "app:appearanceMember" タグを、テクスチャ画像数追加する。

- テクスチャ画像 URI("app:imageURI")
- ポリゴンの画像座標情報:ポリゴン数追加する
 - ポリゴン ID("app:target_uri")
 - ポリゴン座標("app:TexCoordList")

建物形状座標 ID を紐づけた "app:textureCoordinates"を含むものとする。

追加位置は "core:CityModel"の末尾とする。



図 3-104 テクスチャ情報 タグ例

3.4.5.3. 座標変換

0BJ ファイルに記載してある建物形状座標は平面直角座標系となっているため、経緯度座標系 に変換してから CityGML に記載を行う。建物形状データで使用している平面直角座標系情報は設 定パラメータファイルから取得する。

変換時はまず平面直角座標系を設定パラメータファイル記載の系番号(1~19系)から EPSG コード(EPSG:6669~EPSG:6687)に変換を行う。(対応表は表 3-22 参照)その後、経緯度座標系(EPSG:6668)へ変換を行う。

経緯度座標系への変換にはオープンソース(pyproj)を使用する。

平面直角座標系(系番号)	平面直角座標系(EPSG)
1 系	EPSG:6669
2	EPSG:6670
3	EPSG:6671
4	EPSG:6672
5	EPSG:6673
6	EPSG:6674
7	EPSG:6675
8	EPSG:6676
9	EPSG:6677
10	EPSG:6678
11	EPSG:6679
12	EPSG:6680
13	EPSG:6681
14	EPSG:6682
15	EPSG:6683
16	EPSG:6684
17	EPSG:6685
18	EPSG:6686
19	EPSG:6687

表 3-22 平面直角座標系 系番号·EPSG 対応表

3.5. ファイル仕様

本システムにて使用されるファイルの一覧を表 3-23 に示す。

No	ファイル名	概要
1	設定パラメータ	実行時に使用するパラメータ
2	航空写真 (原画像)	航空写真の原画像(中心投影)
3	航空写真 DSM 点群	SfM/MVS 処理より作成された航空写真 DSM 点群
4	外部標定パラメータ	カメラの位置、姿勢に関するパラメータ
5	内部標定パラメータ	カメラの焦点距離、センサーサイズ等に関するパラメータ
6	CityGML 入力ファイル	建物形状(LOD0、LOD1)、属性
7	CityGML 出力ファイル	建物形状(LOD0、LOD1、LOD2)、属性
8	実行ログ	実行履歴を記録する
9	モジュールログ	各モジュールのエラー内容を記録する
10	モデル化結果サマリー	各建物の実行結果を一覧で記録する

表 3-23 ファイルの一覧

3.5.1. 設定パラメータ

本システムの実行時に使用するパラメータを記載するファイルである。

ファイル形式	JSON			
ファイル名	param.json			
格納フォルダ	任意			
入力先	システム全般			
出力元	-			
特記事項	文字コードはUTF-8とする。			

表 3-24 設定パラメータファイルの仕様

本システムの実行時に使用する設定パラメータを表 3-25 に示す。

No	キー名	値	説明	
		形		
		式		
1	LasCoordinateSystem	数	航空写真 DSM 点群の平面直角座標系の番	
		値	号。	
			1~19の数値にて指定する。	
			未記入および 1~19 以外の値が入力された	
			場合は無効とし、エラーメッセージを表示	
			し、処理を中止する。	
2	DsmFolderPath	文	航空写真 DSM 点群のフォルダパスを指定す	
		字	る。	
		列	指定されたフォルダパスが存在しない場合	
			は無効とし、エラーメッセージを表示し、	
			処理を中止する。	
3	LasSwapXY	真	LAS ファイルの XY 座標を入れ替えて使用す	
		偽	るか否かを切り替えるフラグ。設定値が	
		値	true の場合は、LAS ファイルの XY 座標を	
			入れ替える。	
			システム内部座標系が、x が東方向、y が北	
			方向の値のため、LAS ファイル座標系が同	
			一座標系となるようにユーザーがフラグを	
			切り替える必要がある。	
			未記入、または、真偽値以外の値が入力さ	
			れた場合は、エラーメッセージを表示し、	
			処理を中止する。	
4	CityGMLFolderPath	文	入力 CityGML フォルダパスを指定する。	
		字	未記入および指定されたフォルダが存在し	
		列	ない場合、フォルダ内に CityGML ファイル	
			がない場合は無効とし、エラーメッセージ	
			を表示し、処理を中止する。	
5	TextureFolderPath	文	航空写真(原画像)の格納フォルダパス。	
		字	未記入および指定されたファイルが存在し	
		列	ない場合は無効とし、警告メッセージを表	
			示し、テクスチャ貼付け処理を実施しない。	

表 3-25 本システムの設定パラメータ

6	ExternalCalibElementPath	文	外部標定パラメータのファイルパス。
		字	未記入および指定されたファイルが存在し
		列	ない場合は無効とし、警告メッセージを表
			示し、テクスチャ貼付け処理を実施しない。
7	RotateMatrixMode	整	テクスチャ貼付け処理において、ワールド
		数	座標からカメラ座標に変換する際に使用す
		値	る回転行列 R の種類を切り替える設定値。
			モードの種類は以下2種類とする。
			$0: \mathbf{R} = R_x(\omega)R_y(\phi)R_z(\kappa)$
			1: $\mathbf{R} = R_z(\kappa)R_y(\phi)R_x(\omega)$
			未記入、または、0 と1 以外の値が入力さ
			れた場合は、エラーメッセージを表示し、
			処理を中止する。
8	CameraInfoPath	文	内部標定パラメータのファイルパス。
		字	未記入および指定されたファイルが存在し
		列	ない場合は無効とし、警告メッセージを表
			示し、テクスチャ貼付け処理を実施しない。
9	OutputFolderPath	文	生成モデルの出力先フォルダパス。
		字	指定されたフォルダ内に出力フォルダを作
		列	成し、作成したフォルダ内に CityGML ファ
			イルとテクスチャ情報を出力する。
			テクスチャ情報は、入力 CityGML ファイル
			名称(拡張子は除く)_appearance フォルダ
			に格納される。
10	OutputOBJ	真	生成モデルを CityGML ファイルとは別に
		偽	OBJ ファイルとして出力するか否かを設定
		値	するフラグ。
			true または false で値を指定する。
			未記入、または、真偽値以外の値が入力さ
			れた場合はエラーメッセージを表示、処理
			を中止する。
11	OutputLogFolderPath	文	ログのフォルダパス。
		字	未記入または、存在しない場合は、本シス
		列	テムの Python コードと同階層のログフォ
			ルダ"output_log"にログファイルを作成
			し、処理を中止する。

12	DebugLogOutput	真	デバッグレベルのログを出力するかどうか
		偽	のフラグ。
		値	true または false で値を指定する。
			未記入、または、真偽値以外の値が入力さ
			れた場合は、エラーメッセージを表示し、
			処理を中止する。
13	PhaseConsistency	辞	位相一貫性検査/補正処理用パラメータ。
		書	表 3-26表 3-26を参照。

表 3-26 位相一貫性検査/補正用設定パラメータ

No	キー名	值形式	説明		
1	DeleteErrorObject	真偽値	位相一貫性検査エラー時に建物データを削除するか		
			どうかのフラグ。		
			true または false で値を指定する。		
			未記入、または、真偽値以外の値が指定された場合		
			は、エラーメッセージを表示し、処理を中止する。		
2	NonPlaneThickness	数值	位相一貫性非平面厚み検査のエラー判定閾値。		
			非平面とみなす平面の厚みを m で指定する。		
			未記入、または、負の値が指定された場合は、エラー		
			メッセージを表示し、処理を中止する。		
3	NonPlaneAngle	数值	位相一貫性非平面法線角度検査のエラー判定閾値。		
			非平面とみなす平面の法線角度を。で指定する。		
			未記入、または、0°未満や90°以上が指定された場		
			合は、エラーメッセージを表示し、処理を中止する		

設定パラメータファイルの記載例を図 3-105 に示す。

1	{
2	"LasCoordinateSystem" : 9,
	"DsmFolderPath" : "C:/work/test_dsm",
4	"LasSwapXY": false,
5	"CityGMLFolderPath" : "C:/work/test_citygml",
6	"TextureFolderPath" : "C:/work/test_texture",
7	<pre>"ExternalCalibElementPath" : "C:/work/calib.txt",</pre>
8	RotateMatrixMode": 0,
9	"CameraInfoPath" : "C:/work/camera_info.txt",
10	"OutputFolderPath" : "OutputFolder",
11	"OutputOBJ" : false,
12	"OutputLogFolderPath" : "LogFolder",
13	"DebugLogOutput" : false,
14	<pre>"PhaseConsistency" : {</pre>
15	"DeleteErrorObject" : true,
16	"NonPlaneThickness" : 0.05,
17	·····"NonPlaneAngle" : 15
18	• • }
19	}

図 3-105 設定パラメータファイルの記載例

3.5.2. 航空写真(原画像)

航空写真測量で撮影した原画像(中心投影)ファイルである。

表 3-27 航空写真(原画像)ファイルの仕様

ファイル形式	TIFF
ファイル名	XXX.tif、「XXX」はファイルの識別子となる。
格納フォルダ	「設定パラメータ」にて指定する。
入力先	テクスチャ貼付けモジュール
出力元	-
特記事項	-

航空写真(原画像)格納フォルダの構成例を図 3-106 に示す。

名前	更新日時	種類	サイズ
20210819_033631850_1_001_RGB.tif	2021/08/23 14:31	TIF ファイル	1,311,826 KB
20210819_033650719_1_002_RGB.tif	2021/08/23 14:32	TIF ファイル	1,311,826 KB
20210819_033708532_1_003_RGB.tif	2021/08/23 14:32	TIF ファイル	1,311,826 KB
20210819_033725684_1_004_RGB.tif	2021/08/23 14:32	TIF ファイル	1,311,826 KB
20210819_033742427_1_005_RGB.tif	2021/08/23 14:33	TIF ファイル	1,311,826 KB
20210819_033759000_1_006_RGB.tif	2021/08/23 14:33	TIF ファイル	1,311,826 KB
20210819_034120284_2_006_RGB.tif	2021/08/23 14:34	TIF ファイル	1,311,826 KB
20210819_034140255_2_005_RGB.tif	2021/08/23 14:35	TIF ファイル	1,311,826 KB
20210819_034200054_2_004_RGB.tif	2021/08/23 14:35	TIF ファイル	1,311,826 KB
20210819_034219649_2_003_RGB.tif	2021/08/23 14:35	TIF ファイル	1,311,826 KB
20210819_034238979_2_002_RGB.tif	2021/08/23 14:35	TIF ファイル	1,311,826 KB
20210819_034258336_2_001_RGB.tif	2021/08/23 14:36	TIF ファイル	1,311,826 KB

図 3-106 航空写真(原画像)格納フォルダの構成例

3.5.3. 航空写真 DSM 点群

航空写真(原画像)から SfM/MVS 処理にて作成された DSM 点群ファイルである。

ファイル形式	las
ファイル名	XXX.las、「XXX」はファイルの識別子となる。
格納フォルダ	「設定パラメータ」にて指定する。
入力先	モデル要素生成モジュール
出力元	-
特記事項	las ファイルのバージョンは 1.2~1.4 に対応する。
	las ファイルの xy 平面の座標系は図 3-108 パターン a を基準と
	する。
	パターン b の座標系の las ファイルを入力する場合は、設定パラ
	メータファイルの LasSwapXY を true にすること。

表 3-28 航空写真 DSM 点群ファイルの仕様

航空写真 DSM 格納フォルダの構成例を図 3-107 に示す。

名前 ^	更新日時	種類	サイズ
DSM234347.las	2022/04/28 19:01	LAS ファイル	101,564 KB
DSM234352.las	2022/04/28 19:04	LAS ファイル	101,564 KB
DSM234357.las	2022/04/28 19:07	LAS ファイル	101,564 KB
DSM239347.las	2022/04/28 19:01	LAS ファイル	101,564 KB
DSM239352.las	2022/04/28 19:04	LAS ファイル	101,564 KB
DSM239357.las	2022/04/28 19:07	LAS ファイル	101,564 KB
DSM244347.las	2022/04/28 19:01	LAS ファイル	101,564 KB
DSM244352.las	2022/04/28 19:04	LAS ファイル	101,564 KB
DSM244357.las	2022/04/28 19:07	LAS ファイル	101,564 KB
DSM249347.las	2022/04/28 19:01	LAS ファイル	101,564 KB
DSM249352.las	2022/04/28 19:04	LAS ファイル	101,564 KB
DSM249357.las	2022/04/28 19:07	LAS ファイル	101,564 KB

図 3-107 航空写真 DSM 格納フォルダの構成例



図 3-108 las ファイルの xy 平面の座標系について

3.5.4. 外部標定パラメータ

航空カメラの位置、姿勢に関するパラメータを記載するファイルである。

ファイル形式	TXT
ファイル名	設定パラメータにて指定する。
格納フォルダ	設定パラメータにて指定する。
入力先	テクスチャ貼付けモジュール
出力元	-
特記事項	文字コードは UTF-8 とする。

表 3-29 外部標定パラメータファイルの仕様

本システムにて使用される外部標定パラメータの詳細は「(1)外部標定要素情報」を参照すること。

外部標定パラメータファイルの記載例を図 3-109 に示す。

図 3-109 外部標定パラメータファイルの記載例

3.5.5. 内部標定パラメータ

カメラの焦点距離、センサーサイズ等に関するパラメータを記載するファイルである。

ファイル形式	TXT
ファイル名	設定パラメータにて指定する。
格納フォルダ	設定パラメータにて指定する。
入力先	テクスチャ貼付けモジュール
出力元	-
特記事項	文字コードは UTF-8 とする。

表 3-30 内部標定パラメータファイルの仕様

本システムにて使用される内部標定パラメータの詳細は「(2)内部標定要素情報」を参照すること。

内部標定パラメータファイルの記載例を図 3-110 に示す。

CamInfo.txt -	メモ幒	Į.					
ファイル(F) 編集(E FocalLength 120.0	E) đ	9式(O) 表示(V) / ImageSize_× 92.16	Nレブ(H) ImageSize_y 165.888	PixelSize_x 12.0	PixelSize_y 12.0	PrinciplePoint_x 0.0	PrinciplePoint_v 0.0
焦点距離		イメージセン	∨ササイズ(x,y)	1pixelの	サイズ(x,y)	カメラ	主点(x,y)

図 3-110 内部標定パラメータファイルの記載例

3.5.6. CityGML 入力ファイル

建物形状、及び属性データを格納するファイルである。

表	3-31	CityGMI 入力ファイルの仕様	
11	0 01	UILYGNIL / //////////////////////////////////	ς.

ファイル形式	GML
ファイル名	設定パラメータにて指定する。
格納フォルダ	設定パラメータにて指定する。
入力先	CityGML 入力モジュール、CityGML 出力モジュール
出力元	-
特記事項	・建物の詳細度に関して LODO、LOD1 が記載されるものとする
	・建物の外形データに関して以下1、2のいずれかが記載されている
	1、bldg:lod0RoofEdge
	2、bldg:lod0FootPrint

3.5.7. CityGML 出力ファイル

建物形状、及び属性データを格納するファイルである。

	表	3-32	CityGML	出力フ	アイ	ルの仕様
--	---	------	---------	-----	----	------

ファイル形式	GML
ファイル名	設定パラメータにて指定する。
格納フォルダ	設定パラメータにて指定する。
入力先	-
出力元	CityGML 出力モジュール
特記事項	・建物の詳細度に関して LOD0、LOD1、LOD2 が記載されるものとする

3.5.8. 実行ログ

本システムの実行ログを格納するファイルである。出力内容は、指定パラメータ内容、処理開始時刻、処理終了時刻、処理時間等とする。

ファイル形式	TXT
ファイル名	main_log.txt
格納フォルダ	設定パラメータにて指定する。
入力先	-
出力元	システム全般
特記事項	

表 3-33 実行ログファイルの仕様

3.5.9. モジュールログ

モジュールログを格納するファイルである。各モジュールの動作ログを出力する。

ファイル形式	TXT
ファイル名	・CityGML 入力モジュール :
	input_citygml_log.txt
	・モデル要素生成モジュール :
	<pre>model_element_generation_log.txt</pre>
	・位相一貫性検査/補正モジュール :
	check_phase_consistensy_log.txt
	・テクスチャ貼付けモジュール:
	paste_texture_log.txt
	・CityGML 出力モジュール :
	output_citygml_log.txt
格納フォルダ	設定パラメータにて指定する。
入力先	-
出力元	各モジュール
特記事項	

表 3-34 モジュールログファイルの仕様

3.5.10. モデル化結果サマリー

モデル化結果サマリーを格納するファイルである。各建物の作成結果を csv ファイル形式で出 力する。

ファイル形式	CSV
ファイル名	model_create_result.csv
格納フォルダ	設定パラメータにて指定する。
入力先	-
出力元	システム全般
特記事項	・パラメータファイル入力エラー、もしくは、CityGML 入力の結果が ERROR の場合は、出力しない ・サマリーファイルの項目は以下とする
	• No
	・ファイル名
	・建物 ID
	・最終結果
	・CityGML 読み込み結果
	・LOD2 モデルの作成結果
	・連続頂点重複検査結果
	・ソリッド閉合検査結果
	・非平面検査結果
	・ 面積 0 ポリゴン検査結果
	・自己交差/自己接触検査結果
	・地物内面同士交差検査結果
	・テクスチャ貼付け結果
	・ 文字コードはUTF-8 BOM 付きとする

表 3-35 モデル化結果サマリーファイルの仕様

モデル化結果サマリーファイルの記載例を図 3-111 に示す。



図 3-111 モデル化結果サマリーファイル出力例

4. 建物 LOD2 自動生成ツールの検証

4.1. 検証概要

開発した建物 LOD2 自動生成ツール(以下、「本ツール」)の有効性を検証するため、モデル正 確度検証、費用削減効果評価、ユーザビリティ検証を行った。

モデル正確度検証	作成したモデルの正しさについて検証
費用削減効果評価	本ツールの経済的な効果について検証
ユーザビリティ検証	本ツールの使いやすさについて検証

なお、モデル正確度検証とユーザビリティ検証で収集した本ツールの使用上の一部の問題点に ついて、手法及びシステムの改良を行った。

4.2. モデル正確度検証

4.2.1. 対象地域の選定

都市局が LOD2 建築物モデルを公開している神奈川県川崎市の川崎区及び幸区を検証対象地域 として選定した。



図 4-1 モデル正確度検証の対象地域

LOD2 モデルを公開している建物は 5062 棟をモデル正確度の評価対象とした。図 4-2 に評価対象建物のタイプ別棟数を示す。



図 4-2 モデル正確度検証の評価対象建物のタイプ別棟数

4.2.2. 評価基準

以下の基準を用いてモデルの品質評価を行った。

表 4-1 モデル正確度の評価基

モデルの評価ランク	定義
ランク A	ほぼ修正不要
ランク B	一部不自然な形状がある
ランク C	要修正

※ 経年変化により建物外形と点群が合わなくなり、モデルの作成ができない建物は対象外した。

4.2.3. 評価結果

モデル正確度の評価結果を表 4-2 と図 4-3 に示す。

「ほぼ修正不要」のランクAの建物モデルは全体の41.7%を占めており、良好な結果となった。

「一部不自然な形状がある」ため修正が必要となるランクBは27.1%であり、「要修正」のラン クCの28.8%より低い値であるが、ランクAと合わせて68.8%の建物モデルにおいて本ツールの有 効性が示されていることがわかる。

評価ランク	棟数	割合
ランク A	2020	41.7%
ランク B	1313	27.1%
ランクC	1397	28.8%
未生成	119	2.5%
対象外	202	-

表 4-2 モデル正確度の評価ランク別棟数割合



図 4-3 モデル正確度の評価ランク別棟数

4.2.4. モデル作成失敗要因分析

評価ランクBとCの建物について作成失敗の要因分析と対策検討を行った。(表 4-3)

NO.	課題	対策検討
1	建物の誤分類により DSM 点群と一致しな いモデルが生成される	 ・追加学習による分類モデルの精度向上(汎化 性能の向上) ・手動作成特徴量による分類モデルの精度向上
2	不具合による正しくないモデルの生成	・不具合修正
3	屋根線の誤検出によりモデルの形が乱れ ている、或いはDSM 点群と一致しない	・追加学習による屋根線検出モデルの精度向上 (汎化性能の向上)
4	丸め効果により、点群から建物形状(例: 段差)が認識できない	・25cm 解像度データでは難しく、より高精度 のデータが必要と考えられる
5	点群欠落による間違った形状のモデルの 生成	・入力データの改善が必要
6	障害物(樹木、影)がある建物で間違った モデルが生成される	・障害物の認識が必要なため、対応は難しいと 考えられる
7	特別な形、或いは非常に複雑な形の建物 で間違ったモデルが生成される	・25cm 解像度データでは難しく、より高精度 のデータが必要と考えられる

表 4-3 作成失敗の要因分析と対策検討

4.2.5. モデル作成例



図 4-4 モデル生成結果例



図 4-5 モデル生成結果例



図 4-6 モデル生成結果例

4.2.6. 海外製ツールとの比較

本ツールの有効性の検証として、海外製ツール(Leica HxMap)との定性評価を実施した。表 4-4、 表 4-5 に定性評価結果を示す。



表 4-4 海外製ツールとの比較



本ツールは海外製ツールが表現できていない一部の屋根線を生成できている。









4.3. 費用削減効果評価

モデル正確度の評価ランクごとに工数削減率を表 4-6 の通りに定義し、川崎市における LOD2 作成の工数削減、及び費用削減効果の試算を行った。費用削減効果の試算については、国土交通 省都市局が配布している「3D 都市モデル整備費用試算ツール(2022 年度)」を使用した。

モデルの評価ランク	工数削減率
ランク A	100%
ランク B	50%
ランクC	0%

表 4-6 評価ランクに対する工数削減率設定

川崎市のLOD2整備済み建物の評価ランクより算出した工数削減率は47.5%となり、これをもと に算出した費用削減効果を表 4-7 に示す。3D都市モデル整備費用試算ツールにより算出した試算 費用の下限値と上限値、およびその平均値に工数削減率を掛けた値を費用削減効果(万円)とし た。

		下限値 (万円)	上限値 (万円)	平均値 (万円)
川崎市	試算費用	514	2, 210	1, 362
LOD2 整備済みエリア	削減費用	245	1, 050	647
川崎市	試算費用	14, 435	62,071	38, 253
全域	削減費用	6, 857	29, 484	18, 171

表 4-7 費用削減効果

下限値と上限値に開きがあるため、平均値を用いて費用削減効果を見ると、川崎市 LOD2 整備 済みエリアにおいては平均値で 647 万円の費用削減が可能と試算され、川崎市全域においては 18,171 万円の費用削減効果が見込まれることが確認できた。

4.4. ユーザビリティ検証

建物 LOD2 自動生成ツールの使いやすさを検証することを目的として、国際航業株式会社(以下、「検証者」)の協力のもとでユーザビリティ検証を行った。

実際に OSS として公開予定であるプログラム、ドキュメントを検証者に共有し、検証者がドキュ メントをもとに環境を構築し、検証者のデータでモデルの作成を行った。

使用された入力データ(航空写真)のスペックを以下に示す。

- ・ 撮影カメラ: DMCⅡ230
- ・ 地上解像度: 12cm
 ※内部処理では入力 DSM を 25cm グリッドで間引いて画像化するため、実質上 25cm 地 上解像度相当となる。
- オーバーラップ率: 60%
- ・ サイトラップ率: 30%

図 4-7 と図 4-8 に作成したモデルの例を示す。





図 4-7 モデル生成結果例





図 4-8 モデル生成結果例

検証で収集したツール使用上の感想と問題点を以下に示す。

なお、ツール使用上の問題についてはユーザビリティ検証後にシステム改良を行った。

【ツール使用上の感想】 ・ドキュメントについて迷うような箇所は殆どなく、ドキュメント環境(Windows)とは異なる 環境(Linux)で動かしたが問題なく動作できた。 ・環境構築は開発知識がないと厳しいだが、一度構築できてしまえば簡単に利用はできる。 【ツール使用上の問題】 ・使用ライブラリの一部のアップデートが必要である。 ・Python3.9以降が必須であることはドキュメントに明記すべきである。 ・建物の縁のテクスチャがギザギザになっている。 ・カメラ情報についてカメラ主点(PPA)を入力するところがない。カメラによって PPA が大 さいものがあるため、追加すべきである。 ・エラーログの出し方はより親切にしたほうが良い。 ・作成したモデルについて簡単な屋根形状のものはできているが、複雑な屋根形状のものは精 度を向上させる必要がある。

5. OSS 化

開発した建物 LOD2 自動生成ツールは、OSS として Project-PLATEAU GitHub に公開した。GPL v3.0 ラインセンス⁶で公開しているため、誰でも使用・改良可能である。

URLhttps://github.com/Project-PLATEAU/Auto-Create-bldg-lod2-tool公開内容建物 LOD2 自動生成ツールのプログラム、チュートリアル、ユーザマニュアルラインセンスGPL v3.0

6. 成果と課題

本業務では建物 LOD2 自動生成手法の検討、及び自動生成ツールのシステム開発を行った。川崎市の実データを用いて検証した結果、開発したツールを用いて生成した建物モデルの内、「ほぼ修正不要」の建物は全体の約4割を占めており、良好な結果となった。また、川崎市全域モデルの作成において費用削減効果を試算した結果、約18,171万円の費用削減効果があり、開発したツールの経済的な有効性が確認できた。

本業務で開発した建物LOD2自動生成ツールをOSSとしてProject-PLATEAU GitHubに公開した。 様々な企業・団体が無料でこのツールを利用して建物LOD2データを作成することができる。これ により、地方公共団体等のデータ整備拡大が加速され、まちづくりDXの更なる推進が期待できる。

課題として、モデル正確度の評価で示されたように建物の誤分類や家屋屋根線の誤検出により 作成したモデルの屋根タイプの誤りや形状の乱れが発生している。最新技術の適用などによる精 度向上は今後の取り込みである。

⁶ GPLv3 クイック・ガイド - GNU プロジェクト - フリーソフトウェアファウンデーション

7. 用語集

■ 用語の一覧

用語	説明	
内部標定要素	航空写真撮影に使用したカメラのレンズ焦点距離、センサーサイズ、レンズの放射方向歪曲	
	収差を表す近似多項式の係数などの情報。	
外部標定要素	航空写真撮影時のカメラの3次元座標と3軸の傾き情報。	
オルソ画像	航空カメラが撮影した空中写真に対して、正射変換を行った画像。	
OBJ ファイル	3D モデルを表現するためのファイルフォーマット。	
LAS ファイル	LIDAR(Light Detection and Ranging、Laser Imaging Detection and Ranging)で取得	
	した点群データを保存するためのファイルフォーマット。	

■ 略語の一覧

略語		説明
CityGML	City Geography Markup Language	地理空間データに関する標準化団体である
		Open Geospatial Consortium(OGC)が策定し
		た 3D 都市モデルのためのオープンデータモデ
		ル及びデータ形式の国際標準。
GML	Geography Markup Language	Open Geospatial Consortium (OGC)によって
		開発された地理的な特徴を表現するための
		XML(Extensible Markup Language)文法。
LOD	Level Of Detail	モデルの詳細度を表し、LOD0~LOD4の5段階
		が定義されている。
SfM/MVS	Structure from Motion/Multi View	計測対象をさまざまな位置、角度から撮影した画
	Stero	像を基に写真同士の対応関係を解析することで、
		計測対象の三次元形状を復元する技術。
DSM	Digital Surface Model	数値表層モデル(地物表面)