

# 歴史的建造物のレーザ計測点群データに基づく 平面・断面図の自動生成と融合可視化

## Automatic as-build floor plan generation of Japanese historical buildings based on laser scanned point cloud

王 セイ† 長谷川 恭子† 田中 弘美† 岡本 篤志‡ 田中 覚†  
Wang Sheng Kyoko Hasegawa Hiromi T. Tanaka Atsushi Okamoto Satoshi Tanaka

### 1. はじめに

精確な建築情報は、歴史的建造物の保存や復元において、とても重要である。しかし、精密な設計図が存在する現代の建物と違い、歴史的な建造物は保存されてきた建築情報が非常に少ない。これに対し、三次元レーザ計測技術を利用し、歴史的建造物の内部・外部構造を把握する手法がある。この手法では、レーザ計測で取得した3次元点群データを分析することによって、必要な建築情報を取得する[1][2][3]。ただし、この手法では、良い結果を取得するには、人力的・時間的にコストが高い。近年、計測点群データに基づく研究は数多く行われているとは言え、点群から精確な幾何学情報を自動抽出するのは未だに困難であり、尽力に多くを頼っているのが現状である[4][5][6][7]。

一方、大規模点群データの高速レンダリングの実現により、三次元計測点群データに基づく多様な可視化技術の開発が要求されてきた。これを背景に、我々は大规模点群データをベースに、我々は、粒子ベースレンダリングという半透明特性を持つ可視化技術を開発してきた[8]。また、点群データだけでなく、ボリュームデータ、サーフェスデータなどと融合した多彩な可視化も可能である。

本研究は、歴史的な建造物に関連する事業（保存、復元、展示等）を支援することを目的として、三次元レーザ計測点群データに基づき、建築情報を抽出し、平面・断面図の自動生成を目指す。同時に、生成された建築情報を計測点群データと融合することで、歴史的建造物の構造や特徴をより分かりやすく可視化する。ただし、本論文では、現段階の進捗につき、図化处理の前期段階（歴史的建造物にある各パーツの識別）を中心的に述べる。なお、事例として、本研究は滋賀県東歴史民俗博物館・旧中島家を対象にすることに通り、手法と結果の検証を行う。

### 2. 本研究の位置付け

従来、歴史的建造物の図形データは、人工で作成するのが一般的である。三次元計測はそれをサポートする立場で利用されている。メッシュやサーフェス情報を予め作成し、それに基づき図化する手法が見られるが、対象物の建築構造が複雑な場合、結果が大きすぎてしまう。なお、計測エラー等の影響も結果の精度を左右する。[9][10]が自らの手法で平面図の自動生成を行った。しかし、これらの手法は、壁の部分だけに着眼しているため、日本の歴史的建造物のような木造の構造には、適切ではない。原因として、現代または石造の建物は壁だけで大体の形状が表現できるが、日本の歴史的建造物は、柱や梁など、空間を完全に占有しない部分が多く、壁だけで図化した結果に欠如が発生する。それに対して、本研究は日本の歴史的な建造物の構

造を中心の対象として、異なるパーツの表示を含めた図形データの自動生成手法を開発する。

### 3. 手法

計測点群データは散乱データに属する。それに基づいた処理は、コストが高く、処理精度が不安定といったような特徴がある。対して、本研究は三次元計測点群データを二次元平面に投影することにより、散乱した点群データをビットマップ画像にダウンサンプリングし、画像処理技術の応用を可能にする。具体的な手法は以下のステップに分けられる。

- (1) 前処理  
図化处理に当たって、必要なデータの抽出を行う。
- (2) 投影画像の生成  
三次元点群データを直角座標系において、すべての点を高さ方向と垂直する平面に投影し、且つダウンサンプリングを行う。ただし、高さ方向での点群情報も保存する。
- (3) 柱の識別  
生成された投影画像から、柱の識別を行い、位置と寸法情報を記録する。
- (4) 壁と梁の識別  
壁と梁の識別を行い、位置と寸法情報を記録する。
- (5) 図形データの出力  
記録されたパーツの位置と寸法情報に従い、ベクトル画像として、図形データを出力する。

(1) (2) (3) に対して、3.1 から 3.3 までの節で詳細に説明する。(4) (5) の実現に関して、3.4 節で述べる。実験データとして、旧中島家の三次元レーザ計測点群データを使う。このデータ(図1に示す)はRIEGLの地上型レーザ計測機を使用して取得した。

#### 3.1 前処理

一つの建物に対し、一枚の平面図が反映できる情報が、一般的に床から天井までの間の部分である。複数階の建物であれば、複数の平面図で表示する。よって、それ以外の部分は雑音として扱われる。よって、前処理として、生の計測データを分割する必要がある。[9][10]では、フロア毎に、床と天井の間にある点群データを抽出し、それぞれ単独で処理する。本研究もこの手法を使用する。具体的に、まず、計測点群データを直角座標系に置き、各軸と垂直する平面に属する点群数のヒストグラムを出力する。そして、ヒストグラムを参考し、局所最大値を境目に、必要な部分の領域を確定する。図2が旧中島家計測データの高さ方向のヒストグラムを示している。その内容を見ると、地面と天井の部分の値が著しく隣の部分を越えていること(点群

†立命館大学, Ritsumeikan University

‡大手前大学, Otemae University



図 1. 旧中島家の三次元レーザ計測点群データ。

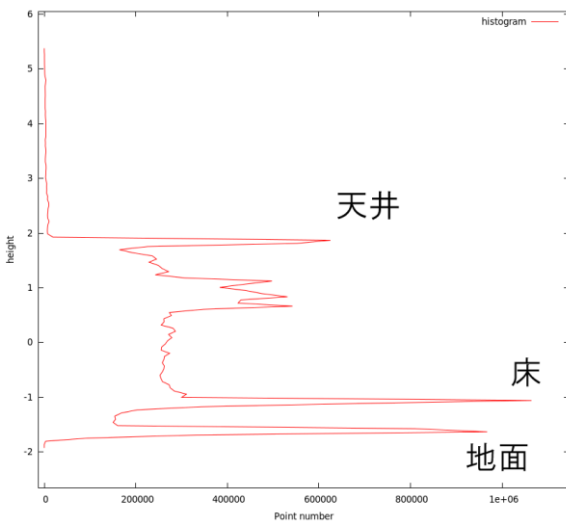


図 2. 旧中島家計測点群データの高さ方向でのヒストグラム。高さの低い所から、地面、床、天井の部分の点群数が著しく多い。

数が多い) が分かる。従って、その間にある部分を図化处理で使用するデータとして抽出する。

### 3.2 投影画像の生成

歴史的な建造物は、壁や柱のような部分が、地面と垂直した構造であり、直角座標系において、高さ方向での情報量が少ない。本研究は、この特性を活用し、計測点群データを高さ方向から、垂直する平面へ投影し、データの簡略化を行う。こうすることにより、散乱した点群データがラスタ表示を行っているビットマップ画像に変換し、点群データにおいて使えない画像処理技術が対応になる。そして、投影平面を一定の区域(画像の解像度)に分割し、各区域に、投影されてきた点の数を色素の輝度値として記録する。ただし、高さ方向の成分は bool 型の一次元配列(該当する領域に点があれば true, なければ false)として保存し、各区域に与える。図 3 には、生成された投影画像が表示している。色素の色情報は HSV 表色系に従い、輝度値を色相成分に変換したものである。

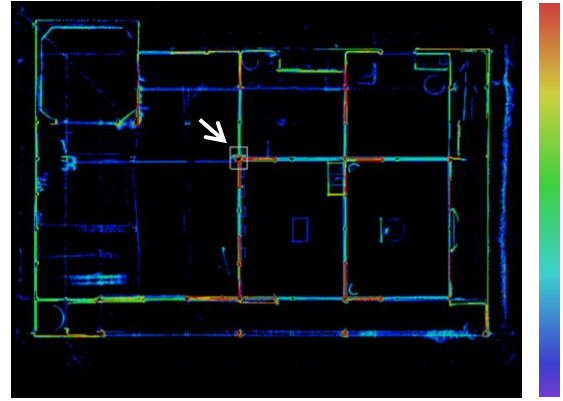


図 3. 投影後の結果画像。色情報は該当する色素に投影された点群の数を表現。

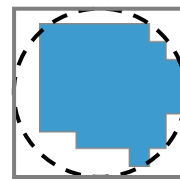


図 4. 青色の区域が検出された穴の形状を表す。対応する柱の大きさは穴の外接円の外接正方形にする。

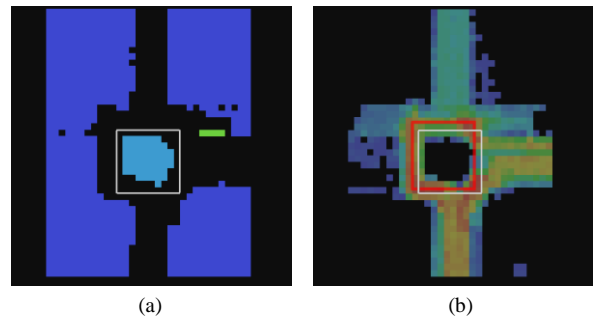


図 5. 柱の識別結果。白い枠が検出された柱の位置と寸法情報を示す。(a) CCLによりデータの無い部分を分類した結果。(b) 投影画像上での識別結果。赤い枠が目測の位置と寸法情報を表す。

### 3.3 柱の識別

木造の建物では柱と梁が全体の構造を示す骨組と言える。壁、床、天井などはほとんどその間に作られる。よって、木造建物の図化处理にとって柱と梁が識別できれば、間取りの構造や寸法が把握できると考えられる。日本の歴史的建造物は柱と梁の部分が直接観測できるのが一般的で、レーザ計測で形状情報を容易に取得できる。このステップでは柱の識別を行う。3.2 で生成された結果を観察すると、柱の部分が認識できる。それを自動抽出するには、パターン認識技術が利用できると思われるが、形状情報の特徴量が少なく、簡単ではない。また、計測エラーや計測ミスがあるため、そのパターンの形状は四角形に定まらない場合もあり、四角形状の識別も使えない。そこで本研究では、穴を探す手法を利用する。これは、レーザ計測は物体表面の情報しか取得しないため柱の内部に穴が生じることを利用するものである。穴の識別には CCL(Connected-component labeling) を使用する。ただし、この処理は局所領域で行う。その領域の範囲はユーザが設定する必要がある。図 5 が実行結果を示す(図 5 で表示する局所領域は図

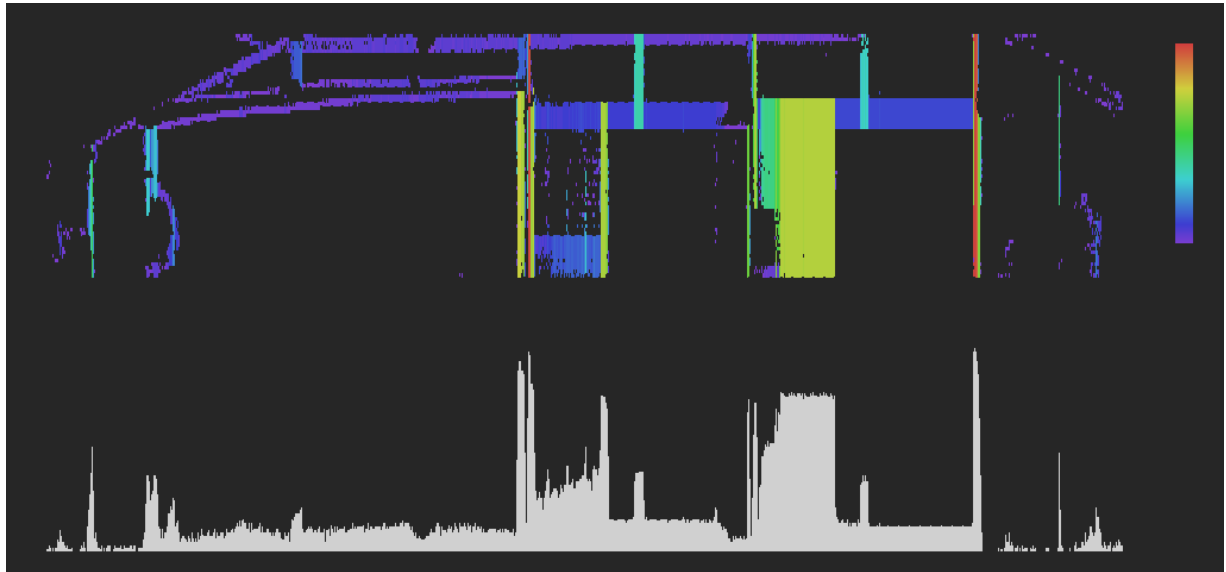


図6. 旧中島家計測データを投影画像に変換する際に保存された高さ方向の点群の連続性を可視化した結果。上半分は一枚の断面成分を表示するもの。下半分は横方向のヒストグラムを示す。図示により、柱（黄色、赤色）、壁（黄色）、梁（藍色、紫）、梁を連結する短い柱（青色）がそれぞれクラスタリングされている。色成分はクラスタリングされた単位の数を表している。

3にある矢印が指す区域である。また、検出された穴に対して、外接円の外接正方形を対応する柱の形状と想定する。結果を見ると、検出された形状は求める形状に近いのが分かる。

### 3.4 残り部分の識別と図形データの出力

生成された投影画像を観察すると、壁と柱が該当する区域が最も鮮明に見えるのが分かる。しかし、昔からの木造建物は、一部の梁を壁の中に嵌めて建てられる。ところで、図化処理に当たって、梁と壁を異なるパーツとして記述する必要がある。対して、梁と壁をそれぞれ識別するため、投影画像と同時に保存された高さ方向の情報を使用し、ユークリッド距離に従い、パーツのクラスタリングを行う。図6に、一枚の断面成分をクラスタリングした結果を示す。

図形データの出力について、CADデータの生成を正確にサポートするため、ベクトル形式の画像として生成する。図形の描画ツールはCairo Graphicsを使用する。

## 4. 結果の融合可視化

本研究の目標の一つとして、歴史的な建造物の分析的な可視化が挙げられる。いわゆる、歴史的建造物の構造や特徴をより分かりやすく可視化する。この目的のために、我々は粒子ベースレンダリング[3]の特徴を生かし、計測点群データと各パーツの融合可視化を行う。仕方として、検出されたパーツの形状情報に従い、ポリゴンデータを生成し、位置情報が示す場所に置き、元のレーザ計測点群データと融合する。結果を図7に示す。

## 5. まとめ

本研究は、歴史的な建造物を保存、復元、展示などの事業や研究を支援することを契機に、三次元レーザ計測点群データに基づき、歴史的建造物の図形データの自動生成手法の開発を行った。従来手法では、壁だけ図化されていることに対し、我々は複数のパーツを検出する手法を提案し、ただ輪郭だけではなく、歴史的建造物にある柱や梁などの部分の図化を図る。本論文は提案する図化処理の中で、柱

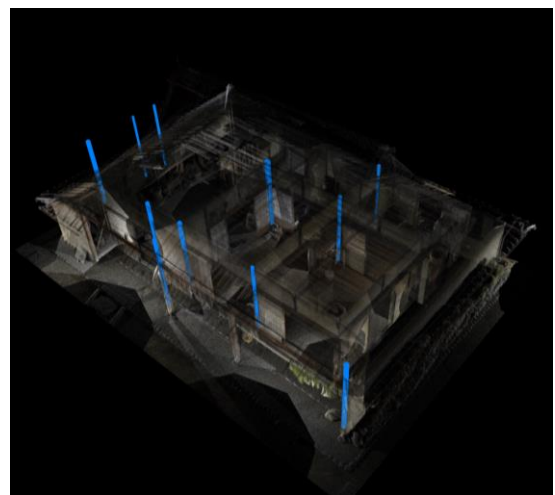


図7. 検出された柱と元の計測データの半透明融合可視化結果。青色の部分が抽出した柱を示す。

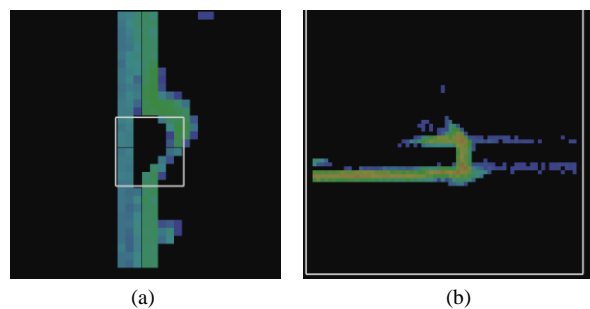


図8. (a) 不規則形状の柱の検出結果。(b) 穴の形成していない柱は、検出できない。

を識別する手法を中心に説明した。それ以外の部分の検出と図化処理はこれからの目標になる。なお、検出された柱の位置と形状情報に従い、新たに形状データを生成し、元のレーザ計測点群データとの融合可視化を行った。それに

より、CAD 化しなくとも、歴史的建造物の内部・外部構造が分かりやすく視認できる。

柱の識別の結果検証に関して、本研究が提案する手法は計測エラーにより発生する形状の歪みなどに詳しいが、現段階では、閉じていない形状（独立の穴が形成できない）の柱には適応しない（図8に示す）。これについて、レーザ計測を行う際に、柱の部分に対し、十分な点群密度で計測すれば、対応できると考えられる。

本研究遂行に当たって、滋賀県栗東歴史民俗博物館のご協力に感謝します。

## 参考文献

- 1) Naci Yastikli. 2007. "Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning." *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 8, Iss: 4, 423-427 .
- 2) Yusuf Arayici. 2007. "An approach for real world data modelling with the 3D terrestrial laser scanner for built environment." *Automation in Construction*, volume16, issue 6, 816-829.
- 3) Maurice Murphy, Eugene McGovern, Sara Pavia, 2009. "Historic building information modelling (HBIM)." *Structural Survey*, Vol. 27 Iss: 4, pp.311 – 327.
- 4) Leif Kobbelt, Mario Botsch. 2004. "A survey of point-based techniques in computer graphics." *Computers & Graphics*, Vol. 28, Iss: 6, 801-814.
- 5) Linsen, Lars. Point cloud representation. Univ., Fak. für Informatik, Bibliothek, 2001.
- 6) Fabio, Remondino. "From point cloud to surface: the modeling and visualization problem." *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34.5 (2003): W10.
- 7) R. Schnabel, R. Wahl, R. Klein. 2007. "Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection." *Computer Graphics Forum*, Vol. 26, Iss: 2, 214-226.
- 8) S Tanaka et. al. "Application of Stochastic Point-Based Rendering to Transparent Visualization of Large-Scale Laser-Scanned Data of 3D Cultural Assets", *PacificVis 2014 IEEE*, 267-271, 4-7 March 2014
- 9) Huber, Daniel, et al. "Methods for automatically modeling and representing as-built building information models." *Proceedings of the NSF CMMI Research Innovation Conference*. 2011.
- 10) Turner, Eric, and Avidah Zakhor. "Watertight as-built architectural floor plans generated from laser range data." *3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission (3DIMPVT)*, 2012 Second International Conference on. IEEE, 2012.