

スマートフォン・全方位カメラを用いた
作業効率化のための半自動天伏図作成システム
A Semi-Automated Ceiling Plan Generation System
Using a Smartphone / an Omnidirectional Camera for Efficiency-Enhancing

学生会員 ○小 濱 大 輝 (名古屋大学)

永 田 吉 輝 (名古屋大学)

正 会 員 安 武 和 成 (九電工)

正 会 員 酒 見 和 幸 (九電工)

片 山 晋 (名古屋大学)

浦 野 健 太 (名古屋大学)

米 澤 拓 郎 (名古屋大学)

河 口 信 夫 (名古屋大学)

Daiki KOHAMA*¹ Yoshiteru NAGATA*¹ Kazushige YASUTAKE*² Kazuyuki SAKEMI*²

Shin KATAYAMA*¹ Kenta URANO*¹ Takuro YONEZAWA*¹ Nobuo KAWAGUCHI*¹

*¹ Nagoya University *² Kyudenko Co. Ltd.

We present a semi-automated ceiling plan generation system using a smartphone / an omnidirectional camera. This system accepts both types of video models, a perspective from a smartphone and an equirectangular from an omnidirectional camera, as input. Users can generate a ceiling plan with this system effortlessly because it requires them to work only three procedures, 1) shooting a video, 2) measuring the fixture length, and 3) classification with simple GUI. We have demonstrated the system's ability to process videos shot by each device as input and to produce ceiling plans in DXF format as output.

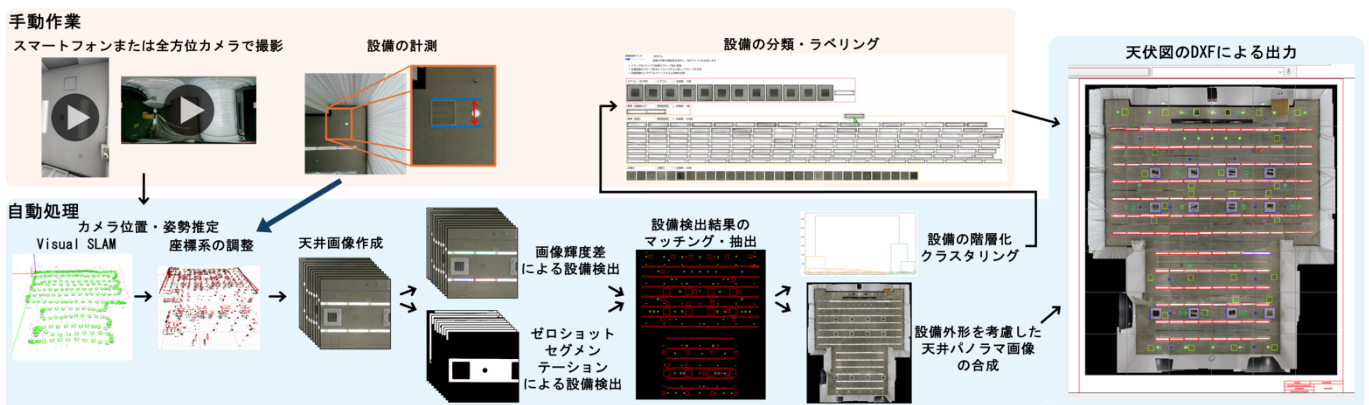


図 1 半自動天伏図作成システムのフレームワーク

はじめに

建物の改修工事の際、施主との打ち合わせや工事前の計画立案のために、現状の図面が必要となる。10 年以上運用された建物では、図面がなかったり、あったとしても過去の改修を反映していなかったりする。制気口や照明、スプリンクラなどの天井設備が記載された天伏図の修正のために、現地調査がよく行われる。しかし、天井設備の位置や種類を正確に確認するのは手間が掛かり、特に広い施設の図面を作成する際は多くの時間を要してしまう。本研究では、天伏図作成の作業効率を高めるために、既存建物の天伏図を少ない作業時間で半自動的に作成するシステムを提案する。

1. 研究概要

我々は、既に全方位カメラを用いて天井面を一様に写した天井パノラマ画像を合成する技術^{1), 2)}を構築している。これは、全方位カメラで撮影した全方位動画を入力し、提示された画像中の設備の長さを測るだけで、天井パノラマ画像を合成するものである。本稿では、天井の画像を出力するのではなく、天伏図の CAD 図面を出力するシステムを提案する。提案する半自動天伏図作成システムは、スマートフォンまたは全方位カメラで室内を撮影した動画を入力とし、利用者による天井設備分類などの操作を経て、DXF 形式の天伏図を出力する。様々な現場のニーズに応えられるように、全方位カメラに加えてスマー

トフォンで撮影した動画の入力にも対応する。また、天井設備分類の操作は、事前に自動検出した設備に対して階層化クラスタリングを行っているため、Web 上にデプロイされた本システムの操作により、短い作業時間で可能である。本研究の貢献は以下の3点である。

- 1) 複数カメラ形式の動画入力に対応した半自動天伏図作成システムを構築。
- 2) 天井を真下から写した天井画像から天井設備を自動で検出する手法を提案。
- 3) 天伏図作成時に天井設備分類を利用者が行いやすいように、階層化クラスタリングを用いる手法を提案。

2. 半自動天伏図作成システム

本システムは、同一のシステムフレームワーク内で、スマートフォンで撮影した透視投影形式の動画と全方位カメラで撮影した正距円筒図法形式の動画両方の入力に対応するように実装されている。また、短い作業時間で天伏図を作成できるように、天井設備の検出と設備分類のための階層化クラスタリングを自動で行う。本章では、2.1 節でシステムの概要、2.2 節で複数形式動画の対応手法、2.3 節で自動天井設備検出手法、2.4 節で設備分類手法、2.5 節で天伏図の DXF 出力について説明する。

2.1 システムの概要

図1に半自動天伏図作成システムのフレームワークを示す。スマートフォンまたは全方位カメラで室内を撮影した動画を入力とする。スマートフォンを使用する場合、カメラを天井方向に向けたまま撮影を行う。入力された動画は、カメラの相対的な位置・姿勢推定と周辺環境の地図作成が可能な Visual Simultaneous Localization Mapping (SLAM) によって、各フレームのカメラ位置と姿勢を推定する。ただし、出力される座標系が現実世界と合っていないため、システム上で利用者が設備の長さを計測して座標系を調整する。次に、撮影位置・姿勢を考慮して、天井向きにフレーム画像を変換した天井画像を生成する。生成した天井画像に対して、2通りの設備検出を行う。1つ目は、天井設備と天井面の輝度差を用いた検出手法である。2つ目は、ゼロショットセグメンテーションが可能な Segment Anything Model (SAM) ³⁾ を活用した手法である。両手法で検出した設備は重複する可能性があるため、検出した設備をマッチングし一意な設備となるように抽出する。その後、検出した設備の外形を考慮して天井パノラマ画像を合成する。また、検出した設備に対して階層化クラスタリングを行う。階層化クラスタリングの結果をもとに、利用者が設備の分類・ラベリングをWeb上のGUIで行う。設備分類の結果と合成した天井パノラマ画像から、システムが天伏図のDXFを出力する。

2.2 複数形式動画の対応手法

本システムは、スマートフォンで撮影した透視投影形

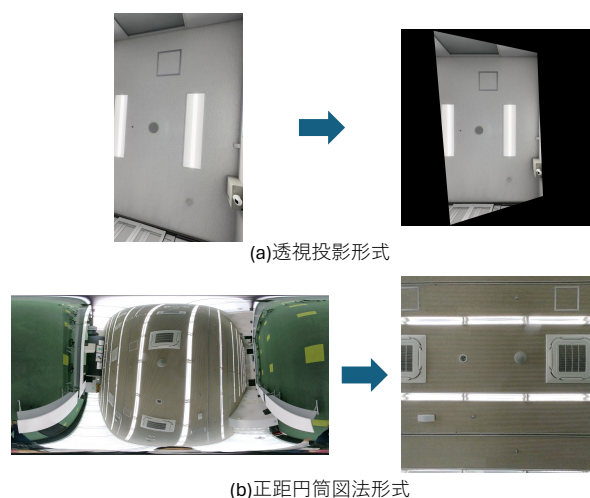


図2 (a)透視投影形式(スマートフォンで撮影)及び
(b)正距円筒図法形式(全方位カメラで撮影)
の画像から変換した天井画像

式の動画と全方位カメラで撮影した正距円筒図法形式の動画両方の入力に対応する。そのため、本システムでは Visual SLAM に両形式の動画に対応可能な OpenVSLAM⁴⁾ を用いる。また、天井画像作成時は、スマートフォンで撮影した場合はカメラパラメータを使用した射影変換処理を行い、全方位カメラで撮影した場合は透視投影変換処理を行う。図2に両形式画像から変換した天井画像を示す。全方位カメラで撮影した場合、天井画像全体は天井を写すのに対し、スマートフォンで撮影した場合、天井画像には変換された画像と余白の黒い部分がある。これは、全方位カメラが全方位を撮影しているのに対し、スマートフォンは限られた視野までしか撮影できないためである。

システム中の座標系の調整、設備検出及び天井パノラマ画像合成処理では、入力される動画の形式によって画像視野や天井画像の余白の有無が異なるため、動画形式に応じて一部異なる処理を実装している。

2.3 自動天井設備検出手法

本システムでは、2通りの天井設備検出手法を用いる。1つ目は、我々が以前の研究で用いた手法で、天井設備と天井面の輝度差を用いた検出手法である。この手法のみでは、天井設備と天井面で輝度差がないような設備は検出されない。そのため、2つ目の検出手法としてゼロショットセグメンテーションが可能な SAM を活用した手法を用いる。

SAM は、1,100 万枚の多様な画像で学習された、ゼロショット利用可能な画像セグメンテーションモデルである。また、SAM の入力には、画像の他に取得したい画像中の領域に関する情報を含められる。図3にその例を示す。図3(a)は画像のみを入力した場合で、各領域がセグメンテーションされた結果が出力される。図3(b, c)は画像と注目する領域中の1点またはそれを囲う枠を入力した場合で、注目する領域のマスクが出力される。

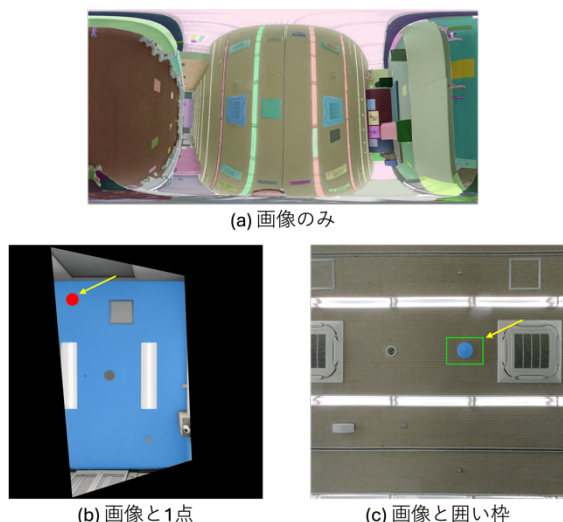


図 3 SAM に(a)画像のみ, (b)画像と 1 点, (c)画像と囲い枠を入力した場合に出力されるマスク

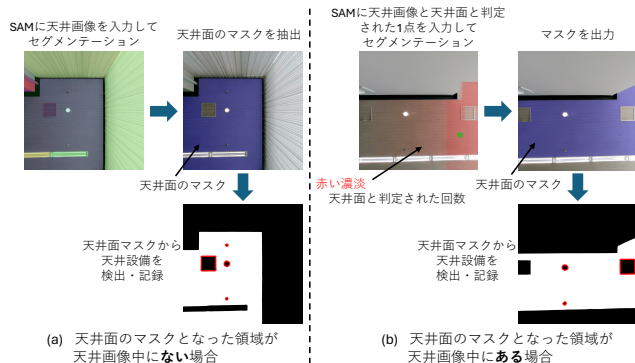


図 4 SAM を用いた 2 通りの天井設備検出
(天井面のマスク領域が天井画像中に(a)ない場合, (b)ある場合)

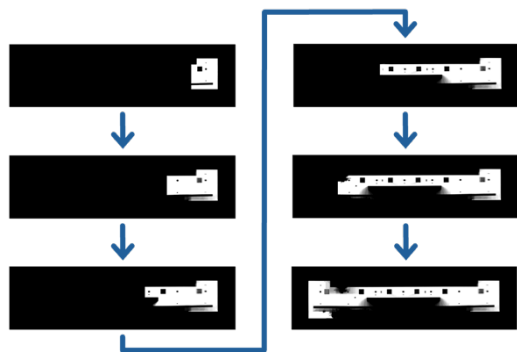


図 5 天井面の領域が拡大していく様子

本システムの設備検出では、画像のみを入力する用法と、画像と 1 点を入力する用法を用いて、天井設備を含まない天井面のマスクを逐次的に取得して、天井面のマスクから設備を検出する。天井面のマスクとなった領域が天井画像中にない場合は、前者を用いて天井面のマスクを取得し、ある場合は、後者の手法を用いて天井面のマスクを取得する。図 4 に、両場合の天井面のマスク出力結果及び設備の検出結果の例を示す。1 フレーム目から最終フレームまでの各フレームで適切な手法を選択・実行を逐次的に行い、図 5 のように天井面の領域を拡大しながら、天井設備を検出する。

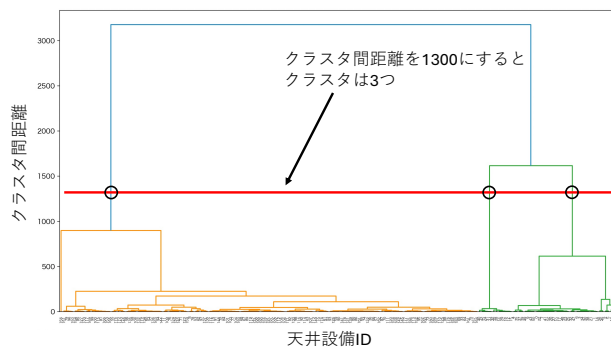


図 6 階層化クラスタリングの結果例



図 7 設備分類 GUI

2 通りの手法で検出した天井設備は重複している場合があるため、一意な設備となるようにマッチングし抽出する。この際、認識した設備を四角形または円形に近似する。マッチングは設備の位置や大きさで行う。各設備が一意となるように、マッチングした設備の中で天井画像の中心から最も近い設備を抽出する。これは、天井画像の中心ほど歪みの影響が少ないからである。

2.4 設備分類手法

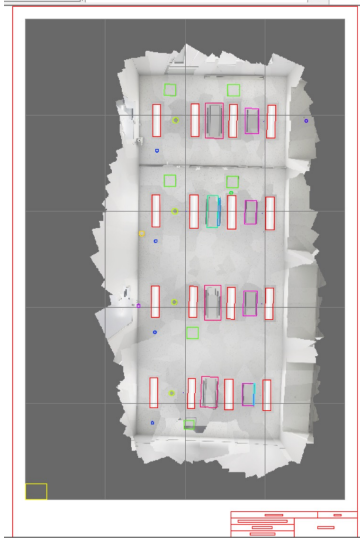
検出した天井設備を点伏図上で異なるレイヤで表示させるために、設備分類を行う。設備分類は、2つのステップによって行われる。1つ目は、階層化クラスタリングを利用した半自動の設備分類である。2つ目は、1つ目の結果を基に利用者による手動の分類である。

階層化クラスタリングは、四角形と円形の設備それぞれで行う。特徴量には、四角形の設備は最大横幅と最大縦幅、円形の設備は円の直径を用いる。四角形の設備に対する階層化クラスタリングの結果例を図 6 に示す。階層化クラスタリングは、クラスタ間距離を任意に決められるため、利用者が設備分類レベルを調節できる。本システムでは、Web の GUI 上でレンジスライダによって調節できるように実装した。ただし、クラスタ間距離が小さいと急激に設備の分類が変わってしまうため、クラスタ間距離に対数を取った上で実装した。

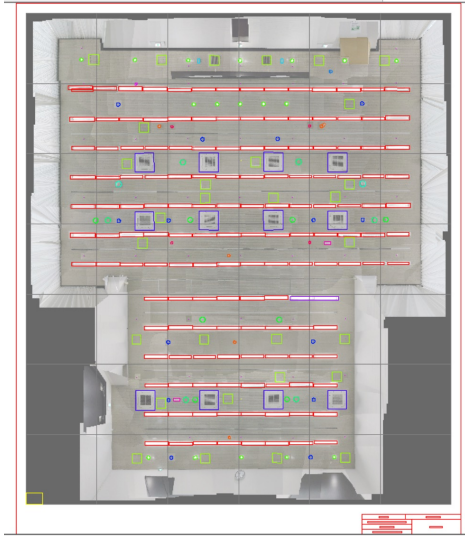
1 つ目の分類結果を基に、図 7 に示す手動で設備分類が可能な GUI を Web のシステム上に実装した。利用者が短時間で直感的に操作できるように設備画像をドラッグ & ドロップして分類ができるようにした。

表 1 収集したデータの詳細

撮影デバイス	スマートフォン	全方位カメラ
環境の広さ[m ²]	96	350
動画の長さ[秒]	383	231
フレームレート[fps]	59.92	60.01
解像度[pix]	1080×1920	3840×1920



(a) スマートフォンを使用



(b) 全方位カメラを使用

図 8 (a)スマートフォン及び(b)全方位カメラで撮影した動画から出力した DXF

2.5 天伏図の DXF 出力

設備分類の結果と我々の手法によって合成した天井パノラマ画像を用いて、天伏図を DXF として出力する。本システムでは、Python の ezdxf ライブラリ⁵⁾を使用して自動的に DXF ファイルを出力する。

3. 実験

本システムを用いて、スマートフォンまたは全方位カメラで撮影した動画から、天伏図を DXF 形式で作成できるか検証するため実験を行った。

3.1 データ収集

スマートフォンを使用した場合のデータとして、約 96m²の室内空間において iPhone 15 Pro⁶⁾の超広角モードでレンズが天井向きを維持するように自撮り棒を用いて撮影した。また、全方位カメラを使用した場合のデータとして、約 350m²の室内空間において RICOH THETA Z1⁷⁾で一脚を用いて撮影した。収集したデータの詳細を表 1 に示す。

3.2 実験結果

図 8 に、それぞれのデバイスで撮影した動画から、本システムを用いて作成した DXF を示す。レイヤ毎に異なる色で天井設備を表示した。本システムを用いて、スマートフォンまたは全方位カメラで撮影した動画から、天伏図を DXF ファイルとして出力できた。

4. まとめと今後の展望

スマートフォンまたは全方位カメラで撮影した動画から、手動作業の少ない半自動天伏図作成システムを提案した。実験では、それぞれのデバイスで撮影した動画から、本システムを用いて天伏図を DXF 形式で出力した。

本システムがどれだけ効率的に天伏図を作成できるかを定量的に評価できていないため、従来の現地調査による天伏図作成手法との比較評価を今後行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、JST CREST (JPMJCR22M4)、NICT 委託研究 (22609)、JSPS 科研費 (JP22K18422)、NEDO 委託研究 (JPNP23003, JPNP23025) に支援いただいています。

参考文献

- 1) 小濱大輝, 永田吉輝, 安武和成, 浦野健太, 片山晋, 米澤拓郎, 河口信夫. (2023). 全方位カメラによる設備外形を考慮した天井パノラマ画像合成手法. マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2023 論文集 (pp.427-435).
- 2) Kohama, D., Nagata, Y., Yasutake, K., Urano, K., Katayama, S., Yonezawa, T., & Kawaguchi, N. (2023). Panoramic Ceiling Image Synthesis Method Prioritizing Fixture Outlines using an Omnidirectional Camera. In 2023 Fourteenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU) (pp. 1-8). IEEE.
- 3) Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L., ... & Girshick, R. (2023). Segment anything. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (pp. 4015-4026).
- 4) Sumikura, S., Shibuya, M., & Sakurada, K. (2019). OpenVSLAM: A versatile visual SLAM framework. In Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia (pp. 2292-2295).
- 5) Manfred Moitzi. "ezdxf – A Python interface to DXF". <https://ezdxf.mozman.at/>.
- 6) Apple. iPhone 15 Pro. <https://www.apple.com/jp/iphone-15-pro/specs/>.
- 7) RICOH. RICOH360. <https://www.ricoh360.com>.