

# Creation of Human Flow Measurement System Using LiDAR

Taro IKEDA \*\*, Mitsunori MIKI \*, Wataru BANDO \*\*, Hirotaka YONEDA \*\*

(Received July 10, 2019)

In this research, human current measurement system was created using commoditized LiDAR with the aim of improving the office environment by human flow measurement, and the accuracy verification was carried out. As a result, it was confirmed that the error of position estimation of people within 4 m from LiDAR was less than 160 mm on average. In addition, we confirmed that we can integrate measurement results of two LiDARs in real time and measure them. In addition, we measured the human flow in the working environment, visualized that the human flow changes with the change of the time by measurement, and confirmed that it can be used as the basis of effectiveness verification of office layout change.

**Key words :** human flow, LiDAR, office

キーワード : 人流, LiDAR, オフィス

## LiDAR を用いた人流計測システムの作成

池田 太郎, 三木 光範, 坂東 航, 米田 浩崇

### 1. はじめに

#### 1.1 研究の背景

近年, コミュニケーションの活性化や生産性の向上などを目的にノンテリトリアルオフィスを導入する企業が増加している<sup>1)</sup>. ノンテリトリアルオフィスとは, パーティションや仕切りの撤廃によるオープン化と, 固定席の撤廃による自由席化を行ったオフィスである. しかし, ノンテリトリアルオフィスを導入しても必ずしもコミュニケーションが活発化するわけではない<sup>2,3)</sup>. そのため, オフィスにおいて, 効果的な環境改善を行うためには, 執務者の行動把握や空間機能がどのように活用されているかを把握する必要がある.

オフィスにおいて, 執務者の行動把握を行う研究は多く行われている<sup>4,5)</sup>. 戸梶らの研究ではノンテリトリアルオフィスが導入される執務環境において, ノンテリトリアルオフィス導入前と導入後で労働に対する価値観やコミュニケーションに関するアンケート調査を行い, オフィスにおける働き方に対しアプローチを行っている<sup>6)</sup>. 沼田らの研究ではオフィスレイアウト変更前と変更後でアンケート調査とインターバルカメラによる執務者のコミュニケーション量の調査を行っており, オフィスレイアウト変更前と比較して, オフィスレイアウト変更後にコミュニケーション量が増加していることを明らかにした<sup>7)</sup>. しかし, これらの

\* Faculty of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6716, E-mail:mmiki@mail.doshisha.ac.jp

\*\* Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-80-3817-3602, Fax:+81-745-74-3156, E-mail:tikeda@mikilab.doshisha.ac.jp

執務者の行動把握は、アンケート調査や目視調査によるものであり、調査や分析などに多くの時間と労力を要する課題点がある。また、ノンテリトリアルオフィスなどのオフィスレイアウトと執務者の活動との関係性を探る上で、執務者がオフィス内でどのような活動を行うかを定量的に評価することが求められる<sup>8,9)</sup>。

執務者の活動を定量的に評価する方法の一つとして、人流計測をおこなう方法がある。人流計測は、駅の混雑度分析や、ショッピングモールにおける購買行動分析などに利用されており、多くの研究や商品化が行われ、注目を集めている<sup>10)</sup>。

人流計測に一般的に用いられるものとしてビデオカメラを用いて撮影した動画を用いるものがある<sup>11,12)</sup>。動画に対して画像認識を用いた歩行者トラッキングを行うことにより、人流計測を行う。しかし、ビデオカメラを用いる場合、個人情報保護の観点から事前に許可を得る必要性や、設置が制限されるなど様々な制約が存在する。

動画を用いない人流計測方法の一つとして、LiDARを用いる方法がある。LiDARは、自動車の自動運転を中心に多様な分野で研究やシステム開発が行われているセンサである<sup>13,14)</sup>。また、LiDARを用いた人流計測に関しても活発に研究がなされている<sup>15,16)</sup>。しかし、高精度のLiDARを用いた人流計測はコストがかかるため、人流計測のシステムやサービスは広く普及していない。そのため、オフィスにおいて、日常的に人流計測を行うことができず、曜日やレイアウトの変化などによる人流への影響を明かにできていない。一方で、LiDARは高価なセンサであるが、コモディティ化したLiDARも普及し始めている。

そこで本研究では、コモディティ化したLiDARを用いて人流計測を日常的に行うことで、オフィス環境の変化が人流に与える影響を明かにする。また、それによるオフィス環境の改善を目的に研究を行う。その第一歩として、本稿では、コモディティ化したLiDARを用いた人流計測システム（以下本システム）を作成し、人の位置推定精度検証実験を行う。また、近年の大規模なオフィスに対応するため、複数台のLiDARを統合しての人流計測を可能にした。これにより、オ

フィス環境の改善の効果検証の基礎システムとして使用可能であることを確認した。

## 1.2 関連研究

LiDARを用いてオフィス内の人流計測を行う研究として、金子らの一連の研究がある<sup>17,18)</sup>。金子らの研究では、オフィスにおけるLiDARを用いた人流計測結果をもとに、パラメータフリー遺伝的アルゴリズムを用いてLiDARでは計測できない着座状態の執務者の推定を行い、平均98%での正解率を達成した。また、ロジスティックス回帰分析を用いてシーン抽出モデルを作成し、12個のシーンの抽出ができることを確認した。

金子らの研究はLiDARを用いてオフィス内の人流計測を行うという点で、本稿と同じである。しかし金子らの研究はLiDARの計測による執務者の行動分析を目的としている。一方で、本稿はオフィス環境の変化が人流に与える影響を明かにし、それによるオフィス環境の改善を目的としているため、目的が異なる。

## 2. 人流計測システムの基礎精度検証実験

### 2.1 実験概要

本システムの精度を明かにするため、LiDARの精度検証実験と静止した執務者の位置推定実験を行った。

実験方法としては、LiDARの精度検証実験では、LiDARから距離1, 2, 3および4mの位置に重心が来るよう対象となるマーカを設置し、各距離それぞれ10回ずつの計測を行った。本実験ではカメラの三脚をマーカとして用いている。この位置推定結果と実際の距離との誤差と誤差の最大値と最小値を求めることで、精度の検証を行った。

### 2.2 実験結果および考察

LiDARの精度検証実験の結果をFig.1に示す。Fig.1はLiDARを用いた距離の計測値と実際の距離との誤差を示す。

実験結果より、LiDARの計測値の誤差は、計測範囲4m以下のとき平均値が50mm以下であり、最大値が88mmである。LiDARは赤外線を用いて距離を

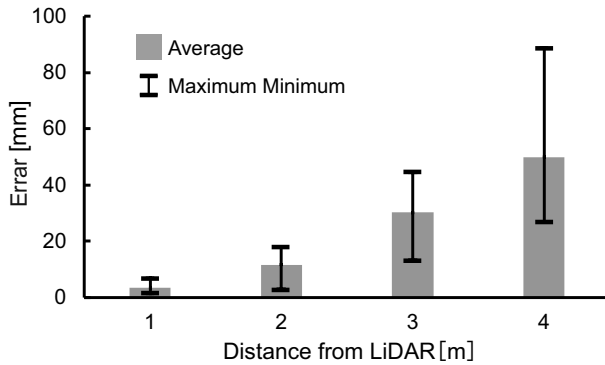


Fig. 1. Accuracy verification result of LiDAR.

計測するため、距離が大きくなると誤差も大きくなる傾向が見られた。

執務者の位置推定結果の誤差は、計測範囲 4 m 以下のとき平均値が 160 mm 以下であり、最大値が 306 mm である。

本研究では、オフィス環境の改善を目的として人流計測システムを作成している。本システムをオフィスにおいて用いたときに必要な精度は、どの通路を執務者が通過したかを判断できる精度である。ここで、オフィス用のデスクの中でも小型のデスクである幅 700 mm, 奥行き 700 mm のデスクを考えたとき、誤差がデスクの大きさに比べて十分小さいため、執務者がデスクの左右どちらを通るかを判断可能である。そのため、本システムで用いる LiDAR の誤差と位置推定の誤差は、執務者がどの通路を通るかを判定するのに十分な精度であり、オフィスにおける人流計測に使用可能であると考えられる。

### 3. LiDAR を用いた人流計測システム

#### 3.1 使用する LiDAR

LiDAR とは、レーザ光を用いてセンサから対象物までの距離を計測するセンサである。LiDAR には、広範囲を高速に計測可能であるという特徴がある。一方で、レーザ光の特性上、計測対象である執務者が柱などの物陰や別の執務者の陰に隠れてしまうと、計測対象の執務者を見失う欠点がある。

本システムで使用する LiDAR は SLAMTEC 社の



Fig. 2. LiDAR used in this study.

RPLIDAR A2M8 である。Fig.2 に本研究で使用した LiDAR を示す。RPLiDAR A2M8 は、コモディティ化した LiDAR であり、1 個当たり 4 万円程度で購入可能である。性能としては、最大計測可能距離は 8 m であり、水平視野角は 360°である。レーザ光の水平方向の 1 回転 (360°計測) の周期は 0.1 s 周期で、1 周期あたり約 400 点の計測データを得る。計測データはセンサを中心とする距離と角度のデータである。レーザ光の波長は 785 nm (近赤外波長域) であり、クラス 1A のアイセーフレーザである。

また、本稿では LiDAR を 2 台統合しての計測が可能であるかの確認を行う。その際は 1 台の LiDAR に対して 1 台の PC を接続し、合計 2 台の PC の内、1 台をサーバーとして扱う。

本システムで用いる LiDAR は水平にしか計測できない。そのため、LiDAR を設置する高さに注意する必要がある。本システムでは立って動いている執務者を計測するため、LiDAR を設置する高さを 1.4 m の高さに設置した。この高さは本研究で実験を行った執務環境において、最も背の高い人が椅子に座った時の高さより高く、最も身長の高い人よりも高くなるように設定した。本稿での実験時は、LiDAR が水平であり、設置している高さが 1.4 m でありことを確認したのち実験を行っている。

#### 3.2 人流計測システムの構成

本システムは主にトラッキングとログデータの表示の 2 つの機能に分けられる。

2 台の LiDAR を用いたときの、トラッキングの大きな流れを以下に示す。ここでは、計測値が背景領域にある時を静止点、背景領域外にある時を動点と呼ぶ。

- (1) LiDAR に接続された各 PC がデータを取得
- (2) 背景差分による動点抽出
- (3) 複数の動点から位置推定
- (4) 過去の位置推定結果との対応させ、移動軌跡を求め (1) へ戻る

まず、LiDAR の計測値から壁や家具などの執務者以外の背景から得られる静止点を除外し、執務者から得られる動点を抽出する。これにより、執務者以外の不要なデータを削除する。次に、執務者の位置推定を行う。執務者の位置推定は抽出した動点を執務者ごとの塊に分け、1人の執務者につき一つの中心点をもとめる。これにより、計算処理を高速化する。以上の処理を LiDAR に接続された PC で行い、サーバへ執務者の中心点を送信する。サーバでは 2 台の LiDAR から執務者の中心点を受け取り、一定の閾値以内に別の中心点があれば、同じ執務者として処理を行う。本研究では成人男性の 95 % の肩幅が 50 cm 以下であることから、閾値を半分の 25 cm とした<sup>19)</sup>。最後に執務者の移動軌跡を求める。執務者の中心点の近傍に、時系列的に一つ前の執務者の中心点があれば、移動軌跡の作成を行う。これらの処理を LiDAR が 1 回転するごとに繰り返し行う。それによりトラッキングの処理を行う。

次にログデータの表示の流れを示す。

- (1) データ補完
- (2) ヒートマップ化
- (3) 静止物体除去

このログデータをそのまま重畳表示しても、人流を把握することは困難である。そのため、ログデータを効果的に可視化を行うためにヒートマップ状に表示する。

ログデータをヒートマップ状に表示するためには、データの補正を行う必要がある。これは、計測周期の関係上、得られる結果が離散的な値になるためである。そのため、計測の 1 周期の間に移動した分のデータを点で埋めることによりデータの補正を行う。また、同

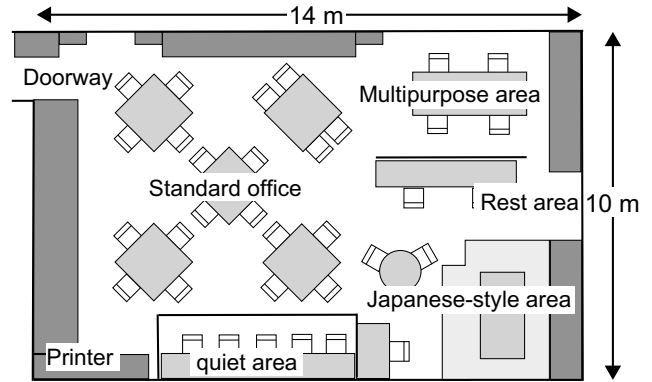


Fig. 3. Office environment used in the experiment.

じ執務者が同じ場所に留まることによるノイズを除去し、流れをより強調して表示を行う。

#### 4. 執務環境における計測実験

##### 4.1 実験概要

同志社大学の執務環境において、人流計測実験を行い、本システムがオフィスの環境改善を行う際の効果検証に使用可能であることを確認する。今回実験を行った執務環境を Fig.3 に示す。今回計測を行った執務環境では、ノンテリトリアルオフィスが導入されており、執務者は標準執務スペース、多目的スペース、和室スペース、集中スペースの好きな座席を選択し、座ることができる。実験方法として、同志社大学の執務環境において人流計測を行い、執務者の人流計測ログを取得し、一定時間区分ごとに区切って可視化を行った。一定時間区分は、数分単位から数時間単位、数日単位など様々な時間区分が考えられる。本研究では、執務者の全体的な人流を表示する観点から、3時間単位での表示を行った。

##### 4.2 実験結果および考察

実験を行った執務環境における、10月18日の9時から12時の人流計測結果を Fig.4 に示す。

本実験での計測結果から、S 点の出入口から P 点のオフィスグリコまでの大きな人流が見られた。しかし、人の移動を個別に確認したところ、出入口からオフィスグリコまで直接移動する人は少ないことが分かった。そのため、本システムでは、大きな人流は可視化

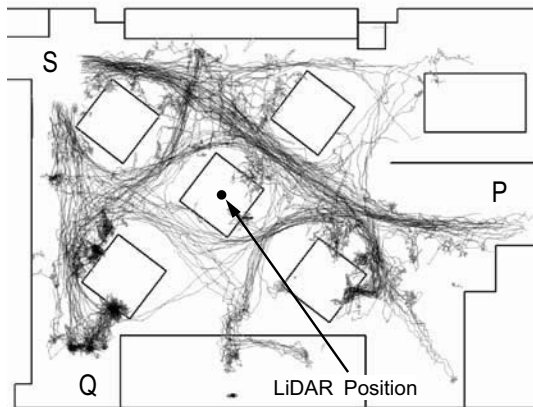


Fig. 4. Experimental result from 9:00 AM to 12:00 AM on October 18.

できるが、どこからどこに移動が生じているかは可視化できない。これについては今後の課題としたい。また、出入口付近の計測ができていない。これは、デスクの前に椅子が置かれており、その後ろが本システムの人流計測可能距離より遠いためである。人流計測可能距離の問題は、設置する LiDAR を増やし、複数台の LiDAR を統合して計測を行うことで解決できる。そのため、今後は設置する LiDAR を増やして計測を行う。

## 5. まとめと今後の展望

本研究では、コモディティ化した LiDAR を用いた長期間の人流計測と、人流計測結果の解析によるオフィス内の環境改善を目的に研究を行っている。本稿では、コモディティ化した LiDAR を 2 台統合した人流計測システムの作成と、本システムの基礎精度検証実験および執務環境における計測実験を行った。

基礎精度検証実験では、本システムの LiDAR の精度検証実験と静止した執務者の位置推定実験を行った。この結果、LiDAR から 4 m のとき、LiDAR の誤差は平均 50 mm 以下であり、位置推定の誤差は平均 160 mm であった。この結果から、本システムは人流計測に十分な精度があることを示した。

執務環境における計測実験では、計測結果とログデータの表示結果から、本システムによるトラッキングとログデータの収集、表示が可能であることを示し

た。また執務環境におけるマグネットポイントを計測により可視化できた。そのため、オフィスレイアウト変更の効果検証に使用可能であると考えられる。

今後は、作成した人流計測システムを用いて広範囲かつ長期間の計測を行う。その結果を解析することにより、オフィスレイアウトの変更やマグネットスペースの作成がオフィス環境に与える影響を検証する。

## 参考文献

- 1) 古川靖洋, “フリーアドレス・オフィス導入の目的とその効果”, 総合政策研究, [55], 63-78(2018).
- 2) 稲水伸行, “ノンテリトリアル・オフィス研究の現状と課題 -文献レビューによる成功条件の模索-”, 赤門マネジメント・レビュー, 7[8], 557-586(2008).
- 3) 山田哲弥, 嶋村仁志, 岩田美成, 杉田武, “研究執務スペースのフリーアドレス化に関する研究 (その 2) 折畳移動機によるフリーアドレス・オフィスにおけるコミュニケーションの量と場所の変化”, 日本建築学会計画系論文集, [528], 119-124(2002).
- 4) 佐藤泰, 佐野友紀, “オフィス内カフェコーナーの利用実態からみたマグネットスペースにおける遭遇・会話発生量の考察”, 日本建築学会計画系論文集, 81[720], 281-291(2016).
- 5) 徐華, 西出和彦, “レイアウトとコミュニケーションの創造的活動と心理評価への影響 -研究執務空間のレイアウトに関する研究”, 日本建築学会計画系論文集, 81[722], 831-839(2016).
- 6) 戸梶亜紀彦, “オフィス改革による公務員の職場における意識・行動の変化に関する検討”, 日本認知科学会, 2[43], 1157-1162(2017).
- 7) 沼中秀一, 高橋祐樹, 天野健太郎, 加藤信介, 高橋幹雄, 菊池卓郎, “知的生産性向上を目指した執務空間におけるコミュニケーションおよび環境要素に関する実態調査”, 日本建築学会環境系論文集, 80[713], 609-619(2015).

- 8) 阿部智和, “オフィス空間のデザイン研究のレビュー: 知的創造性に着目したオフィス空間のデザインをめぐる”, 地域経済経営ネットワーク研究センター年報, [3], 87-101(2014).
- 9) 稲水伸行, “ノンテリトリアル・オフィスにおける空間密度とコミュニケーション: X社のオフィス移転の事例分析”, 組織科学, 42[3], 82-94(2009).
- 10) 大西正輝, 依田育士, “大型複合施設における長期間にわたる人流比較と可視化手法”, 電子情報通信学会論文誌 D, J93-D[4], 486-493(2010).
- 11) 太田直哉, 木山真伸, 吉川健一, “2台のカメラを用いた歩行者の検出・同定”, 情報処理学会論文誌, 44[10], 2459-2468(2003).
- 12) 疋田葉留, 大西正輝, “複数の RGB-D カメラによる耐故障性を有する自律分散人流計測システムの開発”, 電子情報通信学会論文誌 D, JI01-D[1], 115-123(2018).
- 13) 橋本雅文, 緒方聡, 大場史憲, 岡田三郎, “車載レーザレンジセンサによる複数移動物体の検出・追跡法”, 日本機械学会論文集, 72[717], 1566-1573(2006).
- 14) 金生翔太, 橋本雅文, 余田侑仁, 高橋和彦, “レーザスキャナを搭載する複数移動ロボットによる非GNSS環境下での協調移動物体追跡”, 日本機械学会論文集, 83[854], 17-138(2017).
- 15) 中村克行, 趙卉菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴木尚毅, “複数のレーザレンジスキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価”, 電子情報通信学会論文誌, J88-D-II [7], 1143-1152(2005).
- 16) 和田悠佑, 中村嘉隆, 東野輝夫, “障害物の存在する空間におけるレンジスキャナを用いた人流モデル化手法の提案”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム, 1183-1192 (2011).
- 17) 金子弘幸, 大佛俊泰, “レーザセンサによる行動モニタリングデータを用いたオフィスワーカーの着座状態と交流状態の推定”, 日本建築学会計画系論文集, 79[706], 1083-1092(2014).
- 18) 金子弘幸, 大佛俊泰, “レーザセンサによる行動モニタリングデータを用いた時空間活動パターン抽出”, 日本建築学会計画系論文集, 80[712], 559-566(2015).
- 19) AIST 人体寸法・形状データベース (オンライン), 入手先 (<https://unit.aist.go.jp/hiri/dhrg/ja/dhdb/91-92/data/search7.html>) (参照 2018-12-19).