

レーザスキャナによる歩行者追跡法を用いた施設利用状況のリアルタイム計測

Pedestrian tracking system was using for real-time measurement of facility analyze

石間計夫¹・高田知典¹・鈴木尚毅²・坂本圭司³・柴崎亮介⁴

Ishima Kazuo, Takada Tomonori, Suzukawa Naoki, Sakamoto Kiyoshi, and Shibazaki Ryosuke

歩行者軌跡データは、駅や店舗などを訪れる客の利用状況を詳細に把握する際に有効な情報である。これまで、画像認識をはじめとして様々な手法が開発されているが、カメラを設置することによるプライバシーの問題や広範囲にわたる歩行者を計測できないことなどが指摘されている。東京大学 空間情報科学研究センターが開発したマルチレーザスキャナによる歩行者追跡システムは、広範囲の歩行者を追跡することが可能であり、対象人数が一定数以下であればリアルタイムに追跡結果が得られる。本稿では、歩行者追跡システムを用いて「歩行者の軌跡抽出・追跡」、「施設の入退場数」のリアルタイム計測を行い、その結果を基に、本技術の利用場面と課題を検討したので、その内容を報告する。

キーワード：レーザスキャナ、歩行者追跡手法、施設利用状況、リアルタイム計測

1. 背景

施設・店舗の管理や改善計画の策定時には、利用者の安全性や利便性、快適性などを向上させることを目的として、施設空間の利用状況が調査されている。

主な調査ポイントとして、「時間毎の利用者人数の把握」「滞留の発生状況」「歩行者同士の交錯（衝突）の発生状況」「歩行者の起点と終点（OD）の調査」などの項目が挙げられるが、カメラなどの機材設置による施設利用者のプライバシーに配慮して、広範囲、かつ集客力の高い施設に集まる利用者を、効率よく調査できる手法は少ない。

また、駅施設などでは、時間や曜日・天気・列車の運行状況など、複合的な要因によって大きく利用状況が変化する。このような空間では、上述した調査ポイントの計測結果をリアルタイムに収集し、他のシステムと連動させることも求められている。

2. 目的

表1は、施設内の歩行者を対象とした、主な調査手法を整理したものである。東京大学 空間情報科学研究センターが開発したマルチレーザスキャナによる歩行者追跡システム（以下、歩行者追跡システム）は、複数のレーザスキャナを、調査範囲を取り囲むように設置することにより、広範囲にわたる利用者の歩行軌

跡を追跡することが可能である。また、計測データをコンピュータ解析することにより、施設管理などに有益な情報を得ることができる。本システムは、既に利用者の多い駅構内において高精度の計測が可能であることが示されている。歩行者計測システムは、施設内の計測対象人数が一定数以下であれば、実時間追跡（リアルタイム軌跡抽出・追跡）も可能である。

本稿では、歩行者追跡システムを、不特定多数の利用者が訪れる施設空間に適用して、「利用者の歩行軌跡抽出」と「入退場者数のカウント」のリアルタイム計測を行い、得られた結果を基に、利用場面の抽出と実現に向けた課題点を検討した。以下に、その内容を報告する。

3. 方法

（1）使用するレーザスキャナ

レーザスキャナは、独 SICK 社製のレーザスキャナ（LMS200・写真－1）を使用する。このレーザスキャナは、レーザ光のパルスの伝播時間により距離を測定するものであり、観測角（180°）、計測距離（約20m）の範囲に存在する物体を、ダイレクトに距離計測することが可能である。

また、レーザ光の波長は 905nm（近赤外）であり、施設内で人体に対して照射しても安全なクラス（クラス1）である。

1：正会員（株）国土情報技術研究所 企画・開発部

（〒150-0036 東京都渋谷区南平台町 16-28, Tel :03-6311-8351, E-mail : ishima@litela.co.jp）

2：非会員 ジェイアール東日本コンサルタンツ（株） IT 事業本部

3：非会員 東日本旅客鉄道（株） JR 東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 駅デザイングループ

4：正会員 工博 東京大学 空間情報科学研究センター センター長

表-1 歩行者を対象とした、主な施設利用状況の調査手法

調査手法・名称	計測機器		主な調査内容・特徴									備 考
	機 器	設置場所	施設利用者数の計測	施設入退場者数の計測	歩行者軌跡の抽出・追跡	滞留の発生状況	歩行者同士の交錯状況	歩行者の起点・終点	歩行者の性別調査	歩行者の服装等の特徴調査	リアルタイム計測	
マルチレーザスキャナによる歩行者追跡手法	レーザスキャナ	床上	○	○	○	○	○	○			○	広範囲・高密度で移動する、歩行者の利用状況調査が可能
画像認識手法による歩行者追跡手法	ビデオカメラ	主に天井	○	○	○	○	○		○	○		施設内の限られた範囲で、歩行者の利用状況調査が可能
アクティブ型無線ICタグを用いた歩行者追跡手法	・アクティブ型無線ICタグ ・リーダー	・無線ICタグ(歩行者) ・リーダー(主に天井)	○	○	○			○	△	△	○	無線ICタグを持っている歩行者に限り、広範囲での利用状況調査が可能

※△:無線 IC タグを歩行者に配布する際に調査する

本稿では、水平器を用いて、施設内の床面が水平であることを確認した後に、レーザスキャナを施設の床上に設置する。これにより、床からの高さ 16.3cm の水平面をレーザスキャニングする。スキャニングの結果、レーザが照射された高さの水平面で、静止物体と移動物体の両方が含まれたレーザ距離画像を得ることができる。

(2) 施設利用者の歩行軌跡計測

施設利用者の歩行軌跡抽出には、上述したマルチレーザスキャナによる歩行者追跡システムを用いる。この手法は、レーザスキャナ(写真—1)を“(1)使用するレーザスキャナ”に示した床上の高さに設置することにより、歩行者の足首付近のレンジデータを取得、その歩行リズムを検知して追跡を行うものである。レンジデータのクラスタリングによる足首抽出、グルーピングによる歩行者検出、動きベクトル(軌跡シード)推定、運動モデルを考慮した拡張カルマンフィルタによる軌跡トラッキングの機能で構成されており、施設内の計測対象者人数が一定数以下であればリアルタイムに歩行軌跡を追跡・抽出することが可能である。また、遮蔽に対する頑健性を確保するために、レーザスキャナを複数台連携利用(マルチレーザスキャナ)して計測を行う。より詳細な情報は、参考文献を参照にされたい。

(3) 施設入退場者数の計測

施設入退場者数の計測は、“(2)施設利用者の歩行軌跡抽出”で得られた歩行者軌跡をもとにカウントする。その方法は、あらかじめ、施設の入退場口(出入口)付近と施設内の2箇所には、“(2)施設利用者の歩行軌跡計測”のプロセスにより得られた歩行軌跡が、入退場口付近に設定した枠から施設内に設定した枠に延びた場合を「入場」、その逆の場合を「退場」としてカウントする。なお、歩行者の軌跡追跡が、枠に至る途中で途切れた場合はカウントを行わない。

4. 計測

先に示した方法を用いて、展示会場(以下、施設A)を訪れる利用者を対象に、「歩行軌跡」と「入退場者数カウント」のリアルタイム計測を行った。

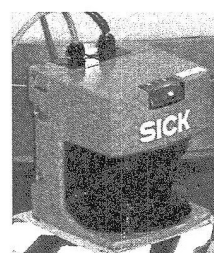
施設Aの調査範囲は、横幅がおおよそ 7.4m、縦幅がおおよそ 7.5m であり、施設への入退場口(出入口)は、2箇所設けられている。本計測では、施設Aの広さや机、バックパネルなどによるレーザ光の遮蔽を考慮して、4台のレーザスキャナを施設Aを取り囲むように設置した。(写真—1、図—1参照)

それぞれのレーザスキャナは、ノートPCで制御されており、各ノートPC間には有線LANによって接続されている。レーザスキャンされたデータは、LANを通じてリアルタイムにサーバ(デスクトップ型PC)に送られ、ディスプレイ上に計測結果を表示する。

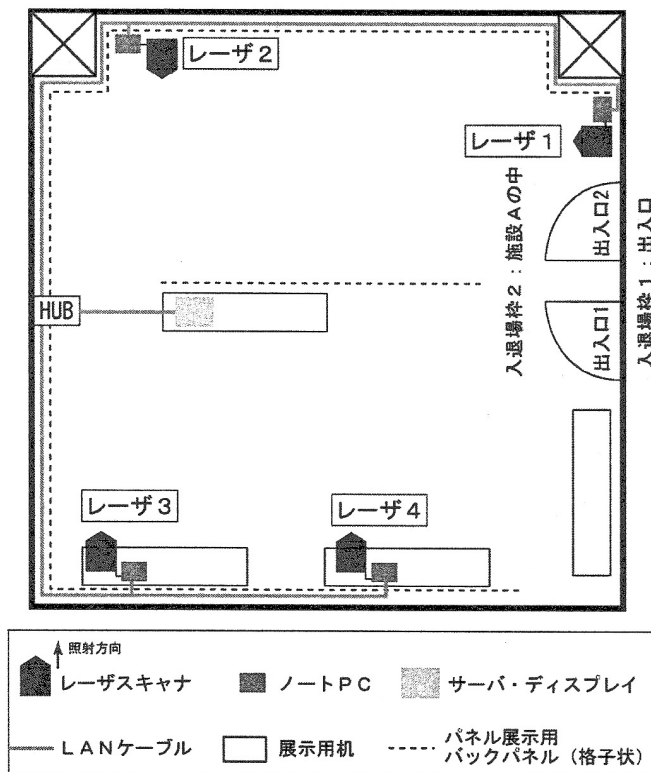
施設Aを訪れる利用者の入退場カウントのために必要となる枠は、図—1に示す位置に2箇所にした。

これらの計測機材の設置(機材の運搬とネットワーク構築を含む)と調整には、作業員2名でおおよそ3時間を必要とした。

以下、計測結果について述べる。



写真—1 レーザスキャナ



図—1 施設Aの平面図，および計測機材の配置図

5. 計測結果

計測は，2日間にわたって，約10時間実施した。画面—1は，システム稼働中のディスプレイ画面を，

ハードコピーしたものである。

以下，調査項目毎の計測結果を説明する。

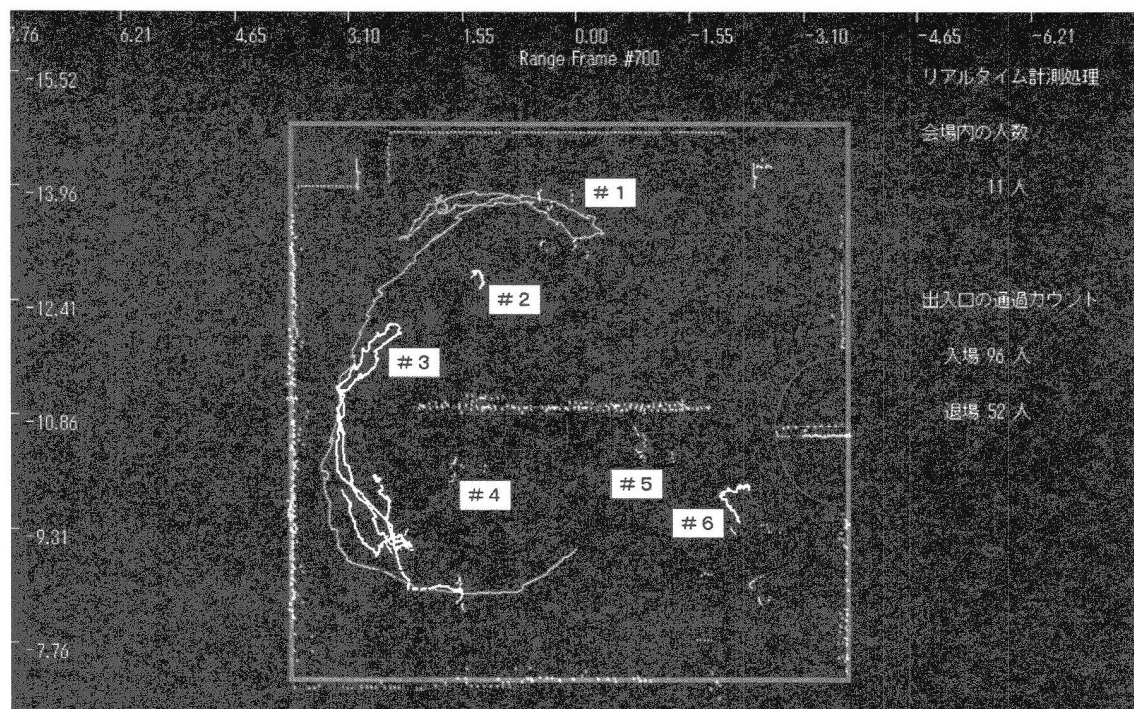
(1) 施設利用者の歩行軌跡計測結果

施設Aの利用者は，システム稼働時間中に，下限約6人から上限30数人までの間を変化した。その中で，20人程度までの利用者が存在する状況では，歩行軌跡をリアルタイムに表示可能であった。しかし，およそ30人以上の利用者が存在する状況では，サーバに送られてくるスキャンデータの処理に遅延が発生し，システムダウンが発生した。また，連続稼働時間が数十分～数時間程度経過した場合にも，何らかの要因により，システムダウンが発生する場合もあった。

歩行者の軌跡は，画面—1に示すように，詳細な抽出結果をリアルタイムに得ることができた。しかし，常時設置されている展示用机やバックパネル，出入口の扉などによりレーザ光が遮られるため，出入口付近から施設Aの内部に歩行者が移動する時に，軌跡が途切れる現象が多く見られた。この他，施設利用者同士が交錯する時には，軌跡の途切れや追跡している軌跡が入れ替わる現象も見られた。

(2) 施設入退場者数の計測結果

施設入退場者数の計測は，先に示した方法により，入場と退場のカウントをリアルタイムに表示した。その結果，半数以上の来場者のカウントには成功したが，一人が入場する時に複数にカウントされたり，カウントされない失敗や誤動作も多く見られた。上述した，利用者の歩行軌跡が出入口付近で途切れる現象が，カウントの失敗や誤動作の要因の一つであることが考えられる。なお本計測では，システムダウン時に入退場者数のカウント値がリセットされる設定になっていたため，入退場者数の累積値を得ることはできなかった。



画面—1 歩行者追跡システムによる施設利用状況のリアルタイム調査 (ディスプレイ画面)
(捕捉説明 ●：レーザスキャナ，緑色：静止物体，白色：動体，#1～#6：歩行者軌跡番号)

6. レーザスキャナによる施設利用状況のリアルタイム計測技術の利用場面と課題

ここでは、計測により得られた結果から、本技術の利用場面と課題について述べる。

(1) 利用場面

a) 施設内の空調管理

駅構内や高層ビルのエントランスなどでは、施設内の空調を管理して、常に快適な空間を保つ必要がある。歩行者追跡システムにより得られた歩行者軌跡を基に、施設の空調を管理することにより、歩行者の集まる領域（歩行者軌跡が集中する領域）に対して、集中的に冷暖房を作動させるなどの管理が可能である。また、施設内の利用者数に応じた、空調管理も可能である。

b) 駅構内の利用状況と連動した、ホーム行き案内板

駅コンコースからホームに至る経路は、複数設けられている箇所が多い。この場合、駅の利用に慣れていない利用者は、いずれか1つの経路に集中することが多い。

図-2は、駅構内での利用状況と連動した、ホーム行き案内板のイメージである。レーザスキャナをコンコース内に設置し、「駅構内への入退場者数の計測」、「歩行者軌跡の抽出」を行う。それらの結果を基に、ホームでの混雑状況を分析した情報を、案内板を通じて旅客に提供する。駅構内の旅客の安全性・快適性の向上や、列車への分散乗車を支援することができる。

この他にも、ホームでの旅客の安全性向上を目的とした警告システムなど、様々な利用場面が考えられる。

(2) 課題

a) レーザスキャナの最適配置

施設Aでの計測結果では、施設内に多くの遮蔽物が存在し、施設内のほぼ同じ箇所では利用者の歩行軌跡が途切れる現象が見られた。また、別途実施した実験においても、レーザスキャナの設置・設置角度が歩行者

の軌跡抽出・追跡に影響があることが判明している。

このことから、歩行者の軌跡抽出を目的としたレーザスキャナの設置基準（計測範囲・設置高さ・設置角度・設置手順など）を明確にする必要がある。

b) 調査項目の精度の把握

歩行者追跡システムでは、主に表-1に示した調査が実施できる。しかし、計測を行う際の目安となる精度が得られていない。このため、先に示した設置基準とともに、目安となる仕様を整理する必要がある。

この他、リアルタイム計測環境下での「同時計測人数の向上」、「システムダウンの原因調査」などが課題として挙げられる。

7. 結論

本稿では、歩行者追跡システムを用いて、施設Aを訪れる利用者を対象に「歩行軌跡の抽出・追跡」、「施設入退場者数」のリアルタイム計測を行った。また、得られた結果から、利用場面と課題について検討した。

その結果、およそ20人の歩行軌跡をリアルタイムに抽出・追跡し、その計測データを基に入退場者数が得られることが示された。

今後は、計測精度向上に向けた計測作業手順の見直しを行うとともに、他のシステムとの連携を念頭においた機能追加など、高度な利用も視野に入れて検討を行っていききたい。

謝辞：本計測の実施にあたっては、ジック㈱のご協力を得ましたので、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) H. Zhao and R. Shibasaki: "A novel system for tracking pedestrians using multiple single-row laser range scanners," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics -part A, 35, 2, pp. 283-291 (2005).

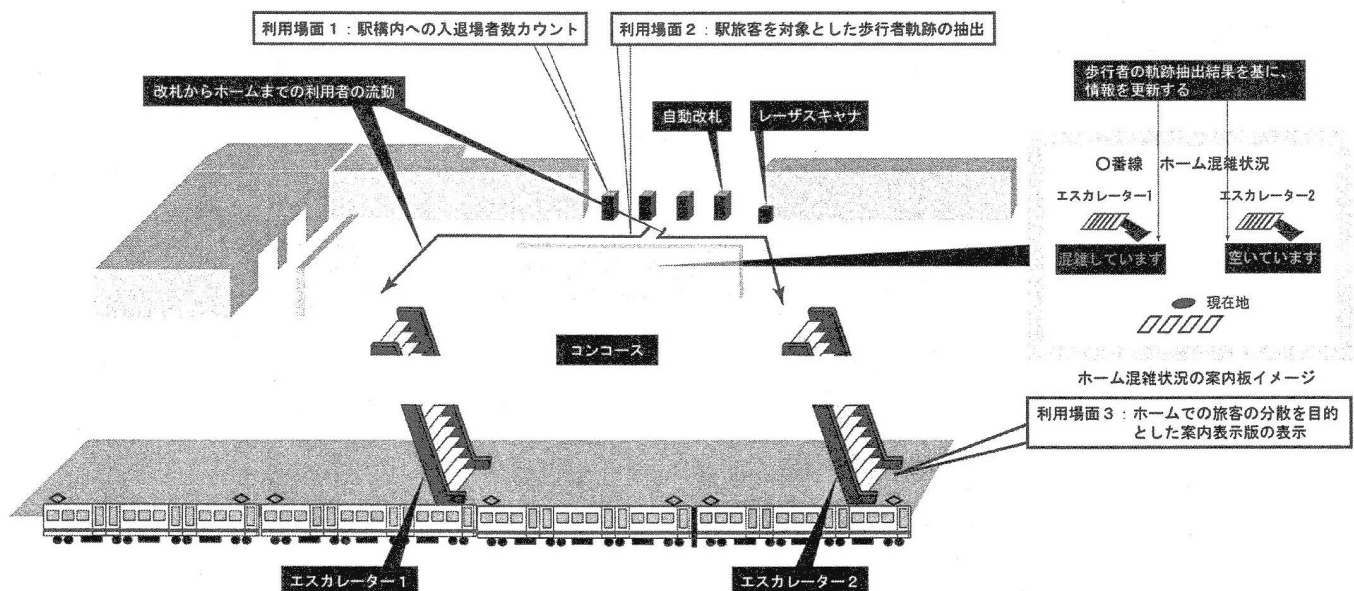


図-2 歩行者追跡システムによる駅構内の利用状況計測と連動したホーム行き案内板のイメージ