

自走ロボットによる照度測定及び自動帳票作成システム 「T-iDigital® Checker」

照明設備機器性能検査の ICT 化により建設現場の生産性向上

高橋 一貴*¹・大川 洋*²

Keywords : autonomous mobile robot, illuminance measurement, automatic report generation, increase in productivity

自律移動ロボット, 照度測定, 自動帳票化, 生産性向上

1. はじめに

労働基準法の改正により、2024 年度より建設業の時間外労働時間の上限は月 45 時間以内と厳しくなり、建設業全体の働きかたの見直しが進められている。建設工場の設備工事における工事の中に建物性能検査がある。これは、建築物の引き渡し前に設備機器対が設計基準（事務室の照度 500～750lux : JIS 規格）通り十分な機能を満たしているかを判断するために必要な検査である。その中の一つである照度測定検査は、日中の日射の影響を受けない夜間に実施する必要があるため、測定時間の制約があることや、誤測定からなるヒューマンエラー、大規模現場での作業量の多さから労働時間の増加が課題となっていた。

本研究では、照度測定作業から記録の帳票化作業を自律走行を可能とした自走ロボット（写真-1）を用いることにより、上記課題を確認することを研究の目的としている。本論では、自走ロボットの構成、建設現場での適用から得られた結果について、今後の展開を含めて述べる。

2. 測定ロボット概要

2.1 自己位置推定手法

2.1.1 目的

天井照明をランドマークとしたロボットの自己位置推定を行う。カメラで得られた画像データから、自己位置や姿勢、周辺の物体の位置情報を三次元で把握



写真-1 測定ロボット外観

Photo.1 Appearance of measuring robot

する Visual SLAM では自己位置推定の為に専用の地図が必要となるが、作成の為に、離れた場所にある物体の計上や距離をレーザー光を使って測定を行うセンサー技術である LiDAR を用いた手法と同程度の手間がかかり、設計図面などからの生成も困難である。竣工検査の利便性を考え、目標地点を場所の制限なく照明プロット図上で指定可能とする。また、測定地点でロボットを操作する際は、作業員が行う作業をなるべく簡便となるシステムを目指す。

2.1.2 移動アルゴリズム

自己位置を推定するためには、指定された開始位置の姿勢から最初に見える照明がどの証明であるか計算する必要がある。初めに見える照明と計算した結果の最も近いものを同じ照明と定義し、カメラで捉えた照

* 1 技術センター 先進技術開発部 次世代建設技術開発室

* 2 設備本部 設備企画部

明が建物の図面上のどの照明であるか特定する。そのイメージを図-1 に示す。自己位置推定のために検出された照明と図面上から得られる照明配置の対応付けを行い、検出された照明中心の座標が図面のどこかを特定する。

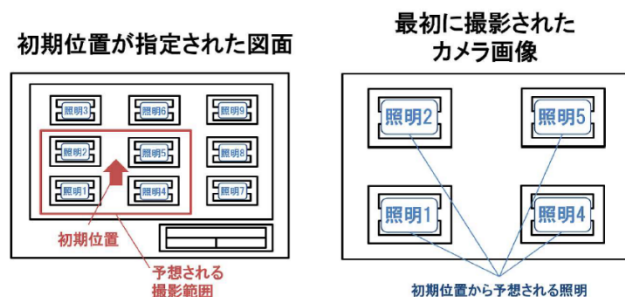


図-1 開始位置からの照明推定

Fig.1 Illumination estimation from starting position

2.2 移動ロボット構成

カメラを搭載する移動体の移動機構は写真-2 に示すメカナムホイールとした。移動体には、メカナムホイールを搭載したヴィンストン株式会社の全方向移動搬送ロボットメカナムローバーVer2.0 を採用した。自己位置推定や移動体への速度指示にはインテル社の小型PCである NUC11PAHi7 を使用した。これにより移動体が旋回せずに任意の方向に動けるため、迅速に多数の測定点に移動可能である。また、方向展開時に旋回が必要な対向二輪の機構と異なり、移動体に設置したカメラの向きを一定に保つことが可能なので移動中に多くの照明を捉え続けることができる。

また、照明を撮影するカメラには、The Imaging Source社の DMK33UX178 を用いた。センササイズは 1/1.8 インチで、解像度は 3072×2048 で約 3K、630 万画素のモノクロカメラである。レンズは興和工学（株）の LM3NC1M を使用した。焦点距離は 3.5m である。カメラの画角は水平 93 度×垂直 70 度程度であり、これは一般的なオフィスの天井高さにおいて、常に 2 つの照明器具を検出できる画角としている。

3. ソフトウェアの開発

3.1 目的

従来の測定記録の帳票化は、現地での測定完了後に現場事務所にて Excel 等の書式に入力を行っていた。この際に、誤記や入力ポイントのずれといったヒューマンエラーが見受けられていた。さらに、測定点の不足による再測定といった事象も起きている。この帳票化



写真-2 移動体ロボット

Photo.2 Mobile robot

の作業に多くの時間を要し、迅速に行う方法が求められていた。本開発では、ロボットの初期設定から測定および帳票化までを一つのツールで操作するアプリを開発し、測定後に自動帳票化が可能な開発を目指す。

3.2 測定作業のシステムフロー

はじめに、本システムのシステム構成を図-2、業務フローを図-3 に示す。照度測定の業務フローを大きく 3 つのフェーズに分けて開発を進めた。1.事務所での事前準備、2.測定場所での測定作業、3.測定後の帳票化の 3 つに分けられる。各フェーズでの作業フローを下記に記す。

【事務所での事前準備】

- ① CAD 図面を AutoCAD で編集する。照明のデータをレイヤに抽出する。
- ② レポート用画像をキャプチャする。
- ③ 照明情報抽出ツールでデータを生成する。
- ④ ②と③で作成したファイルを OneDrive に配置する。

【測定作業・測定現場】

- ⑤ OneDrive から④で配置したデータをアプリで読み込む。
- ⑥ アプリ上で測定範囲を指定し、測定ルートを算出を指示する。
- ⑦ アプリが計測ルートを算出し、ルートを表示する。
- ⑧ 測定ルートを確認し、問題がなければルートを確認する。必要に応じてルートを編集する。
- ⑨ 照明を点灯し、アプリに従いロボットを配置する。
※非常照明の測定は、通常照明で測定をしていることが前提となる。
- ⑩ アプリとロボットを接続する。
- ⑪ アプリからロボットに測定開始を指示する。
- ⑫ 測定中は定期的に測定状況が画面上に表示される。
※計測中・中断・再開が可能

- ⑬ 計測終了後、測定結果が画面にマッピングされた形で表示される。
- ⑭ 測定結果を表示し、レポートに出力する測定点を指定する。
- ⑮ 指定された測定点のデータで測定結果をPDFで出力する。
- ⑯ 接続を切り替え、出力されたレポートをOneDriveにコピーする。

事務所での事前準備フェーズで準備したデータをインプットし、照度測定のための走行ルートを自動算出し、ユーザーに確認してもらうためのユーザーインターフェイスをアプリとして開発した。図-4に開発したロボット操作アプリの画面遷移を示す。ユーザーはロボット操作アプリに照明情報を読み込ませ、計測エリアを指定する。また、計測エリア内の測定点と順序、回避エリアを指定する。測定点が指定された場合は測

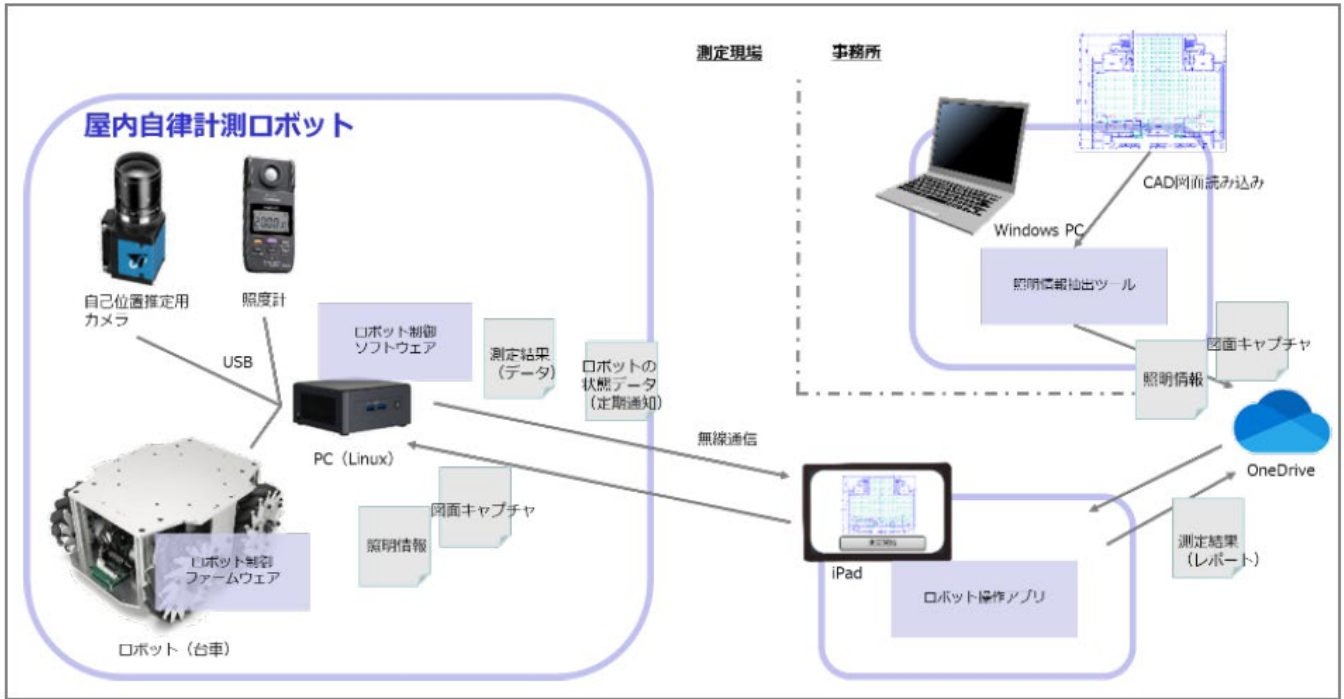


図-2 システム構成図
Fig.2 System configuration diagram

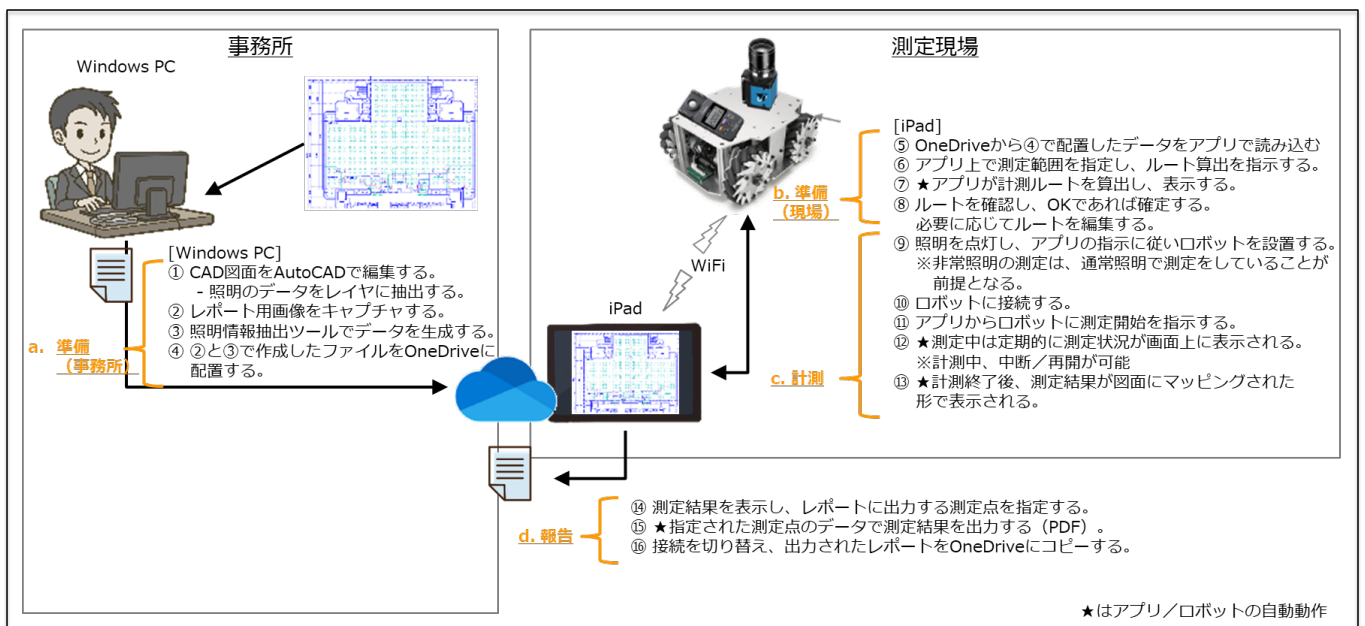


図-3 照度測定業務フロー
Fig.3 Illuminance measurement workflow

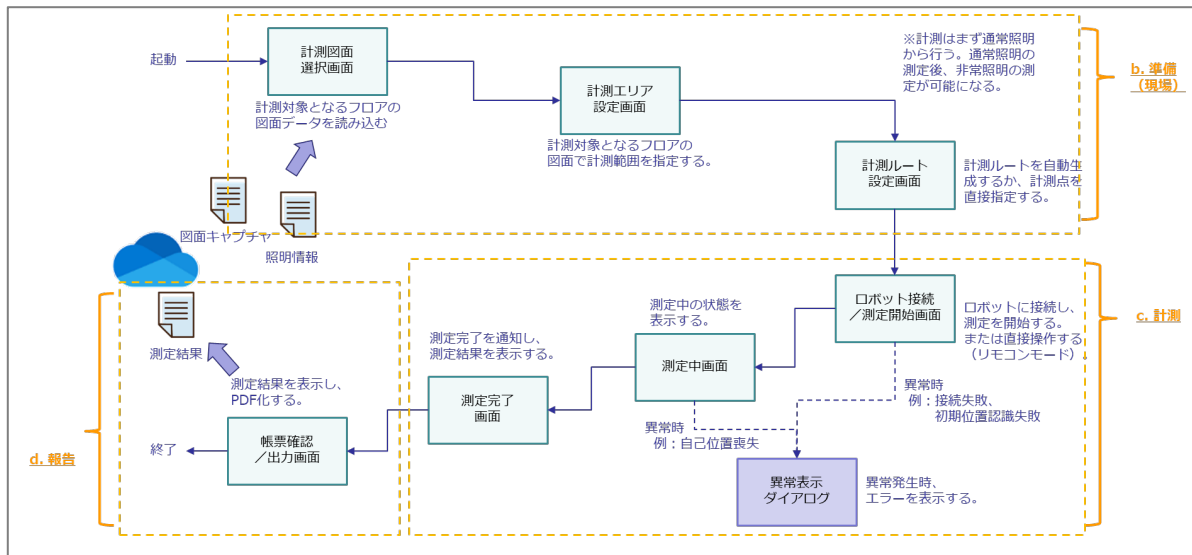


図-4 ロボット操作アプリ画面遷移
Fig.4 Robot operation application screen transition

一般照度測定記録									
工事名称：○○○○新築工事									
立会者	○○建設 ○○○	実施日	2023/03/08						
試験係員	○○設備 ○○○、○○○	天候	晴れ	温度	18℃	湿度	43%		
階	室名	測定点	測定高さ 床[m]	測定照度 [lx]	平均照度 [lx]	設計照度 [lx] (JIS基準値)	判定		
本館 6階	事務室(2)	1	0.75	1103	1232.7	700	○		
本館 6階	事務室(2)	2	0.75	1100					
本館 6階	事務室(2)	3	0.75	1171					
本館 6階	事務室(2)	4	0.75	1326					
本館 6階	事務室(2)	5	0.75	1309					
本館 6階	事務室(2)	6	0.75	1402					
本館 6階	事務室(2)	7	0.75	1220					
本館 6階	事務室(2)	8	0.75	1230					
本館 6階	事務室(2)	9	0.75	1130					
本館 6階	事務室(2)	10	0.75	1231					
本館 6階	事務室(2)	11	0.75	1350					
本館 6階	事務室(2)	12	0.75	1220					
使用機器	品名	計器目盛	形式	階級	製作所	製造番号	製造年	校正有効期限	判定基準： 設計照度以上、又は JIS Z9110(照度基準総則)、JIS Z 9125 (屋内作業場の照度基準)の推奨範囲による

図-5 帳票化記録作成例
Fig.5 Documenting record

定点を結んで測定する。この時、非常照明の測定は行えない。あるいは、エリア指定後に自動ルート設定をユーザーが選択した場合、計測エリアの範囲を満遍なく測定するように走行ルートを自動で設定する。その後、算出されたルートを確認してユーザーは必要に応じて走行ルートを修正する。走行ルートが問題なければ、測定開始を選択しロボットが自律移動で測定を開

始する。測定中は、ロボットの位置情報をロボットの状態でアプリで監視が出来るようにしている。測定完了後ロボットは初期位置に戻ってくる。測定完了後はアプリ上で測定記録を確認することとなる。また、測定が完了した照度記録は自動で PDF として出力される。これにより、従来の照度測定後の事務所等での記録の整理、入力作業が不要となった。測定記録には、測定

者・測定日時・測定場所等の基本情報を入力可能としている。さらに、一般照明では設計照度以上の数値であること、非常照明では白熱灯 1 ルクス以上（蛍光灯・LED では 2 ルクス以上）の照度を確保する必要があるため、合否判定についても自動で評価できるものとした。

3.3 非常照明対応

前節での照度測定作業は、一般照明の測定を対象としており非常照明の測定には対応していない。それは、非常照明の配置は一般照明に比べて器具数が少ないためであり採用しているカメラでは器具を認識できないためである。そこで非常照明の測定に対応するために LiDAR を採用した。

ロボットは、算出させれた測定ルートを照明情報に基づき自律移動で走行し、一般照明の照度測定を行う。この際、ロボットに搭載されている LiDAR を使用し周辺の環境情報（地図）を作成し、非常照明の測定に利用する。これにより、一般照明の照度測定と非常照明の照度測定を自動で測定できることを可能とした。

3.4 実証結果

上記システムを搭載したロボットを建設現場で実証検証をおこなった。対象室の床面積は約 500m² で室用途はオフィスである。天井の使用はシステム天井であり、床仕上げ材はタイルカーペットである。従来の作業員による測定では、2名の作業員が照度測定・記録に 10 分、測定記録の帳票化に 40 分の計 50 分を要していた。本システムでは、照度測定から帳票化までに 10 分で測定作業が完了した。従来の測定と比較すると約 80%省力化になったことを確認した。照度測定記録により得られてた帳票化記録作成例を図-5 に示す。

4. 測定ロボットの仕様

4.1 照度測定の高さへの対応

日本工業規格の JIS C 7612 によると一般照明の照度測定高さは特に指定のない場合は、床面 800mm ± 50mm としている。また、非常照明の測定高さについては床面での照度測定としている。この JIS 規格に対応するため、測定ロボットの上部に伸縮アームを取付け、照度計の受光部を取付可能とした。この時の受光部の高さは H750mm とし JIS 規格の厳しい条件での測定としている。(写真-3) 非常照明測定時はロボット底部から受光部の受け台を引き出し、照度計の受光部を取り付けられる仕様とした。(写真-4)



写真-3 一般照明測定時
Photo.3 General lighting version



写真-4 非常照明測定時
Photo.4 Emergency lighting version

5. まとめ

本技術を搭載した自走ロボットを建設現場にて実施適用を行った。照度測定作業から記録の帳票化までの一連の作業が短時間かつ誤測定がないことを検証により確認が出来たため、省力化や省人化、正確なエビデンスの確保に寄与すると考えられる。さらに、大規模空間での作業がより効率的に実施可能であり、時間外労働の削減に期待ができ、2024 年度より始まる建設業の時間外労働規制に大きく貢献できると考える。

今後はさらに、建設現場での適用を重ね、様々な建物用途の測定に対応ができるよう整備を進めていく。また、その他の設備性能測定（室内風量測定・温湿度測定など）への用途展開も視野に入れて検討を重ねる。

参考文献

- 1) 堅川颯士, 加藤崇, 清水学: カメラを用いた自律移動ロボットによる設備測定システムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2022.