

群ロボットを活用した照度測定業務省力化システムの提案

○西浦悠生, 松本耕平, 倉爪亮 (九州大学), 酒見和幸, 古野純二, 福田貴子, 池田義明 (株式会社九電工)

Development of a multi-robot system for illuminance measurement

NISHIURA Yuki, MATSUMOTO Kohei, KURAZUME Ryo (Kyushu University),

SAKEMI Kazuyuki, FURUNO Junji, FUKUDA Takako, and IKEDA Yoshiaki (Kyuden Co., Ltd.),

キーワード: インフラ点検, 照度測定, 省力化

1. 緒言

建設業の従事者は1997年以降年々減少し、2021年度時点で建設業就業者全体の約35%を55歳以上が占めるという高齢化の状態にある。このため、慢性的な人材不足の解消や生産性の向上が建設業界全体の課題であり、これを解決するため多くの企業が先端技術及びデジタル技術を活用した業務省力化・効率化に取り組んでいる。

建設業における諸業務の一つに「照度測定業務」がある。これは照明機器による作業領域および周辺環境の照度がJIS規格の照明基準に記載の推奨照度および設計者の求める所要照度を満たしているか、照度計を用いて確認する業務である。照度測定は外光の影響が少ない夜間に二人一組で行われるが、建築物の規模によっては測定箇所が数千箇所に及ぶため、夜間の長時間労働の一因となっている。

そこで本研究では、この照度測定業務を自動化するシステムとして、群ロボットを用いた竣工前建築物の照度測定システムを開発した。本稿では、照度測定ロボットの開発背景、システム構成、特長及びプロトタイプによる実験例について述べる。

2. 関連研究

照度測定の自動化システムの先行研究として、これまでに照度測定ロボットが提案されている[1][2][3]。例えば[1]では、大空間かつ測定点数が多い測定対象においては、ロボット導入の効果が大きいことが報告されている。これらのロボットは、基本的に広域空間の照度を1台のロボットで計測することが前提である。しかし複数のロボットが協調して作業を行うことで「作業時間の短縮」や「1台のロボットが故障しても他のロボットによる代替作業が可能」などの利点が考えられる。そこで本研究では、複数台のロボットを用いることで、更なる測定業務効率化を可能にする照度測定システムを提案する。

3. 照度測定の手順

本章では、JISにより定められている照度測定業務における測定手順及び照度基準を説明する。照度測定手順には、四点法、五点法、単位区域が多数連続する場合の四点法の3つの照度測定方法が存在する。本稿では、その中でも代表的な照度測定方法である四点法の測定手順を示す(図1)。

- ① 照度測定を行う平面を一定間隔で縦横に分割(図1(a)(b))
- ② 分割線の交点に測定点を定義(図1(c))
- ③ 四点の測定点を頂点に持つ単位区域の照度 E を式1に従って計算(ただし、 $E_1 \sim E_4$ は単位区域の四隅の照度値)
- ④ 測定された照度値の基準適合を確認

$$E = \frac{1}{4}(E_1 + E_2 + E_3 + E_4) \quad (1)$$

ただし、照度測定面の高さは、測定対象である空間の種類により、表1のように定められている。

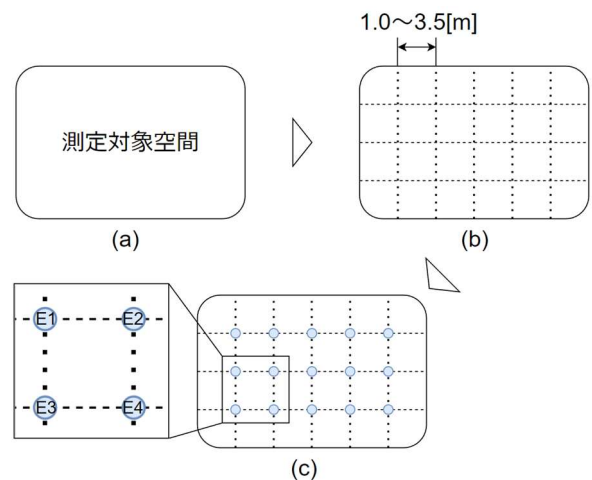


図1 四点法に基づく測定地点の定義

表1 JIS規格で定められた照度測定方法

測定空間の状態	測定面の高さ
室内で机・作業台が存在する場合	作業対象面の上面または下面から5[cm]以内の仮想面
作業対象面の指定がない場合	床面から80±5[cm]
廊下・屋外	床面または地上面より15[cm]以内
和室	畳上から40±5[cm]

4. 提案する照度測定システム

本報で提案する照度測定システムは、複数の照度測定ロボットから構成された群ロボットシステムである。各照度測定ロボットは全て同一の仕様である。照度測定ロボットを図2に、3台のロボットを用いた照度測定システムを図3に、ロボット本体および各ロボットが備える照度計の仕様を表2に示す。

提案システムの照度測定アルゴリズムを図4に示す。本システムでは、まず事前に与えられた地図を基に移動可能領域を計算する。この事前地図は、建築物の施工図面やSLAMによって得られ、画像形式で与えられる。また、ピクセル毎に「障害物」、「障害物無し」、「未知領域」の3種類の状態と、初期位置からの移動コストが定義されている。移動可能領域の計算では、最初に障害物領域と未知領域に十分に大きなコストを割り当てる。その後、ロボット初期位置からのダイクストラ法によって得られる最短経路のコストが十分に小さい座標の集合を移動可能領域とする。

次に、得られた移動可能領域に対して、四点法を適用し測定点を定義する。その後、移動可能領域の全測定点に対し、母点数を照度測定ロボットの台数としたマンハッタン距離による重心ボロノイ分割を適用し、領域を分割する。重心ボロノイ分割の実行時にマンハッタン距離を利用することにより、各ロボットに割り当てられた領域の外形が矩形となり、巡回時の巡回回数が減少し、照度測定時間の短縮が見込まれる。

分割された領域は、各ロボットへ割り振られ、各ロボットは各領域内に存在する測定点をそれぞれ巡回する。この際、各ロボットにおいて、四点法による測定点の生成の際に引いた分割線(図1(b)の点線)が成す二軸に対して、測定点位置の分散を計算し、分散が大きい軸方向にできるだけ直線的に移動するように掃引作業を行う。



図2 照度測定ロボット

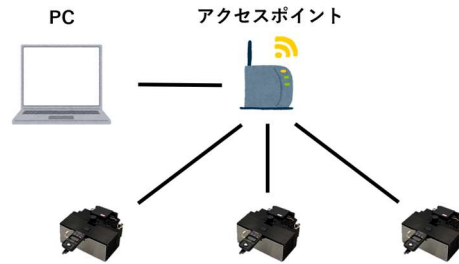


図3 3台のロボットを用いた照度測定システム

表2 照度測定ロボットの仕様

	仕様
寸法	350[mm]×300[mm]×200[mm]
重量	4.0[kg]
レーザーセンサ測位範囲	半径30[m]
駆動時間	3時間
使用照度計	FT3425
測定周波数	2[Hz]
照度測定精度	±2[%]

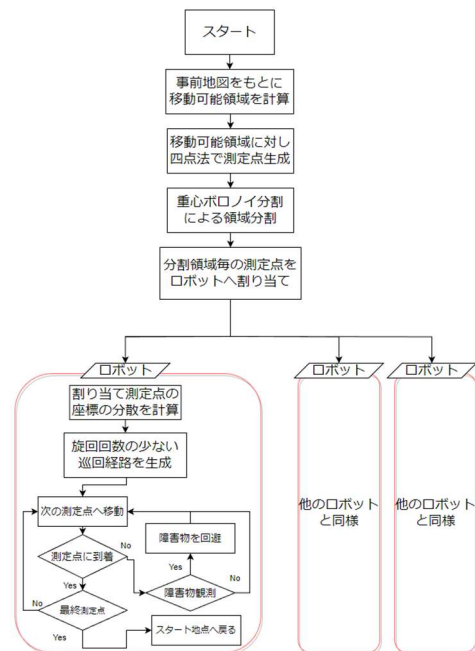


図4 群ロボットによる照度測定のプロフローチャート

5. 照度分布図

本研究では、群ロボットシステムによる照度測定を行い、各ロボットにより得られたデータを結合した後、測定値と未測定地点の照度値を線形補間することで照度分布図を作成する。この照度分布図は、従来の四点法からなる照度測定結果と異なり、測定を行っていない箇所も照度を計算することが可能である。これにより、より詳細で面的な照度分布図が得られ、照度基準を満たさなかった場合の原因究明などに役立つことが期待される。

提案するロボットシステムでは、従来の作業員による照度測定とは異なり、移動しながらの測定が可能である。本研究で使用している照度計 FT3425（日置電機）は、表 2 に示すように、照度値を 0.5 秒に 1 回で取得可能である。また、巡回を行っている間、ロボットは自己位置推定機能によりロボット座標を常に計算している。このロボット座標と移動中に得られた照度値を利用し、線形補間処理を行うことで、照度分布図が作成できる。照度分布図の例を図 5(a)に示す。さらに、照度データを測定した際のロボット軌道を図 5(b)に示す。

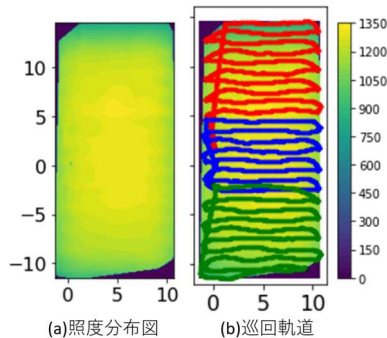


図 5 照度分布図の例と照度測定時のロボットの軌道

照度分布図の生成は以下の手順で行われる。

- ① 各ロボットが収集した照度データを結合
- ② 照度データを一定間隔のグリッドに分ける
- ③ データが存在しないグリッドの照度値は線形補間により推定

6. 照度測定実験

本章では、開発した群ロボットを用いた竣工前建築物の照度測定システムによる測定実験について説明する。本測定実験では、照度分布図の作成にあたり、補間値を 0.1[m] 間隔で算出した。

6-1. 実験の概要と照度測定精度

実験は博多国際展示場&カンファレンスセンターの会議室（406 m²）で行った。実験場所の概要を表 3、図 6 に示す。実験では、提案システムによる測定と、従来

の作業員による測定を行い、得られた照度分布図を比較した。提案システムでの測定を 10 回、手動測定を 1 回行った。

また、ロボットの移動経路が実験回毎に若干異なり、手動測定結果と比較する点数が各実験で異なった。図 7(a)は比較点数が 68 点の場合、図 7(b)は 67 点の場合である。この差は、図 7 に示すように、右下の測定点へロボットが向かう際の動きの違いにより生じている。図 8 に示すように、照度測定ロボットには移動目標地点に対して、ある一定の許容到達誤差を設定している。この目標地点への許容到達誤差により、ロボットの移動経路によっては右下の測定点に到達できない場合があり、照度値の測定範囲に差が生じたと考えられる。

また得られた結果を表 4、図 9、図 10 に示す。表 4 より、ロボットによる照度測定値と手動による照度測定値の差の割合は 1.36[%]であり、照度計の誤差 2[%](表 2)と比較して、十分小さいことが示された。

表 3 実験環境の概要

仕様	
広さ	29[m]×14[m]
天井高さ	5~6[m]
平均照度	1188[lx]
最大照度	1336[lx]
窓の有無	あり（外光の差し込み無し）



図 6 実験環境（会議室）

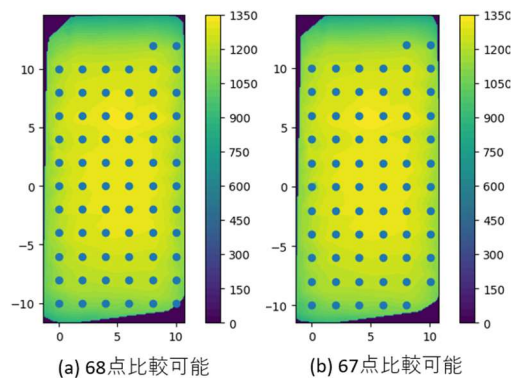


図 7 比較可能点数が 68 点(a)と 67 点 (b) の例

表 4 手動測定とロボットによる測定の差

実験結果	
測定値の差の平均	16.97[lx]
測定値に対する差の割合	1.36 [%]

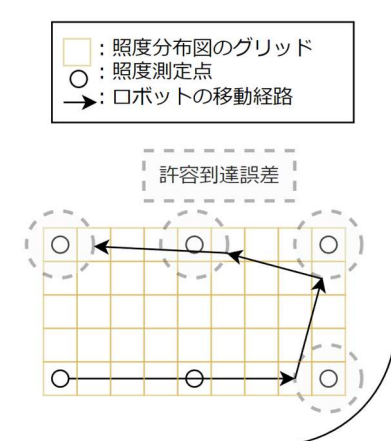


図 8 測定点に到達できない例

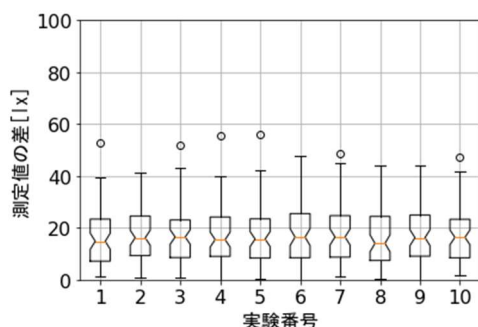


図 9 各実験における測定値の差の分布

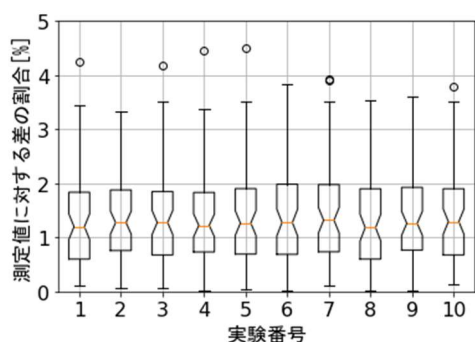


図 10 各実験における測定値に対する差の割合の分布

6-2. 照度測定時間

本報で提案した照度測定システムを用いた場合と、従来の手動測定での測定時間の差を比較した結果を表 5 に示す。表 5 に示すように、本システムは従来の作業員による照度測定と比較して、平均で 26.1[%]作業時間を短縮できることを確認した。

表 5 各実験で比較可能な点数

実験番号	測定時間 [秒]	所要時間の減少率[%]
手動	548	—
1	403	26.5
2	392	28.5
3	400	27.0
4	425	22.4
5	406	25.9
6	398	27.4
7	409	25.4
8	408	25.5
9	404	26.3
10	405	26.1
10回平均	404.9	26.1

7. 結言

本報告では、新たに開発した群ロボットを用いた竣工前建築物の照度測定システムを紹介した。また実験の結果、提案システムは、従来の作業員による手動測定と比較して、測定値の差の割合が 1.36[%]で測定が可能であり、また作業時間も平均 26.1[%]減少することが確認された。

今後は、実際の照度測定現場への導入を目指し、インターフェースの改良等を行う予定である。

謝辞

本研究は九州大学と（株）九電工との組織対応型連携に基づく共同研究によるものです。

参考文献

- [1] 辻元 誠. 自律走行型照度測定ロボットの開発. 電気設備学会誌, 40(4):230-233, 2020.
- [2] 佐竹 純二, 可児 周平, 三浦 純. 移動型生活支援ロボットによる屋内照度分布計測と照明機器の操作. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2014:3P1-H04, 2014.
- [3] 西山大貴, 下村浩史, 間博人, 三木光範, 清水祐希. 自動走行ロボットを用いた照度分布実測手法. 情報科学技術フォーラム講演論文集, 12(4):319-320, 2013.