

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14345

研究課題名(和文) マルチコプターの自動操縦による大空間の空間照度の3次元的連続測定技術の開発

研究課題名(英文) Development of continuous and 3-dimensional measurement method for spatial illuminance distribution in larger space making use of quadcopter.

研究代表者

鈴木 広隆 (SUZUKI, Hirotaka)

神戸大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60286630

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：スポーツ施設の空間照度の連続測定のため、マルチコプターを用いた測定技術の確立を試みた。2016年度は水平方向に一定以下のスピードで移動すれば十分な精度を確保できることを明らかにし、体育館の鉛直断面における水平面照度分布及び高さ5mの水平断面における水平面照度分布を描画し、さらにベクトル照度を測定した。2017年度は同一地点の鉛直面照度と水平面照度の比を計算し、多くの地点でCIEやJISで規定された比の値の範囲に収まっていないことを明らかにした。さらに、縮小鉄道模型を用い移動測定の検討もを行い、照度の変化に対して相対的に移動速度が大きい場合に誤差が大きくなることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：To obtain information of spatial illuminance, continuous and 3-dimensional measurement method making use of multicopter was established. In fiscal year 2016, it was clarified that illuminance distribution could be obtained with the sufficient measurement accuracy. And horizontal illuminance distribution on vertical section and vertical illuminance distribution on horizontal section with its height of 5 meters in a gymnasium were successfully drawn. And vector illuminance distribution in the gymnasium was also obtained. In the fiscal year 2017, ratio of vertical illuminance to horizontal illuminance at the same point were calculated and drawn as distribution of the ratio to conclude that the values of the ratio were out of the range which is regulated by CIE or JIS at many measurement points. Measurement using railway model was also conducted to conclude that value of measurement error should increase when relative moving speed of the model was larger.

研究分野：建築環境・設備(光環境)

キーワード：マルチコプター 連続測定 3次元的測定 移動測定 照度分布 スポーツ施設 施工ミス 空間照度

1. 研究開始当初の背景

近年のシミュレーション技術の発達により、建築空間の光環境を設計段階で量的に予測する技術は概ね達成されつつある。一方で、反射特性・配光特性の取り扱いや施工精度の問題で、設計段階で予測された光環境性能が竣工時に確保されておらず、問題となることがある。特に、球技場等のスポーツ施設においては、様々な高さにおける光の流れの特性が重要となるため、設計段階と竣工時のギャップの影響は重大なものとなる。

2. 研究の目的

本研究は、球技等のスポーツ施設の大空間を対象とし、マルチコプターの自動運転機能を用いて、対象空間内の空間照度を連続的立体的に把握する技術を確立し、竣工時の建築空間の実際の光環境を精密に測定して設計段階と竣工時のギャップを見出す技術を確立することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究は、「(A)装置の開発」、「(B)時空間的解像度の検討と測定値の補完方法」、「(C)測定データの分析手法の確立」、「(D)実空間への応用」の4つサブテーマにより構成されている。

「(A)装置の開発」は、マルチコプター、照度センサー、測定データ記録装置から構成される。実際にシステムを製作した後試験的に測定を行い、装置の揺れや設定された飛行ルートに対する誤差等を明らかにし、搭載可能な機器の個数等について調整した上で、用意した機器・装置の範囲で最適な組み合わせを模索する。

「(B)時空間的解像度の検討と測定値の補完方法」では、GPSと照度計の時刻をマッチングさせる検討を行う。本システムで使用するGPSと照度計のみを用い、両者で記録された時刻と記録された情報(GPSデータ、照度データ)の関係を分析し、時刻情報をマッチングさせる方法を検討する。さらに、マッチングさせる方法を確立した後、測定システムで得られたデータを離散データから連続データに変換する手法を検討する。

「(C)測定データの分析手法の確立」では、測定システムで得られたデータを分析するため、空間照度による光環境評価手法に関する情報を収集する。その上で、本研究で提案するシステムを用いて測定された連続データを用い、空間の中の光環境的な特異点(暗すぎる点、明るすぎる点、光の流れが均一すぎる点、光の流れが不均一すぎる点等)を自動的に抽出する技術を開発する。

「(D)実空間への応用」では、本システムで得られるデータを実空間での光環境設計に反映させる方法を模索するため、過去のスポーツ施設における光環境の問題点の事例を収集し、さらに空間照度を用いた光環境評価のニーズを把握する作業を行う。

4. 研究成果

「(A)装置の開発」では、実際に外注したアタッチメントを用いて照度計をマルチコプターの機体に装着した。この結果、マルチコプターが飛行のために各種センサーから収集する情報にアタッチメントがノイズを与え、飛行が安定しないことが分かり、アタッチメントを利用せずに照度計を取り付けることとなった。また、照度計(照度センサーとデータロガー)の重量から、照度センサーの取り付けは最大2個までとすることとなった。図1に、側面に照度センサーを2つ装着し、上面にデータロガーを取り付けたマルチコプター(PHANTOM4、DJI社)の様子を示す。

「(B)時空間的解像度の検討と測定値の補完方法」では、マルチコプターの飛行はまず自動操縦を模索したが、改正航空法の制限で夜間の屋外スポーツ施設では訓練を積んだ経験者以外は飛行できないことが分かり、当面屋内での測定を行うこととした。このため、GPSによる位置の取得が不可能となり、飛行の開始時・終了時の位置と時刻を記録し、等速飛行を仮定して測定値を場所に割り当てる方法を採用した。しかし、静止測定(通常の方法による測定)と移動測定(マルチコプターによる測定)の差が大きく、等速飛行の仮定が成立しないことが明らかになった(図2参照)ため、体育館の照明器具位置を元に位置と時刻の情報をより細かく記録する



図1 側面に照度センサーを2つ装着し、上面にデータロガーを取り付けたマルチコプター(PHANTOM4、DJI社)の様子

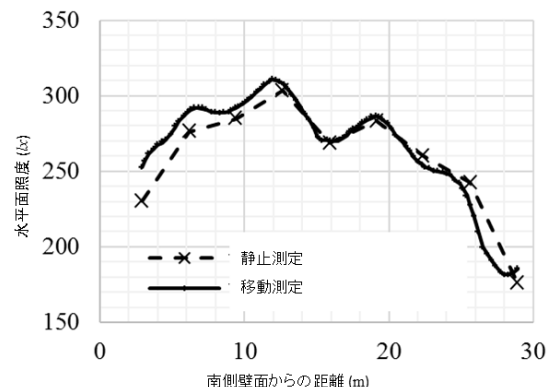


図2 体育館内の特定の列で水平面照度を測定した場合の静止測定と移動測定の結果

こととし、これにより一定の精度を確保することが可能となった。また、離散データから連続データへの変換は、セグメントごとに離散データの値を線形に内挿して連続データを得ることができた。これにより、測定データから任意の位置の測定値を求めることが可能となった。これらの方法の組み合わせにより、これまで測定が困難であった高所における照度測定が可能となり、高い位置の水平断面内の照度分布や、高い位置を含む鉛直断面内の照度分布が測定できるようになった。なお、一連の測定において、高さが異なる位置における照度の測定については、横方向の移動を複数回行う(高さが異なる)方法と、縦方向の移動を複数回行う(水平位置が異なる)方法の2通りを試みたが、光源方向もしくはその反対方向への移動となる後者のほうが静止測定と移動測定の誤差が大きかったため、横方向への移動を複数回行う方法を採用することとした。また、本サブテーマでは、測定で得られた照度分布と予測計算による照度分布の比較や、縮小鉄道模型を用いて移動測定を行った場合の検討も行った。測定と予測計算による照度分布の比較では、反射率や光度の値の精度が不十分であったため、相対的な分布は整合したが絶対値の整合は不十分であった。しかし、相対的な分布が整合していたことから、位置に関しては一定の精度が確保されていることが示唆された。また、縮小鉄道模型を用いた測定では、照度の変化に対して相対的に移動速度が大きい場合に誤差が大きくなること分かり、今後横向きに照明器具が設置された屋外空間で測定を行う場合に十分な予備検討を行う必要があることが示唆された。

「(C) 測定データの分析手法の確立」では、既往研究を参考に、マルチコプターの上下前後左右の6方向に照度計を取り付けて(同時装着は2つまで)6方向の照度を測定し、それらにより得られた値を内挿して分布図を作成し、これを基に光環境を評価することとした。図3に、神戸大学体育館における、高さ5mの水平断面における水平面照度分布を、図4に、同体育館の鉛直断面における水平面照度分布を示す。これらの図は、これまでは高所作業車等を用いて1点ずつ測定を行わなければ得られなかったものであり、比較的少ない負荷で本図を得られたことは研究の大きな成果の1つである。また、図5は、照度計をマルチコプターの各面に取り付けて、6方向の水平面照度と鉛直面照度を測定した結果を基に、それらの値を平均して疑似的に平均球面照度に相当する値を求めて描画した図である。この図も、マルチコプターによる測定法なしでは描画が困難なものであり、本研究の成果である。

「(D) 実空間への応用」では、既往研究を

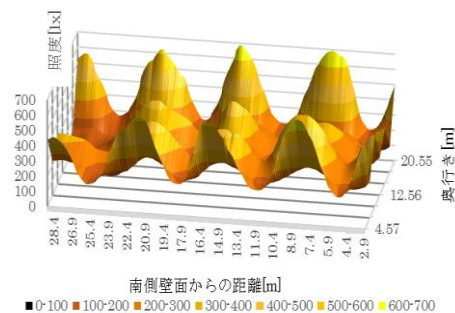


図3 高さ5mの水平断面における水平面照度分布

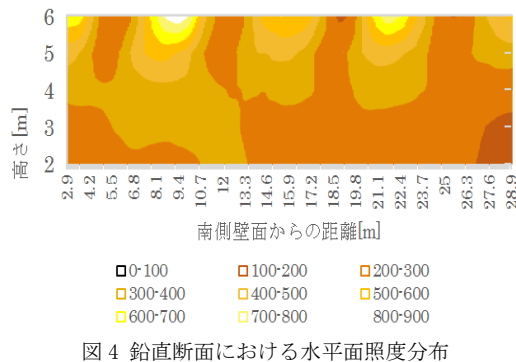


図4 鉛直断面における水平面照度分布

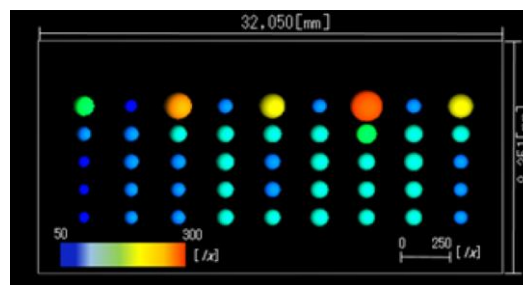


図5 鉛直断面における6方向照度の平均値

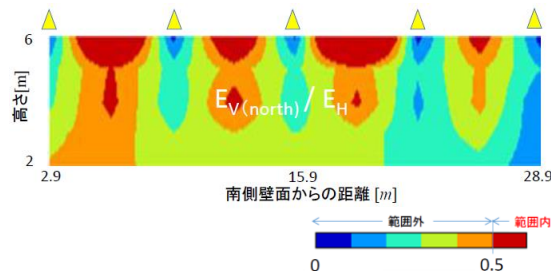


図6 水平面照度に対する鉛直面照度(南方向)の値の分布

整理し、特に球技が行われるスポーツ施設の空間において、鉛直面照度と水平面照度のバランスが重要となり、ISOでは空間内の測定点において、(鉛直面照度 / 水平面照度)の値が0.5以上となることを求めている(ただし鉛直面照度は4方向のうちいずれか1方向)こと、JISでは(鉛直面照度 / 水平面照度)の値が0.5以上2以下となることを求めている(ただし鉛直面照度は4方向の値の平均値)ことを把握した。そして、内挿された値を用い、同一点における(鉛直面照度 / 水平面照度)の値の分布図を作成した。図6に、同一点における水平面照度に対する鉛直面照度(南方向)の比率を、図7に、同一点における水平面照度に対する鉛直面照度(4方向の平均)の比率をそれぞれ分布図としたもの

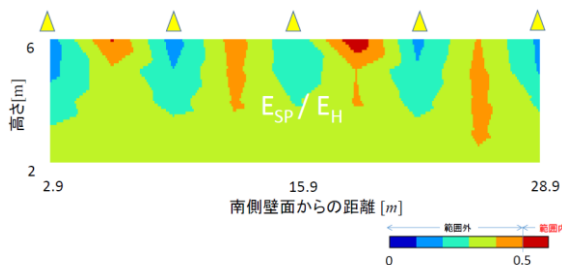


図7 水平面照度に対する鉛直面照度(4方向の平均値)の値の分布

を示す。4方向のうち、南方向の鉛直面照度を用いた場合が、CIEの定める範囲を満たす測定点が一番多かったが、それでも多くの測定点において比率の値が範囲外であることが分かる。JISの場合は範囲内となっている測定点はさらに少ない結果となっている。これまで、水平面照度に対する鉛直面照度の比率は、測定が困難であるために実際に分布図の形で示されているものは皆無であり、この分布図を作成し、多くの測定点で基準が満たされていない点を明らかにしたことも、本研究の大きな成果の一つである。

これらのように、「(A)装置の開発」、「(B)時空間的解像度の検討と測定値の補完方法」、「(C)測定データの分析手法の確立」、「(D)実空間への応用」の4つサブテーマそれぞれにおいて、一定の成果を得ている。なお、本来の測定が夜間の屋外空間を対象としたものであったため、夜間のDID空域で飛行許可申請が行えるように国土交通省認定団体の講習を受講した。そして、照明位置の情報なしで機体位置を把握する(屋外では照明器具がグリッド状に配置されていない、GPSによる位置取得は誤差が大きいと判断した)ために、マルチコプターのジンバルカメラから撮影した地上面の目印を利用する方法を検討した。しかし、カメラ軸のキャリブレーションに異常が発生し、この方法で完全に位置情報を取得することはできなかった。位置の目安となる天井面が存在しない屋外において位置情報を取得する方法が今後大きな課題になると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Hiroataka SUZUKI, Kenta NAKURA, Takuya MAEMURA, Michico IWATA, Yuki AKIZUKI, Norikazu MATSUMOTO, PRELIMINARY STUDY OF ILLUMINANCE DISTRIBUTION MEASUREMENT MAKING USE OF QUADCOPTER -STUDY OF GEOMETRICAL CONDITION-, Proceedings of the 11th Asian Forum on Graphic Science、査読有、2017、F32

- ② Takuya MAEMURA, Hiroataka SUZUKI, Kenta NAKURA, Yuki AKIZUKI, Michico IWATA and

Norikazu MATSUMOTO、PRELIMINARY STUDY OF ILLUMINANCE DISTRIBUTION MEASUREMENT MAKING USE OF QUADCOPTER -EXAMINATION OF ACCURACY AND DRAWING OF ILLUMINANCE DISTRIBUTION-, Proceedings of the 11th Asian Forum on Graphic Science、査読有、2017、F33

[学会発表] (計 5 件)

- ① 前村 拓哉、名倉 健太、松本 孝一、鈴木 広隆、秋月 有紀、岩田 三千子、マルチコプターの連続測定による照度分布について、日本図学会第99回関西支部学術講演論文集、2017
- ② Hiroataka SUZUKI、Kenta NAKURA, Takuya MAEMURA, Michico IWATA, Yuki AKIZUKI, Norikazu MATSUMOTO, GEOMETRICAL STUDY FOR CONTINUOUS MEASUREMENT OF ILLUMINANCE IN A GYMNASIUM、GEOMETRIAS' 17、2017
- ③ 鈴木 広隆、前村 拓哉、秋月 有紀、岩田 三千子、マルチコプターの連続測定を用いた空間全体の照度分布の測定方法に関する研究 2017年度日本建築学会大会 オrganイズドセッション 2017
- ④ 鈴木 広隆、前村 拓哉、秋月 有紀、岩田 三千子、移動測定による照度分布の測定方法に関する研究 -その1 マルチコプターを用いた水平面照度の連続測定-、平成29年度(第50回)照明学会全国大会、2017
- ⑤ 前村 拓哉、鈴木 広隆、秋月 有紀、岩田 三千子、移動測定による照度分布の測定方法に関する研究 -その2 マルチコプターを用いた空間照度の測定-、平成29年度(第50回)照明学会全国大会、2017

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 広隆 (SUZUKI, Hiroataka)
神戸大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：60286630

(2) 研究分担者

岩田 三千子 (IWATA, Michico)
摂南大学・理工学部・教授
研究者番号：70288968

(3) 連携研究者

秋月 有紀 (AKIZUKI, Yuki)
富山大学・人間発達科学部・教授
研究者番号：00378928