

無線による時間帯別制御を行う LED 照明の病院環境への適用に関する研究

その 1 照明システムの概要と光環境の変化に対する被験者実験

STUDY ON APPLICATION IN HOSPITAL ENVIRONMENT OF LED LUMINARIES WITH
SEQUENTIAL RADIO CONTROL

Part 1: Outline of LED luminaries system and evaluation of the lighting environment

村 江 行 忠*,森 一 紘**,丹 羽 啓 之***,柳 下 一 隆****,望 月 悦 子*****

Yukitada MURAE, Kazuhiro MORI, Hiroyuki NIWA, Kazutaka YAGISHITA and Etsuko MOCHIZUKI

This paper is outline of newly LED luminaries with sequential radio control for hospital environment and subjective experiment on lighting environment.

The purpose of this experiment is to investigate subjective preferences of the lighting environment in the hospital through a day. For the occupants who cannot go outside, such as patients in the hospital etc., the total amount of light exposed in a day tends to be insufficient and the pattern of the exposure to light through a day tends to be monotonous. It is desired to control artificial lighting to be in line with the outside for who cannot experience natural variations in daylight.

All 38 experimental conditions consisting of 18 stationary lighting conditions and 20 variable lighting conditions were evaluated. The subjects evaluated brightness, comfort as a dayroom of hospital and impression of the lighting environment. Also he/she judged whether the lighting condition was changed during the stay in the experimental room with each condition. Moreover the subjects were asked to take saliva to evaluate stress measured by the salivary α -amylase activity.

From the results of our experiments, it is recommended to change the lighting condition slowly for the occupants not to sense.

Keywords : Sequential Control, Radio Control, LED Luminaries, Hospital Environment, Subject Experiment

時間帯別制御, 無線, LED 照明, 病院環境, 被験者実験

1. はじめに

近年, LED 照明の開発・普及に加え, 制御・通信技術の発展に伴い, より簡易に様々な光環境を構築することが可能になってきた. 特にサーカディアン・リズムと言われる生体のリズムに大きく影響していると考えられる昼光の変化を模した照明制御が注目されている.

このような照明制御に関して, オフィスなどの執務環境においては, 心理・生理あるいは知的生産性において好ましい影響が示されている^{例え1)}. 一方で, 住宅や病院など視作業をとまなわな環境においても, 「くつろぎ」や「安らぎ」を与える効果や睡眠効率の向上などが期待できる²⁾.

上記背景のもと, 無線技術などを採用することにより, 簡易に連続的な調光・調色制御が可能な LED 照明システムを開発するとともに, 病院環境への適用について基礎的な検討を行ったのでその概要を報告する.

2. 照明システム概要

従来, サーカディアン・リズムに対応した調光・調色制御の導入には制御用の配線や制御機器および専用ソフトウェアによる設定の複雑さや, 工期・コストなどの課題があったが, 今回, 開発した照明システムにおいては無線通信を採用することで, システムを簡略化するとともに, 柔軟な運用を可能とした.

2.1 システム構成と機能

照明システムの構成を図-1 に示し, それぞれの機能について概述する.

(1) 照明制御用 Gateway

開発した照明システムの多くの機能は照明制御用 Gateway (ゲートウェイ) によって実現している (写真-1 左側, 表-1).

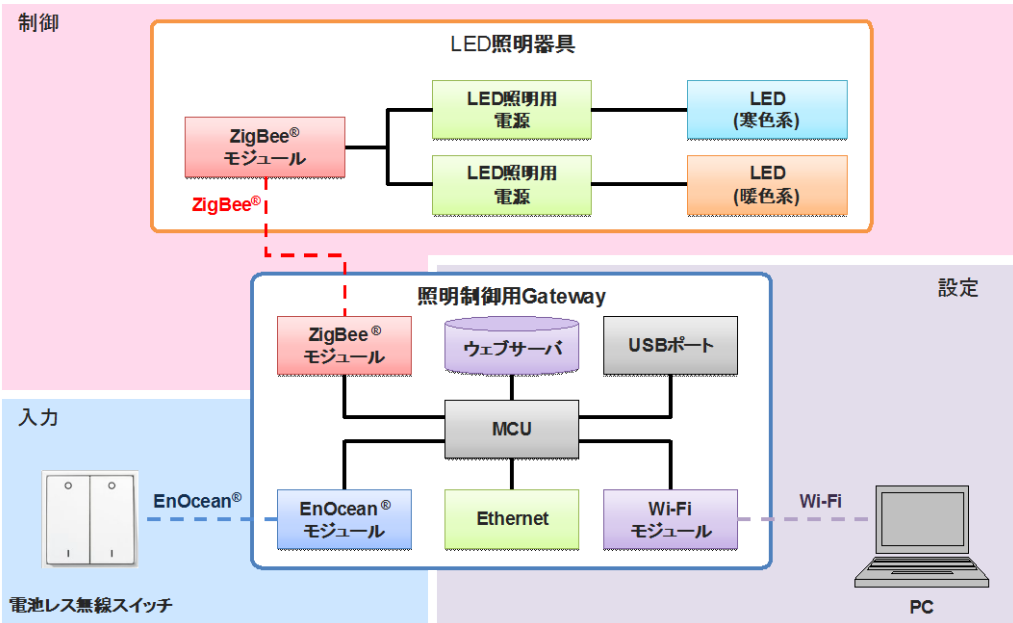


写真-1 照明制御用 Gateway (左) と電池レス無線スイッチ (右)

無線通信機能として「ZigBee® (ジグビー)」, 「EnOcean® (エンオーシャン)」, Wi-Fi の 3 つの通信モジュールが実装されている. ZigBee®は照明制御に, EnOcean®は電池レス無線スイッチからの信号受信に使用する. また, Wi-Fi 経由で照明制御用 Gateway に内蔵されているウェブサーバにアクセスすることで, 専用ソフトウェアをインストールすることなくブラウザ上で調光・調色の設定やスケジュールの登

* 戸田建設(株) 技術研究所 修士 (工学)
** 戸田建設(株) 環境事業推進室
*** (株)村田製作所 通信モジュール商品事業部

**** ウシオライティング(株) 照明ソリューション事業部
***** 千葉工業大学 工学部建築都市環境学科 教授・博士 (工学)



図ー1 照明システムの概念

録を行うことができる。

照明の制御機能はMCU（Micro Control Unit）により提供され、2系統のLED照明用電源に対して、それぞれ256段階の出力制御を行うことができ、1日あたり5シーンについて四季を想定した4パターン（計20シーン）の設定が可能で、内蔵時計により変更の要する時間を含めた連続した制御が可能である。制御可能な照明器具台数はGateway1台あたり100台以上で16のグループに分けることができる。

また、後述する電池レス無線スイッチにより、別に4シーンを登録可能である。

(2) LED 照明

LED照明の上面（制御部）および仕様を写真ー2、表ー2に示す。LED照明は約600mm×600mmの正方形で寒色系（白色）と暖色系（アンバー色）のLED各320個が交互に配置されている。それぞれに無線通信を行うZigBee®モジュールに直結した電源を使用して、その出力を制御することで、相關色温度を3000K（電球色）～6500K（昼光色）の範囲で調整可能である。

(3) 電池レス無線スイッチ

電池レス無線スイッチ（写真ー1右側）は、スイッチ操作時の動きを起電力として信号を送信するもので、電源も含めた配線が不要となるため、設置位置が自由になることに加えて電池交換のメンテナンスが不要となる。照明制御用Gatewayではこのスイッチからの信号を受信した場合は割り込み処理を行い特定のシーン（4シーン）を再現する。

3. 照明条件変更時の光環境に関する基礎実験

3.1 実験目的

本実験では、病院の待合室やデイルームなど入室時間が比較的短い空間を想定して、時間帯に応じて段階的に設定変更される照明環境について、心理・生理の両面から評価した。

表ー1 照明制御用 Gateway 仕様

項目	仕様
サイズ	173×130×32mm
搭載 OS	Linux2.6.31
無線インターフェース	ZigBee®, EnOcean®, Wi-Fi
有線インターフェース	Ethernet, USB, SD カード
ZigBee®プロトコル	独自仕様
照明制御台数	100 台以上/Gateway
グループ数	16 グループ
時刻調整機能	NTP 対応
調光機能	ステップ調光対応
調光変更時間	1～3600 秒



写真ー2 LED照明用電源システムと無線通信モジュール

表ー2 照明器具の仕様

項目	仕様
寸法	発光面；約 600mm×約 600mm
LED 数	寒色系（白色）；320 個 暖色系（アンバー）；320 個
全光束	5700 [lm]
相關色温度	3000～6400[K]
消費電力	85 [W]

3. 2 実験方法・実験条件

実験は大きさがほぼ同じの隣合う 2 室において行った (図-2)。窓面は遮蔽してあり、天井には 600 mm 角の LED 照明 3 灯が均等に配置されている。LED 照明は、無線通信により両室同時に制御した。実験条件は表-3 および表-4 に示す通りで、実験室滞在中、一定の照明環境に曝露される 18 条件と、実験室入室後 2 分経過した後、30 秒あるいは 60 秒かけて照明条件を変更する 20 条件の計 38 条件について評価した。各条件の値は、照明直下の机上面 (床 上 700 mm) における計測値で、白色 LED とアンバーLED の出力を 256 段階 (0~255) の組み合わせで設定した。実験は 1 日を朝 (9:30~11:00)、昼 (11:40~14:00)、夕 (14:00~16:30)、夜 (15:30~18:30) の 4 つの時間帯に区切って、2 日間行った。被験者は 16 名 (男 13 名、女 3 名、平均 24 歳) で、1 回の実験には 8 名が参加、4 名を一組として片方ずつの実験室に同時に入室させた。被験者は時間帯の異なる実験にそれぞれ 1 回参加し、実験条件はランダムに呈示した。

3. 3 評価方法

被験者は机上面照度 150 lx に設定された前室にて 5 分間待機した後、各条件に設定された実験室に入室、5 分間滞在した。各照明条件は、唾液アミラーゼ活性による生理的ストレス³⁾ (ニプロ社製、唾液アミラーゼモニター) と光環境の主観申告として、明るさ感、快・不快、印象評価、許容度、照明環境変化に対する知覚と快・不快 (図-3) により評価した。被験者は、前室にて待機中に唾液を採取した後、実験室に入室し、入室直後と退室直前に実験室内の光環境について主観申告を行った。申告後、前室に戻り再び唾液を採取し、次の条件曝露まで待機した。

Q 現在のこの室の明るさをどのように感じますか？

・非常に明るい ・明るい ・やや明るい ・どちらでもない
・やや暗い ・暗い ・非常に暗い

Q 現在のこの室の光環境は快適ですか？

・はい ・いいえ

Q 今回の室に滞在中に、以下の項目について感じましたか？

感じた場合は、快適でしたか不快でしたか？

1)一瞬だけ照明が消えた	・感じた (・快適・不快)	・感じなかった
2)明るさの変化	・感じた (・快適・不快)	・感じなかった
3)器具ごとの出力の違い	・感じた (・快適・不快)	・感じなかった
4)光のちらつき	・感じた (・快適・不快)	・感じなかった
5)光の色の変化	・感じた (・快適・不快)	・感じなかった
6)光の照射方向の変化	・感じた (・快適・不快)	・感じなかった

図-3 光環境主観申告

なお、実験室の温熱環境については、表-5 に示すように、実験室間で大きな差は無かった。

3. 4 実験結果

(1) 照明条件変更中の机上面照度、相関色温度

図-4 に、照明条件変更時の机上面照度 (HIOKI 3640, 1 秒間隔で計測)、図-5 に LED 照明の相関色温度 (EKO 携帯型分光放射計 MS-720, 15 秒間隔で計測) の変化の一例を示す。机上面照度は、実験中に計測したため、在室者の影による影響が若干見られ

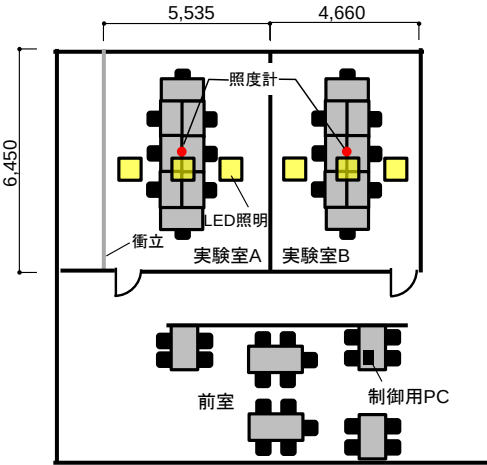


図-2 実験室平面図

表-3 実験条件 (照明環境一定 18 条件)

照度[lx]	CCT[K]	評価時間帯			
		朝	昼	夕	夜
1400	4380	○	—	—	—
1000	4380	○	○	—	—
700	5500	○	—	—	—
700	4380	○	○	—	—
700	3690	—	○	○	—
500	4380	—	○	○	—
500	3690	—	—	○	—
350	4380	—	—	○	—
350	3690	—	—	○	○
250	3690	—	—	—	○
250	3000	—	—	—	○
175	3690	—	—	—	○
175	3000	—	—	—	○

朝: 9:30-11:00 昼:11:40-14:00
夕: 14:00-16:30 夜:15:30-18:30

表-4 実験条件 (照明環境変化 20 条件)

変更前		変更後		設定変更時間	
照度[lx]	CCT[K]	照度[lx]	CCT[K]	30s	60s
1400	4380	1000	4380	○	○
1400	4380	700	4380	○	○
1000	4380	700	4380	○	○
1000	4380	500	4380	○	○
700	5500	700	4380	○	—
700	5500	500	4380	○	—
700	4380	500	4380	○	○
700	4380	350	4380	○	○
700	3690	350	3690	○	○
500	3690	250	3690	○	○
350	3690	175	3690	○	○

表-5 実験室温熱環境 (実験中)

	実験室 A		実験室 B	
	温度 [°C]	湿度 [%RH]	温度 [°C]	湿度 [%RH]
Ave.	23.5	34.3	23.8	33.0
Min.	19.7	22.0	20.8	22.0
Max.	25.1	49.0	25.0	46.0

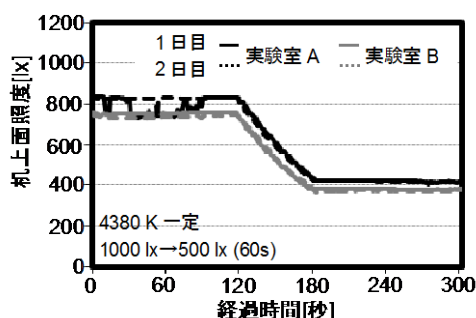


図-4 設定変更時の机上上面照度

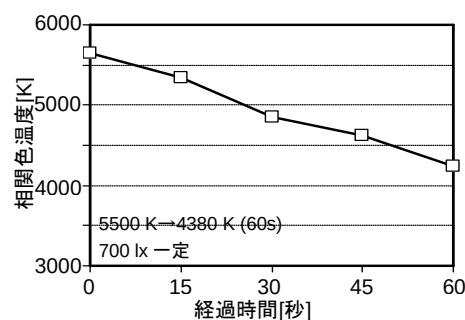


図-5 設定変更時の照明色温度

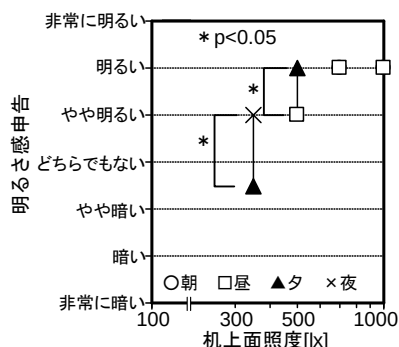


図-6 時間帯による明るさの違い

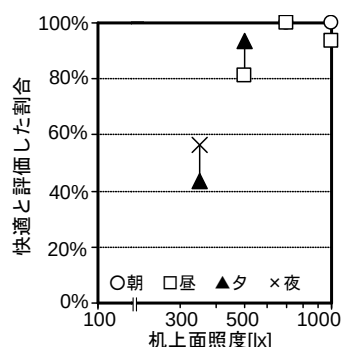


図-7 時間帯による快適さの違い

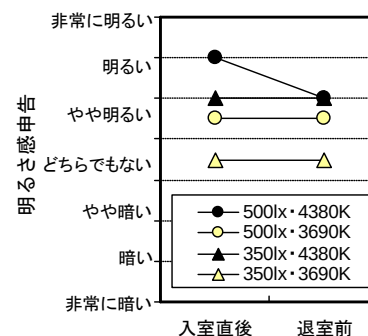


図-8 照明条件一定時の明るさ感変化

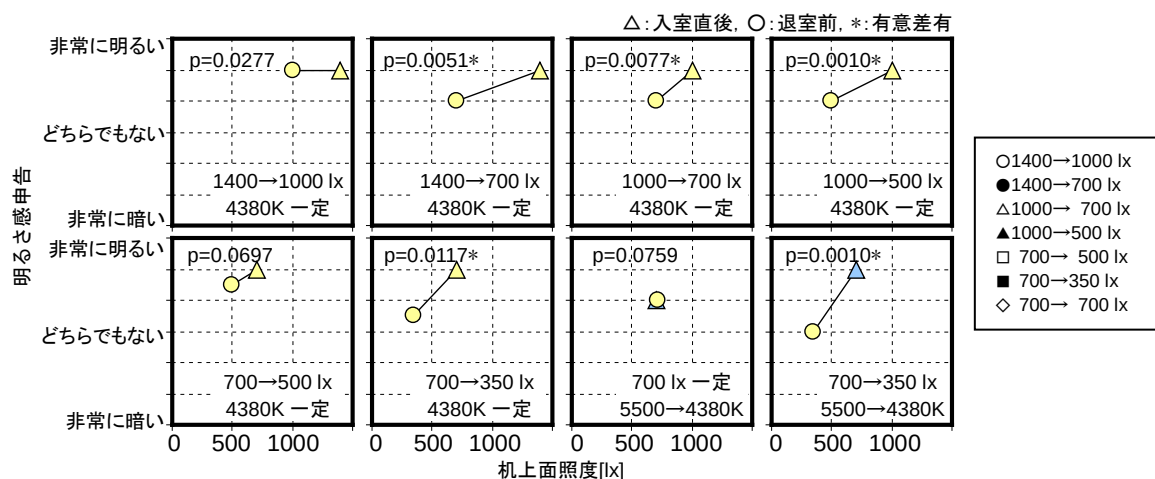


図-9 照明条件変更時の明るさ感の変化(30 s)

るものの、2つの実験室で概ね同じ照度に設定できていた。照度・相関色温度ともほぼ直線的に変化させることができた。

(2) 時間帯による評価の違い

図-6,7 に一例として、設定条件が等しく（相関色温度は全て 4,380 K）、評価時間帯の異なる場合の明るさ感（入室時の申告中央値）ならびに各条件の光環境を快適と評価した割合を比較する。机上上面照度が高い方が実験室の明るさ感も高くなるが、同じ机上上面照度でも、昼より夕方、夕方より夜の時間帯に評価した方が明るさ感が高く、また快適と感じる割合も高くなった。Wilcoxon の符号付順位検定の結果、机上上面照度 350 lx と 500 lx で評価時間帯により明るさ感に有意差 ($p<0.05$) があった。明るさ感は時間帯によらず、快・不快評価が時間帯によって異なると考えたが、今回の実験では、評価時間帯による快・不快評価の有意差は確認されなかった。

(3) 照明環境の変化に対する知覚と快適性

実験室滞在中、照明環境が一定の場合は、図-8 に示すように入室直後と退室直前とで明るさ感はほぼ等しかった。図-9 に示すように、照明環境が変化する場合は、入室直後と退室直前の明るさ感については、1000 lx から 700 lx、700 lx から 500 lx に照度に変化する 2 条件と色温度だけ変化する条件を除いて、入室直後と退室直前とで明るさ感に有意差が確認された。30 秒で変化する場合と 60 秒で変化する場合の退室直前の明るさ感に有意差はなかった。

図-10 に実験室滞在中に明るさの変化を知覚した割合、変化を知覚した被験者のうち不快と感じた割合、条件曝露前後での唾液アミラーゼ活性の変化量（中央値）を示す。前後照度比（後/前）が小さい方が知覚割合は高いが、不快に感じる割合に明確な差はない。変更時間が長い方が、知覚割合、不快に感

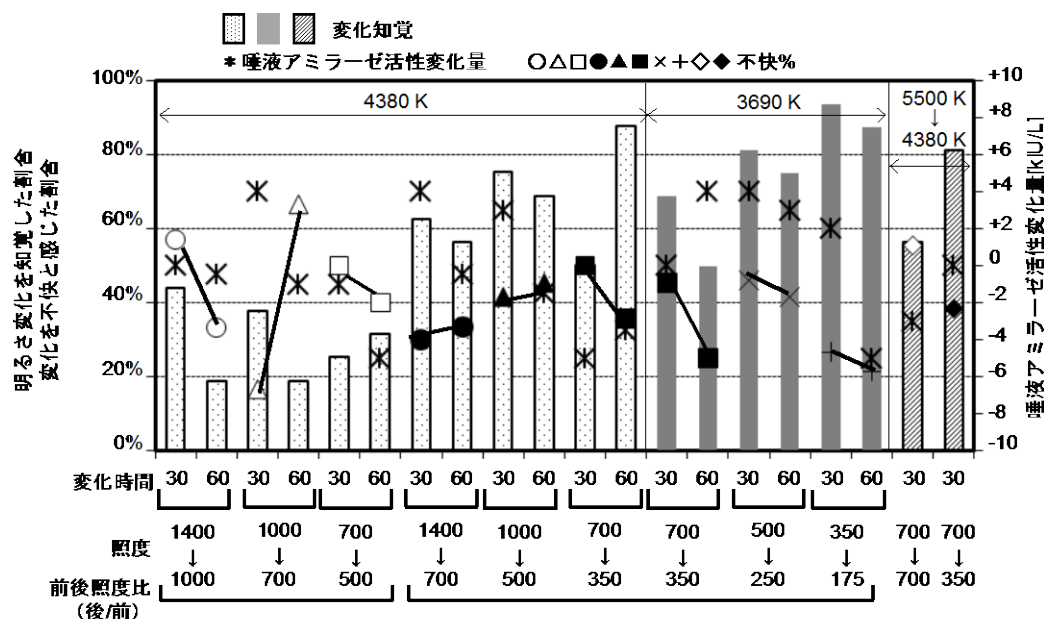


図-10 明るさ変化の知覚と快・不快評価、ストレス指標の変化

じる割合が低く、唾液アミラーゼ活性の変化量も少ない傾向が見られたが、有意な差ではなかった。

4. おわりに

無線による時間帯別制御を行う LED 照明に関して、その概要を示した。また、短時間曝露による被験者実験を行い以下の知見を得た。

- 1) 同じ光環境でも時間帯によって、主観評価に差が確認された。
- 2) 光環境に変化があった場合は、明るさ感に入室前後で差が生じた。
- 3) 前後照度比が小さいほうが知覚割合が高く、変化時間が長いほうが、知覚割合と不快に感じる割合が低い傾向が見られた。
- 4) 唾液アミラーゼについては有意な差は見られなかった。

今後は、窓からの昼光も含めた一日を通した長時間の照明環境の変化と人工照明による照明環境の変化の心理・生理的影響の違いについて、検証を進めていく予定である。

謝辞

本照明システムの開発においては、(株)村田製作所佐藤氏、ウシオライティング(株)斎藤氏に、被験者実験においては千葉工業大学大学院石井氏に、その他多くの方に多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 関川, 川瀬ほか「昼光利用サーカディアン照明の照度条件による知的生産性への影響」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 D-1, p.279-280, 2005.9
- 2) 伊藤, 小山「生体リズムを考慮した最近の医療福祉施設の照明」, 照明学会誌 84(6), p.362-367, 2000.6
- 3) 中野, 山口「唾液アミラーゼによるストレスの評価」, バイオフィードバック研究 38(1), p.3-9, 2011.4