オフィスにおける光環境制御に関する研究

その３　空間の明るさとサーカディアン・リズムに配慮した調光調色制御に関する被験者実験と居住後評価

STUDY ON CONTROL OF THE LIGHTING ENVIRONMENT IN OFFICES

Part 3 Subjective experiment on dimming and color control considering spatial brightness and circadian rhythm, and post-occupancy evaluation of the lighting environment

大島佳保里[*1]，村江行忠[*2]，望月悦子[*3]
Kaori OSHIMA, Yukitada MURAE and Etsuko MOCHIZUKI

This paper reports on the results of a subjective experiment conducted to identify the impact of the lighting environment created by the developed lighting control system on comfort, productivity, and circadian rhythm of the occupants, as well as a post-occupancy evaluation of the light environment created by the developed lighting control system in a real office.
It was suggested that dimming and color control considering the occupants' circadian rhythm may have a positive impact on the occupants' productivity and sleep. In addition, in the post-occupancy evaluation, more than half of the occupants responded positively regarding productivity, work efficiency, health, and comfort.

Keywords : *Lighting environmental control, Spatial brightness, Circadian rhythm, Subjective experiment, Post occupancy evaluation*

光環境制御，空間の明るさ，サーカディアン・リズム，被験者実験，居住後評価

1. はじめに

近年，オフィスでは生産性や快適性のみならず，執務者の健康に配慮した環境が求められている．また，カーボンニュートラルの達成に向け，省エネルギーへの配慮も求められており，いかに少ない消費エネルギーで生産性や快適性，健康などに配慮したオフィス環境を構築するかが課題となっている．

そこで筆者らは，省エネルギーとオフィス執務者の生産性や睡眠に配慮した照明システムを開発した[1)]．本システムは，照明器具の配光が，従来の一般的なオフィス用照明よりも広くなるような器具形状にし，視野内で大きな面積比率を占める壁面や天井面を明るくすることで，少ない消費電力で空間の明るさを確保しつつ，サーカディアン・リズムに配慮した調光調色制御を行う．ここでのサーカディアン・リズムとは，あらゆる生物が持つ約一日周期の生体リズムを意図する．サーカディアン・リズムの周期は，多くのヒトで24時間よりも長いことが知られているが[2)]，光をはじめとする環境因子により，地球の自転の周期である24時間に調整されている[3)]．また，体温や心拍，睡眠ー覚醒のサイクル，生体ホルモンの分泌といったヒトの様々な生理現象は，サーカディアン・リズムに合わせて変動している[3)]．これまで，サーカディアン・リズムに配慮した照明の調光調色制御が，快適性，生産性や睡眠，生体ホルモンなどの生理反応に与える影響については，多くの研究が行われている[例えば4)]．しかし，照明器具の配光の違いによって，快適性や生産性，サーカディアン・リズムへの影響がどのように変化するかは明らかとなっていない．

このような背景のもと，開発した照明システムによる室内の光環境が，オフィス執務者の快適性，生産性およびサーカディアン・リズムに与える影響を検証することを目的に，被験者実験を実施した．本報では，2015年の被験者実験[1)]，2016年の被験者実験[5)]について報告した既報を再構成し，開発した照明器具で照明した空間内の輝度分布の測定結果と，空間の明るさ評価，快適性，作業性・生産性，睡眠，サーカディアン・リズムに関する実験結果を報告する．また，開発した照明システムを採用した事務室での居住後評価の結果も報告する．

2. 照明システム概要[1)]

2.1 制御システム

開発した照明システムの制御には無線通信を採用した．無線 LAN 経由でコントローラーに内蔵されているウェブサーバーにアクセスし，ブラウザ上で調光・調色の設定やスケジュールの登録を行うことが可能である．また，調光可能な２系統（白色5000K，電球色3000K）の LED 照明用電源に対し，それぞれ251段階の出力制御ができ，２系統の出力を組み合わせることで，3000K ～ 5000K の範囲で調色が可能である．さらに，一日当たり最大で16回のスケジューラーアクションが実行でき，照

＊1　戸田建設（株）技術研究所　修士（農学）
＊2　戸田建設（株）技術研究所　工学修士
＊3　千葉工業大学創造工学部建築学科　教授・博士（工学）

Technology Research Institute, TODA CORPORATION, M.Agr.
Technology Research Institute, TODA CORPORATION, M.Eng.
Prof., Dept. of Arch., Faculty of Creative Eng., Chiba Institute of Technology, Dr. Eng

明の出力は時間帯や期間毎に設定することも可能である．

2.2 照明器具

照明器具の断面イメージ図及び器具外観を図 1 に示す．開発した照明器具（図 1 左）は，発光部の下端を天井面より下に設定し，天井面へより光が広がるような形状とした．従来の一般的なシステム天井用の照明器具（図 1 右）と比べ，より光を拡散することによって壁面や天井面を明るくし，机上面は低照度であっても空間の明るさを確保することを目指した．

空間内の輝度分布の測定及び被験者実験には，図 1 に示している開発器具（以下，拡散型器具）と従来器具（以下，下面開放型器具）を使用した．器具の仕様を表 1 に示す．両器具とも調光・調色が可能である．

3. 輝度分布測定

3.1 測定概要

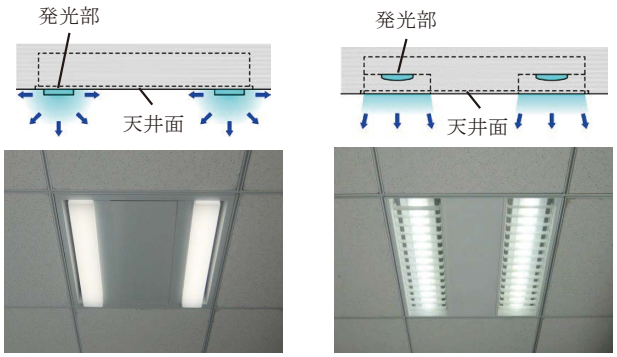
図 2 に測定を行った実験室（約31m^2）の平面図を示す．実験室はオフィス執務室を想定しており，天井照明は 6 台を均等に配置している．室内の内装反射率は，天井面82%，南・東壁面（可動間仕切）81%，西壁面（塗装）84%，床面 4 %である．本実験室で，輝度カメラ（Baumer TXG 13c）を用いて室内北側（図 2 三角）から南向きに輝度分布の測定を行った．なお，測定時は，図 2 に記載のある測定機器（色彩照度計，PMV 計，熱電対，照度ロガー）を撤去した．

表 2 に測定条件と各条件・照明器具の推定光束※注1)，消費電力を示す．赤字の測定条件では，照明器具による輝度分布の違いを確認するため，拡散型器具と下面開放型器具，2 種類の器具を用いて測定を行った．なお，拡散型器具255lx，3200K と下面開放型器具300lx，3200K，拡散型器具370lx，4600K と下面開放型器具500lx，4600K，拡散型器具530lx，4600K と下面開放型器具750lx，4600K は，事前に行った関係者による検証で，空間の明るさが同等であると評価された条件である．

測定した輝度分布より，空間の明るさを決定する主な要因とされる，壁面と天井面の平均輝度を求めた．壁面は方位によって反射率が異なるため，今回は代表値として，東面の壁面平均輝度を求めた．また，天井面は JIS Z 9125 : 2023[6]に従い，光源部を除いて平均輝度を求めた．

3.2 測定結果

図 3 に，表 2 の各測定条件での，壁面と天井面の平均輝度を示す．同じ室中央照度，相関色温度であって



拡散型器具（開発器具）　　下面開放型器具（従来器具）

図 1　照明器具断面イメージ図（上）・外観（下）

表 1　照明器具の仕様

項目	仕様	
	拡散型器具（開発器具）	下面開放型器具（従来器具）
外形寸法［mm］	600×600	
定格光束［lm］	5590	5000
相関色温度［K］	3000–5000	2700–5000
定格消費電力［W］	58	56

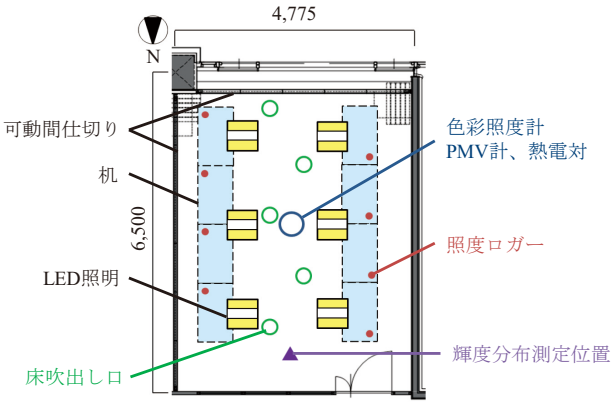


図 2　実験室平面図

表 2　輝度分布測定の条件と推定光束，消費電力

室中央照度［lx］	相関色温度［K］	拡散型器具（推定光束※注1)／消費電力）	下面開放型器具（推定光束※注1)／消費電力）
255	3200	1253lm/13W	–
300	3200	1253lm/13W	1518lm/17W
370	4600	1446lm/15W	–
500	4600	1928lm/20W	1964lm/22W
530	4600	2024lm/21W	–
750	4600	2795lm/29W	2589lm/29W

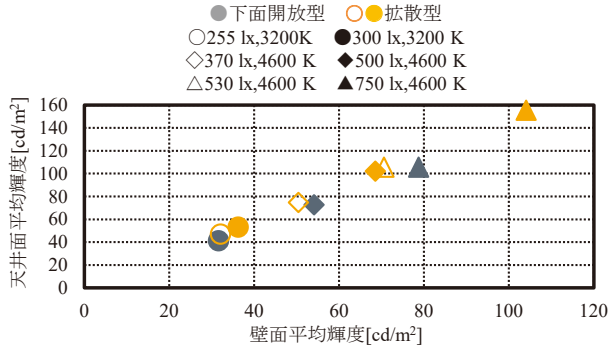


図 3　壁面・天井面平均輝度

も，拡散型器具の方が壁面，天井面の平均輝度が高くなった．また，500lx，4600K の条件は，拡散型器具と下面開放型器具の光束の推定値が同程度であるが，拡散型器具の方が壁面，天井面の平均輝度が高くなった．事前の評価実験で，同程度の空間の明るさであると評価された条件（拡散型器具255lx，3200K と下面開放型器具300lx，3200K，拡散型器具370lx，4600K と下面開放型器具500lx，4600K，拡散型器具530lx，4600K と下面開放型器具750lx，4600K）を比較すると，室中央照度は拡散型器具の方が低いが，壁面や天井面の平均輝度は室中央照度の高い下面開放型と同程度となり，消費電力は拡散型器具の方が小さかった．

以上の結果から，拡散型器具（開発した照明器具）は，下面開放型器具（従来の一般的なオフィス用照明）よりも少ない消費電力で壁面や天井面の平均輝度を高くできることが確認できた．

4. 被験者実験

4.1 実験概要

図 2 に示すオフィスを想定した実験室で，20代の男子学生（2015年：8 名，2016年：6 名）を被験者として実験を実施した．机は西または東の壁向きに着席するよう配置し，2016年の実験では，図 2 の南側の机 2 台を撤去して実験を行った．各席には，モニター画面の白色設定時の輝度（160cd/m^2）を統一したノート PC（富士通 FMVA05001）を設置した．また，被験者の着衣量を夏季は0.55clo，冬季は1.10clo，実験中の活動量は1.1METs（着席や非常に軽い作業）と想定し，実験室内の予測温冷感申告（PMV）が0±0.5となるよう，室温を調節した．

表 3 に実験条件を示す．2015年に実施した case0～6 は，各条件 1 日（夏季）または 2 日（夏季と冬季），2016年に実施した case1’，7，8（表 3 赤字 case）は，サーカディアン・リズムに対する照明の効果が数日後に現れるとされている[7]ことから，各条件 3 日間連続で実験を行った．case0，1，1’，7 は照度，相関色温度ともに終日一定とし，case2～6, 8は，サーカディアン・リズムに配慮し，一日を通して調光調色制御を行った．case6，8 では，昼休憩時に消費電力削減のため照度を低くし，昼休憩後30分は，覚醒を促すため照度・相関色温度を高くした．なお，参考値として，室中央の机上面照度より求めた積算曝露照度を記載している．

一例として，図 4 に2016年の実験スケジュールを示す．被験者は，9 時から17時の間，実験室に滞在してノート PC を使用したタスク（単語分類[8]20分，四則演算20分，テキストタイピング20分，マインドマップ60分）を一日 3 回（120分／回）行い，タスクの前後に室内環境や作業性に関する紙面アンケートに回答した．また，実験期間中，ねむり時間計（OMRON HSL-002C）による睡眠時間の記録や，睡眠の主観評価アンケート，ウエアラブルデバイス（Fitbit HR）による心拍数の測定，

表 3　被験者実験条件

Case	日程	器具	開口率	室中央照度，相関色温度（スケジュール順）	積算曝露照度［lx・h］	消費電力量［Wh］
0	8/24 12/23	下面開放型	0 %	750lx, 4600K	6000	232
1	8/25 12/24	下面開放型	0 %	500lx, 4600K	4000	176
2	8/26	下面開放型	0 %	750lx, 4600K 475lx, 3700K 300lx, 3200K	4000	172
3	8/28	下面開放型	0 %	1000lx, 5000K 550lx, 4000K 300lx, 3200K 200lx, 3000K	4000	175
4	8/27（曇）	下面開放型	17%	750lx, 4600K 475lx, 3700K 300lx, 3200K	4000＋昼光（2400）	172
5	12/25	拡散型	0 %	530lx, 4600K 390lx, 3700K 255lx, 3500K	3130	140
6	12/26	拡散型	0 %	530lx, 4600K 390lx, 3700K 255lx, 3500K 530lx, 4600K 390lx, 3700K 255lx, 3500K	3100	138
1’	8/30–9/1	下面開放型	0 %	500lx, 4600K	4000	176
7	9/5–9/7	拡散型	0 %	370lx, 4600K	2960	152
8	9/12–9/14	拡散型	0 %	530lx, 4600K 390lx, 3700K 253lx, 3500K 530lx, 4600K 390lx, 3700K 300lx, 3500K	3187	157.5

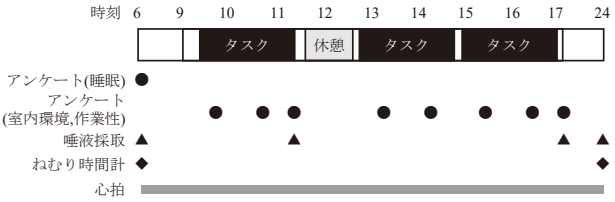


図 4　2016 年実験スケジュール

採取した唾液中のコルチゾール，メラトニン濃度の測定（case1’，8 のみ）を行った．

4.2 実験結果

(1) 空間の明るさ評価と快適性（2015年実験結果）

図 5 に，2015年の実験（case0～6）の照明条件について，室全体の明るさ評価の結果を示す．照度が高くなるほど，明るい側の評価割合が高くなった．また，事前の検証で空間の明るさが同等だと評価された拡散型器具530lx，4600K と下面開放型器具750lx，4600K は，明るい側の評価割合がほぼ同じとなった．

図 6 に，2015年の実験（case0～6）の照明条件につい

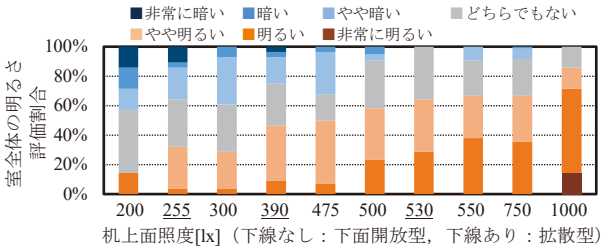


図５　各条件での明るさ評価（参考文献[1]より引用，一部改変）

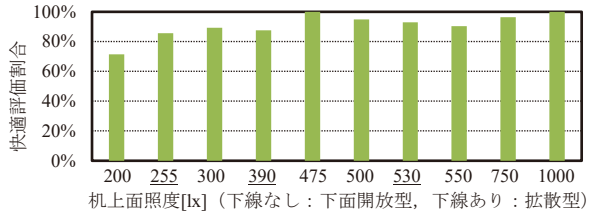


図６　各条件での光環境快適評価割合

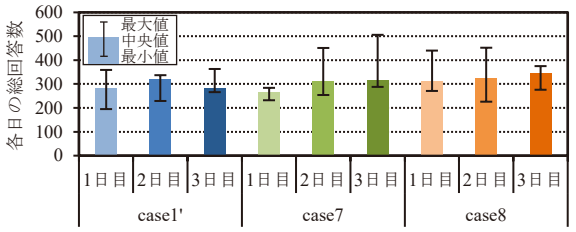


図７　単語分類 総正答数（参考文献[5]より引用）

て，実験時の執務室としての快適性について，快適と評価した割合を示す．全条件で７割以上が，執務室の光環境として快適と評価した．また，事前の検証で空間の明るさが同等だと評価された拡散型器具530lx，4600K と下面開放型器具750lx，4600K は，快適と評価した割合がほぼ同じとなった．

(2) 作業性・生産性（2016年実験結果）

図７に，2016年の実験（case1’，７，８）で実施した，単語分類の一日の総正答数を示す．拡散型器具を使用した case8では，日を追うごとに総正答数が増加する傾向が見られた．照度・相関色温度が終日一定で，事前の評価実験にて空間の明るさが同等であると評価された case1’（500lx，4600K）と case7（370lx，4600K）を比べると，総正答数に大きな差は見られなかった．机上面照度が低くても，空間の明るさを確保できていれば，作業性は低下しない可能性があることが示された．また，各 case の３日目の総正答数に着目すると，有意な差は見られなかったものの，照度・相関色温度が一定の case1’，７と比べ，照度・相関色温度を変化させた case8で総正答数が多くなった．時間帯によって照度・相関色温度を変化させる環境に数日曝露されることで，執務者の作業性が向上する可能性が示唆された．

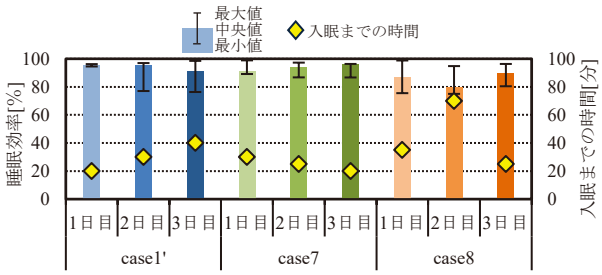


図８　睡眠効率と入眠までの時間（参考文献[5]より引用）

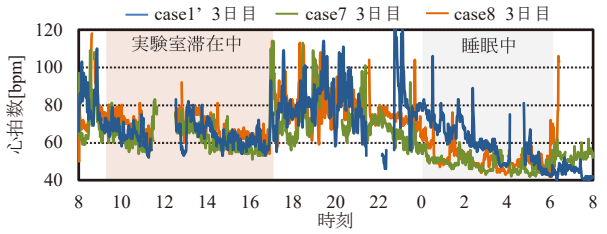


図９　心拍数の変化（被験者 F）（参考文献[5]より引用，一部改変）

(3) 睡眠・サーカディアン・リズム（2016年実験結果）

図８に，2016年の実験（case1’，７，８）における，各日の睡眠効率と入眠までの時間を示す．なお，欠測のあった被験者１名のデータは除いた．下面開放型器具を用いた case1’は，日を追うごとに入眠までの時間が長くなり，３日目で睡眠効率が最も低下した．拡散型器具を用いた case7，8は３日目で入眠までの時間が最も短くなり，また，睡眠効率は高くなった．case 8は，case1’，７と比べ睡眠効率が低くなったが，就床前の寝室の照度が他の条件と比べて高かった[5]ことが影響している可能性がある．

図９に欠測のなかった被験者 F について，case1’，７，８の３日目における心拍数の推移を示す．一般的に心拍数は，交感神経優位の状態（覚醒状態）では高くなり，副交感神経優位の状態（リラックス状態）では低くなることが知られている．各条件，日中は心拍数が高く，睡眠中は心拍数が低くなる，サーカディアン・リズムが見られた．また，照度・相関色温度が終日一定の case1’，７と比べ，照度・相関色温度を変化させた case8では，実験中の心拍数が高く，睡眠中の心拍数が低い傾向が見られた．

4.3 被験者実験総括

被験者実験の結果より，机上面照度が低い場合でも，壁面や天井面の輝度を同程度にすることで空間の明るさは確保され，PC 作業の作業性や光環境の快適性は低下しないことがわかった．また，サーカディアン・リズムに配慮し，一日を通して照度・相関色温度を変化させる光環境に数日曝露させることで，被験者の作業性の向上や，睡眠効率に良い影響をもたらす可能性が示唆された．

5. 居住後評価

開発した照明システムを導入したオフィスの居住後評価を行うため，光環境などに関する調査を行った．

5.1 調査概要

調査は，2019年12月16日～12月20日の 5 日間，埼玉県狭山市にある N ビル（地上 4 階，延床面積約7800m²，2019年 3 月竣工）の 3 階事務室で行った．図10に，事務室の平面図を示す．事務室には，開発した照明システムを採用しており，明るさセンサによる調光制御と，サーカディアン・リズムに配慮した調光調色制御を行っている．表 4 に，照明制御のスケジュールを示す．明るさセンサの調整を入居前に行ったため，目標照度は床面を基準としている．原則，各時間帯の開始時刻に照明制御信号を送信しているが，運用の都合上，8 時30分，9 時，9 時30分には，8 時と同じ照明制御信号を送信している．また，南西面にある腰窓には外ブラインドが設置されており，天候と太陽方位・高度に応じた自動制御を行っている．

机上面照度（11か所，図10赤丸）は，机の上に小型データロガー（T&D RTR-574）を設置し，1 分間隔で測定した．また，北東側（図10青三角）から南西面（窓面）に向かって，輝度カメラ（カメラ:Canon EOS 70D，レンズ:SIGMA 4.5mm F2.8 EX DC CIRCULAR FISHEYE HSM）を使用し，室内の輝度分布（1 日 4 回（10，12，14，16 時））を測定した．測定した輝度分布より，壁面と天井面の平均輝度を求めた．JIS Z 9125 : 2023[6]に従い，壁面は壁沿いの什器を含め，天井面は光源部を除いて平均輝度を求めた．

また，表 5 に示す項目について，事務室の執務者を対象に紙面によるアンケートを実施した．執務者には，調査期間中にアンケートに答えるよう依頼し，20～60代の41名（男性22名，女性15名，未回答 4 名）がアンケートに回答した．

5.2 調査結果

(1) 机上面照度と平均輝度

既報[9]で測定した外部の南西面鉛直日射量から，2 日間（12月17日，19日）を曇天日，その他の日は晴天日と判断した．図11に，各天候の代表日における，机上面照度の測定結果（図10の赤丸 2，6，8 のみ）を示す．晴天日の午前中は窓際（図11赤線）と室奥（図11青線）で大きな照度差が見られるが，午後はブラインドの自動制御による太陽位置，方位に応じた日射遮蔽が行われ，窓際と室奥の照度差が午前と比べ小さくなった．一方，曇天日は，昼光の入射がほとんどなかったため，天井照明による照度が主となり，窓際と室奥の照度差は小さくなった．

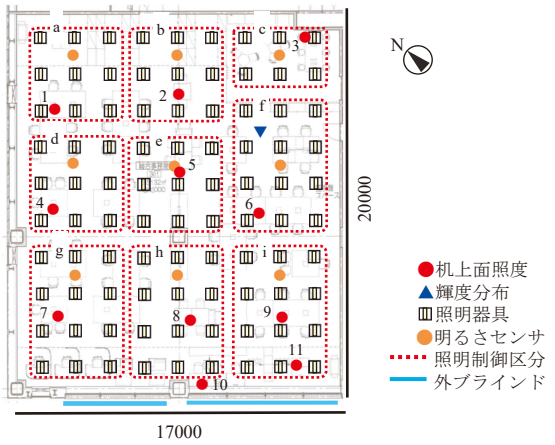


図 10　事務室平面図

表 4　照明制御スケジュール

時間帯	目標照度（床面）[lx]	相関色温度 [K]	目標調光率 [%]
8:00–11:00	750	5000	100
11:00–12:00	640	4500	85
12:00–13:00	400	3000	40
13:00–13:30	750	5000	100
13:30–15:00	640	4500	85
15:00–19:00	450	4000	60

表 5　アンケート項目

	項目
光環境	室内の光の印象：明るさ，光の色（午前中（10時ころ），午後（14時ころ），夕方（17時ころ）） 快適性，不快の要因（不快と回答した場合のみ）
作業性・生産性	目の疲労（旧事務室との比較） 光環境の生産性・作業性への影響
睡眠・健康	睡眠の質（旧事務室との比較） 光環境の健康への影響

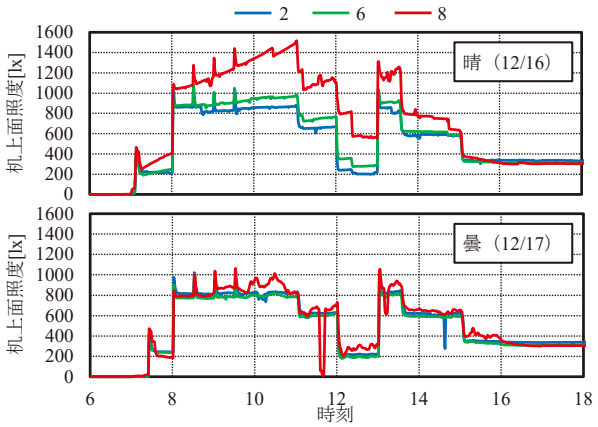


図 11　晴天日と曇天日の机上面照度

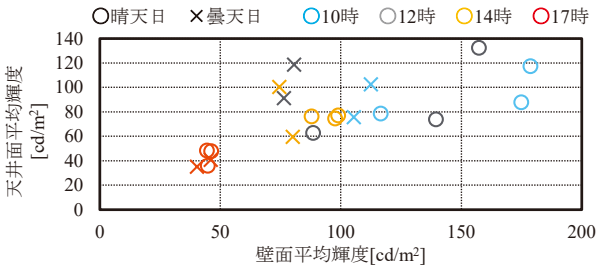


図 12　壁面・天井面平均輝度

図12に，壁面と天井面の平均輝度を示す．10時，12時は壁面，天井面共に平均輝度が高く，晴天日と曇天日の平均輝度の差が大きくなっていた．14時は，10時，12時の曇天時と同程度の壁面、天井面平均輝度となった．図11の机上面照度の測定結果より，午前中は昼光が室内に入ってきていたと推察される．そのため，午前中は入射した昼光がブラインドのスラットに反射して室内に入り，壁面や天井面の平均輝度が高くなっていたと考えられる．午後は，太陽高度が低いため，ブラインドのスラットが閉じており，昼光が室内に入らず，壁面や天井面の平均輝度は午前中ほど高くならなかったと考えられる．日没時刻（16時30分ころ）に近い16時は，他の時間帯と比べると，壁面も天井面も平均輝度は低く，晴天日と曇天日でほとんど差がなかった．なお，測定した時間帯においては，壁面，天井面の平均輝度はJIS Z 9125：2023の基準値（壁面30cd/m^2，天井面20cd/m^2）[6]を超えていた．

（2）各時間帯における室内の明るさ・光の色の印象

図13に，各時間帯における室内の明るさの印象についての回答結果を示す．時間がたつにつれ，暗すぎると回答する割合が高くなり，夕方（17時ころ）は約5割が暗すぎると回答していた．

図14に，各時間帯における室内の光の色の印象についての回答結果を示す．午前中と午後は約9割がちょうど良いと回答していたが，夕方は約3割が黄色すぎると回答していた．4章の被験者実験で調光調色制御を行っていた条件（夕方は3000～3500K）よりも少し高い相関色温度（4000K）に設定していたが，4000Kでも黄色すぎると感じる執務者が一定数いることがわかった．

（3）目の疲労・睡眠の質（旧事務室との比較）

図15に，旧事務室と比較した際の，目の疲労の頻度についての回答結果を示す．約4割が変わらない，約3割がわからないと回答したが，減ったと回答した人も2割いた．

図16に，旧事務室と比較した際の，睡眠の質についての回答結果を示す．約4割がわからない，約5割が変わらないと回答したが，改善されたと回答した人も1割いた．なお，悪化したと回答した人はいなかった．

（4）光環境の影響

図17に，光環境が生産性・作業性や健康に良い影響を与えているかに関する回答の結果を示す．生産性・作業性，健康，どちらも約6割がそう思う，またはどちらかといえばそう思うと回答していた．調光調色の照明システムに対して，肯定的な印象を持っている人が半数以上いることを確認できた．

（5）快適性評価

図18に事務室の光環境としての快適性評価，図19に不快の要因の回答結果を示す．約6割は快適と回答したが，約4割は不快と回答した．不快の要因として，手元の暗さを挙げる人が一番多かった．図11の机上面照度の結果を見ると，夕方以降は，事務所衛生基準規則[10]の

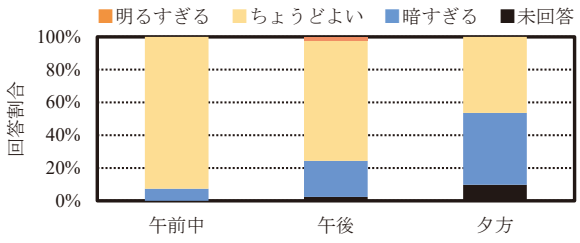


図 13　室内の明るさの印象

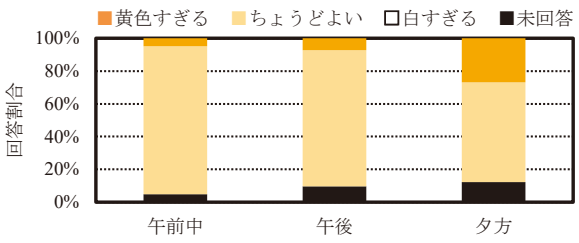


図 14　室内の光の色の印象

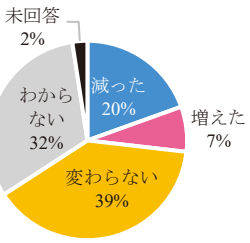


図 15　目の疲労
（旧事務室との比較）

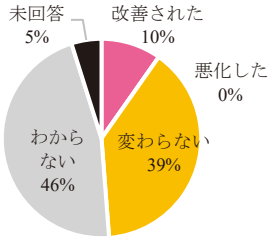


図 16　睡眠の質
（旧事務室との比較）

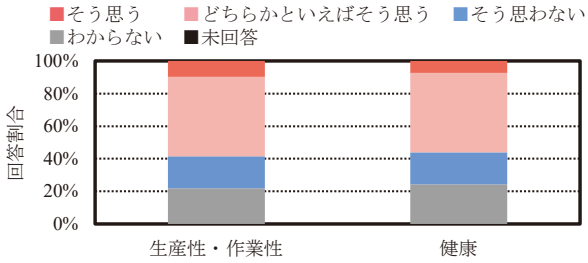


図 17　光環境の影響

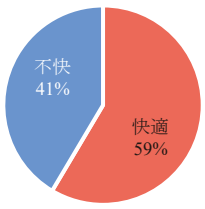


図 18　事務室の光環境としての快適性評価

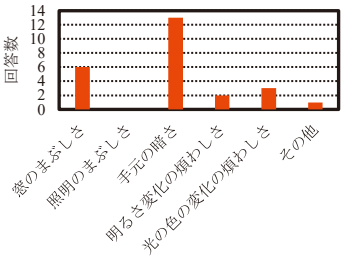


図 19　不快の要因
（n＝17）

一般的な事務作業の基準値である300lx を下回る場所があった．また，夕方以降の調光率は，照明制御の範囲の最低値となっていた[11]．その他，窓のまぶしさも不快の要因として挙げられており，明るさセンサによる照明制御やブラインド制御との連動に課題があると考えられた．

調査後，JIS Z 9110[12),13)]における，事務室の推奨照度の照度範囲の最低値500lx を下回らないよう，明るさセンサの調整や照明制御スケジュールの見直しを行い，再度調査を行っている[14)]．

5.3 調査総括

開発した照明システムを採用した事務室での机上面照度，壁面・天井面平均輝度の測定結果より，日中は概ねJIS Z 9125：2023[6)]の基準を満たす環境を構築できていることを確認できた．

事務室の執務者を対象にしたアンケートでは，明るさセンサによる照明制御やブラインド制御との連動に課題はあるものの，生産性・作業性や健康については，半数以上の執務者から肯定的な回答が得られた．また，約 6 割の執務者が照明システムによる光環境を快適と回答した．

6. おわりに

本報では，開発した照明システムによる光環境が，オフィス執務者の快適性，生産性およびサーカディアン・リズムに与える影響を明らかにすることを目的に実施した被験者実験と，外ブラインドが設置されているオフィスに採用した照明システムの居住後評価の結果について報告した．被験者実験より，サーカディアン・リズムに配慮した調光調色制御を行うことで，生産性や睡眠によい影響をもたらす可能性が示唆された．また，居住後評価では，生産性・作業性や健康，快適性について，半数以上の執務者から肯定的な回答を得た．

なお，開発した照明システムは，筑波技術研究所のグリーンオフィス棟などに採用した．また，省エネルギーと空間の明るさの確保の両立，サーカディアン・リズムに配慮した照明制御といったコンセプトを受け継ぎながら，無線制御システムの変更や照明器具のデザインの改良を行い，そのシステムを，TODA BUILDING の一部のフロアに採用している．今後は，グリーンオフィス棟や TODA BUILDING での光環境の測定や居住後評価を行っていきたい．

謝辞

照明システムの開発には，（株）村田製作所，コイズミ照明（株），被験者実験には千葉工業大学望月研究室の他，多くの方にご協力いただいた．また，居住後評価の調査には，（株）ニチレイバイオサイエンスの方々にご協力いただいた．記して謝意を表す．

注釈

1）測定で使用した 2 種類の器具は，どちらも LED（白色，電球色）の調光レベルと消費電力が概ね比例関係にあった．また，LED の場合，一般的に調光レベルと光束は比例関係にある．これらのことから，光束と消費電力も比例関係にあると仮定し，固有エネルギー消費効率［lm/W］（定格光束［lm］÷定格消費電力［W］）×各条件の消費電力［W］で各条件の推定光束を計算した．なお，白色 LED と電球色 LED が同じエネルギー消費効率であるとは限らないため，同じ消費電力であっても，相関色温度が異なれば光束も異なる可能性はあるが，今回は相関色温度の違いを考慮した計算はしていない．

参考文献

1）大島他：「オフィスにおける光環境制御に関する研究 その1 明るさ感とサーカディアン・リズムを考慮した調光調色制御に関する被験者実験」，戸田建設株式会社技術研究報告，第42号，pp.1-1-1-6，2016.11

2）C. A. Czeisler *et. al.*:「Stability, Precision, and Near-24-Hour Period of the Human Circadian Pacemaker」，Science，284，pp. 2.177–2181，1999

3）樋口と李：「光のサーカディアンリズムとメラトニン分泌への作用の個人差（＜特集＞光のサーカディアンリズムへの影響を考慮した夜間屋内照明）」，照明学会誌，第99巻，1号，pp.20–24，2015

4）榎本他：「プロダクティビティ改善のための照明制御に関する実験研究」，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007，2007

5）大島他：「オフィスにおける光環境制御に関する研究（その 2）明るさ感とサーカディアン・リズムを考慮した調光調色制御に関する被験者実験」，戸田建設株式会社技術研究報告，第43号，pp.2-1-2-5，2017.11

6）JIS Z 9125：2023：屋内照明基準，日本規格協会，2023

7）関川他：「昼光利用サーカディアン照明の実効性」，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学 D-1，pp.279–280，2005.7

8）内山他：「知的生産性評価のための集中指標算出ツールの開発」，ヒューマンインタフェース学会論文誌，pp.29–40，2014

9）浅野他：「外ブラインドを採用したオフィスの環境評価　その 1 外ブラインド自動制御による空調省エネルギー効果に関する測定」，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学 I，pp.1261–1262，2020.9

10）事務所衛生基準規則，厚生労働省，2022.12（改訂）

11）大島他：「外ブラインドを採用したオフィスの環境評価　その 3 昼光に着目したオフィス環境評価」，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学 I，pp.1265–1266，2020.9

12）JIS Z 9110：2010：照明基準総則，日本規格協会，2010

13）JIS Z 9110：2011：照明基準総則（追補 1），日本規格協会，2011

14）大島他：「外ブラインドを採用したオフィスの環境評価　その 4 照明制御設定変更後のオフィス環境評価」，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学 I，pp.461–462，2021.7