パーソナル・スイッチによるアンビエント照明の個別制御が オフィス執務者の視環境・省エネルギーに与える影響に関する研究

EFFECTS OF INDIVIDUAL CONTROL OF AMBIENT LIGHTING WITH PERSONAL SWITCH ON THE OCCUPANTS' VISUAL ENVIRONMENT AND ENERGY SAVING

望月悦子*, 金 政 秀**

Etsuko MOCHIZUKI and Jeongsoo KIM

In this study, field measurements were conducted to identify the effects of the ambient lighting control system using personal switch on energy saving and the occupants' visual comfort in a real office space. Three types of the switch for ambient lighting were tested. From the results of the measurements, the electrical power use for lighting after introducing the system was almost halved compared with that before introducing the system. However, it was also identified that the occupants seldom switched on/off during the working hours, even in the cases when the brightness in the task area was not insufficient or when the occupants left their seats. One of the reasons why the occupants seldom switched off each ambient lighting was because they felt fear for the effects on the surrounding lighting environment by their control. In addition, it was identified that the quick response of the switch is also important for the occupants' satisfaction. The results showed that the number of the occupants who could switch on/off the same ambient lighting should be minimized to promote individual ambient lighting control.

Keywords: *Lighting control, Energy conservation, Occupancy rate, Field measurement, Questionnaire survey*

照明制御, 省エネルギー, 着席率, 実測調査, アンケート調査

1. はじめに

1.1 研究の背景

従来の国内の事務所・事務室の照明計画は、JIS Z 9110:2010 照明基準総則³⁾に記される推奨照度(500~1,000lx)を基準に、空間全体に照明器具を均等配置する方式が一般的であった。オフィス照明の一次エネルギー消費量は運用エネルギー全体の約20%を占めるといふ統計データも報告されており⁴⁾⁵⁾、照明用エネルギー削減の重要性はこれまでも指摘されてきた^{例えば6)7)}。さらに、2011年3月に発生した東日本大震災を起因とする全国的な供給電力不足は、建築物に係るエネルギー消費量の削減要請をより一層強固なものとした。当時、喫緊の節電対策として多く実施された間引き点灯や点灯/消灯のスケジュール管理は、従来の照明消費電力を半分に以下にできることを示したが、空間の使用状況に配慮しない一律的な間引き点灯による視環境の質の低下や執務者の健康・作業効率への影響も懸念された⁸⁾。経済産業省からは2020年までに新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均でZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)化することも目標として掲げられており⁹⁾、空間的・時間的な不均一や変動を積極的に用いる省エネルギー照明手法の確立が求められている¹⁰⁾。

1.2 先行研究

2030年のZEB達成に向けて、近年オフィスビルでも様々な省エネルギー化の取り組みが行われている。照明に関しては、昼光利用やタスク・アンビエント照明方式(以下、TALと記す)の採用によって、日中は2W/m²未満を達成した事例もある^{例えば11)12)}。しかし、これらは自社ビルでの実証事例であり、現在の日本では賃貸専用ビルが68.2%、賃貸と自社兼用ビルが29.3%と、テナントビルの割合が圧倒的に多い¹³⁾。テナントビルでは、照明用電力の費用をテナント側が負担する場合が多いこともあり、自社ビルよりも昼光利用等による照明消費電力削減に積極的でないと調査報告もある¹⁴⁾。また、テナントオフィスでは、家具レイアウトが決まっていなかった段階でのタスク照明の計画が困難であること¹⁴⁾、タスク照明とアンビエント照明とでは工事区分が異なり、タスク照明はビル側が所有する設備として導入することが難しく、個々のテナントがタスク照明設置にかかる費用を負担する必要があるなど、資産管理上の所在区分の違いもあり、TALの日本における普及率はまだ低い¹⁵⁾。

これら以外にも、在席検知制御や明るさセンサによる自動点滅制御、自動調光制御なども省エネルギー効果があるとされているが¹⁶⁾、制御対象範囲内の執務者が不在であっても、周辺で人の往来が頻繁

* 千葉工業大学創造工学部建築学科 教授・博士(工学)

** 武蔵野大学工学部建築デザイン学科 准教授・博士(工学)

Prof., Chiba Institute of Technology, Dr.Eng.
Assoc. Prof., Musashino University, Dr.Eng.

な場合は、消灯判断に至るまでの時間が十分に確保されず消灯されないなど、想定した省エネルギー効果が得られない場合があることも報告されている¹⁷⁾。

以上のような日本のオフィスの現状を鑑みると、従前の均等配置の全般照明方式でも確実に照明消費電力を減らす仕組みを確立することが急務であると言える。三木らは、ユーザ各人が好みの照度・色温度を事前に選定し、アンビエント照明を個別に自動制御するシステムの構築を進めている¹⁸⁾。数名程度が居住するオフィスを想定した実験室における被験者実験で、オフィス執務に最適な照度・色温度の範囲も検討しているが、好まれる照度・色温度には個人間差、個人内差が大きいことを示している¹⁹⁾。実際のオフィスでは、執務者各人がその時々で好む光環境に調整できるようにすることが、自己効力感による快適性と消費エネルギー削減の両立につながる可能性もある²⁰⁾。一方で、一般のユーザには色温度などの数値に対する理解が難しいこと、インターフェースによっては調光・調色の際、誤動作を招く可能性もあることなど、ユーザ自身による調光・調色制御の難しさも指摘されている²¹⁾。

1.3 本研究の目的

本研究では、節電対策中の天井照明器具の間引き点灯の発展形として、執務者が各人の判断に基づき手動でアンビエント照明の点灯/消灯を行えるようにすることで、視的快適性を担保した上で照明消費電力がどこまで削減可能か、実際のオフィスの環境にて検証することとした。執務者個人の判断に基づく照明の個別手動制御（今回は点灯/消灯のみ）の実運用上の課題を明確にしておくことで、逐次変化する執務者各人の執務内容や嗜好、座席周辺の光環境に臨機応変に対応可能な新たなオフィス照明手法の展開にもつながるものと考ええる。

2. アンビエント照明の個別制御に関する実測調査

執務者が適時手元で任意に自席周辺のアンビエント照明を点灯/消灯できるようにするため、各机にアンビエント照明用のスイッチ（以下、パーソナル・スイッチと記す）を設置した。はじめに、パーソナル・スイッチによるアンビエント照明の個別制御（以下、個別制御システムと記す）の運用実態の把握ならびに課題抽出を目的に試行的運用段階にて実測調査を行った。

2.1 調査方法

2.1.1 調査対象エリアと照明システム概要

調査は東京都中央区にあるSタワー6階の246名（業務内容は管理、業務、営業、設計等）が執務するテナントエリアで行った。Fig.1に平面図を示す。調査対象はセンターコアを除く執務エリア（床面積1,021 m²、天井高2,550 mm、反射率：壁 約60%、天井 約70%、床 約20%）とした（以下、調査対象エリアと記す）。調査対象エリアは柱を除いて全面がベネシャンブラインドを有する窓（窓高2,070 mm）に面している。調査対象エリアには、32WのHf蛍光灯2灯用器具（埋込開放型、発光面のサイズ320 mm×1,250 mm）が計195台均等に設置されている。個別制御システム導入前は、調査対象エリアの机上面照度が平均約550 lxとなるよう天井に設置された照度センサにより調光制御されていた。また、出入口付近の壁面にある片切スイッチにより、複数台をまとめて一括で点灯/消灯することが可能で、昼休みには手動で一斉消灯していた。また、必要に

じてタスク照明（連続調光機能付デスクスタンド SQ845B、消費電力27W）を設置していた。

個別制御システム導入後は、調査対象エリアを4つに区分し、調査対象エリアごとに種類の異なるパーソナル・スイッチを各机に設置した。照度センサによる調光制御は停止させ、各執務者のパーソナル・スイッチと壁面の片切りスイッチでのみ点灯/消灯されるよう

Fig.1 Plan of the measured office space [N0-SCALE]

Fig.2 Combination of the number of the occupants who can control ambient lighting and the controllable number of the luminaire in each measurement area

Fig.3 Switch for ambient lighting used in each measurement area

Fig.4 PC screen when using the application (Left) and observation scenery (Right)

にした。執務者は自身の判断で自席周辺のアンビエント照明をパーソナル・スイッチで点灯/消灯する。各執務者が点灯/消灯するアンビエント照明は 70%出力で、点灯した執務者の机上面照度が約 550 lx となるよう割り当てを決めた。執務者 1 人あたりパーソナル・スイッチで点灯/消灯できるアンビエント照明は最大 3 台とした。同一の照明器具が複数の執務者の作業領域に相当の光束を供給する場合もあるため、アンビエント照明 1 台につき執務者 1~4 人で点灯/消灯することとなった。Fig.2 に各調査対象エリアの執務者が点灯/消灯可能なアンビエント照明の台数内訳を示す。割り当てられたアンビエント照明を一人で点灯/消灯できる割合は、調査対象エリア A で 59%、B で 49%、C で 32%、D で 36%で、それ以外は複数名で一台あるいは複数台のアンビエント照明を複数名で点灯/消灯するようになっている。今回の調査に用いたパーソナル・スイッチは 3 種類である。無線操作が可能なワイヤレス方式スイッチ（調査対象エリア A、D）、各机に配置してある IP 電話にアンビエント照明制御用のボタン機能を追加した電話操作方式スイッチ（調査対象エリア B）、スイッチを押す力で発電し通信する自己発電方式スイッチ（調査対象エリア C）の 3 種類である（Fig.3）。個別制御システム導入後も、昼休みは壁面の片切りスイッチで一斉に消灯したが、昼休み終了後は一斉点灯せずに、執務者各人の判断に基づきパーソナル・スイッチで点灯した。Table1 に個別制御システム導入前後での照明の点灯/消灯方法の変化をまとめる。

2.1.2 調査期間

個別制御システム導入前（2012 年 6 月 11 日（月）~15 日（金））、導入後（2012 年 7 月 17 日（火）~20 日（金））の二期間に渡り調査した。ただし、アンビエント照明の消費電力は、2012 年 6 月 11 日

Table1 Changes in the ambient lighting control

	Working hours (a.m.)	Noon recess	Working hours (p.m.)	Leaving office
Before installing the system	Automatic control with illuminance sensor	Turn off all ambient lighting	Automatic control with illuminance sensor	Turn off all ambient lighting
After installing the system	Individual control with personal switch	with wall light switch	Individual control with personal switch	with wall light switch

Table2 The number of the observed seats via webcam

Measurement area	Duties	Floor area	Num. of luminaires (m ²)	Num. of occupants (observed seats via Web cam)
A	Design	179 m ²	33(0.18)	42(27:64%)
B	Design/Sales/Engineering	342 m ²	65(0.19)	82(52:63%)
C	Administration	203 m ²	41(0.20)	39(22:56%)
D	Sales/Engineering	297 m ²	56(0.19)	80(40:50%)
Total		1,021 m ²	195(0.19)	243(141:58%)

Table3 Questionnaire of the lighting environment

Question	Content	Evaluation scale
1	Age/Sex/Response date	
2	Brightness on the desk	Very bright/Bright/Slightly bright/Neutral/Slightly dark/Dark/Very dark
3	Satisfaction with the lighting environment in task area	Very satisfied/Satisfied/Slightly satisfied/Neutral/Slightly dissatisfied/Dissatisfied/Very dissatisfied
3'	Reasons why dissatisfied with the task area	Free description
4	Brightness in the whole working environment	Same as Q3
5	Satisfaction with the lighting environment in the whole working environment	Same as Q4
5'	Reasons why dissatisfied with the working area	Free description

以降、12 月末まで連続で計測した。

2.1.3 調査内容

アンビエント照明の消費電力（BEMS データ、1 分間隔）、タスク照明の消費電力（大崎電気工業製ワットチェッカー-MWC-01、1 分間隔）、水平面照度（パソコンやタスク照明の影響を受けないよう床上 1,300mm、Fig.1 中の●24 箇所計測、HIOKI3640、1 分間隔）、窓鉛直面照度（Fig.1 中の▲2 箇所、ブラインド面の室内側で測定、HIOKI3640、1 分間隔）、執務者の着席状況^{注1}を別室から Web カメラを通じて目視で確認し、執務空間の光環境とパーソナル・スイッチの操作性に関する主観評価アンケートを実施した。

執務者の着席状況を確認するための Web カメラは、執務に影響しないようテナント管理者と協議の上、調査対象エリアに 6 台配置した（Fig.1 中×）。結果、調査対象エリアにある全座席の約 58%の座席（141 席）の映像を映し出すことができた。アンビエント照明が一斉消灯される昼休み（12~13 時）を除く 9 時~18 時の間、各執務者の着席/離席状況を別室で映し出した映像から目視で確認、5 秒間隔で記録した。着席状況の確認・記録は 3 名で行い、1 名あたり 2 台の Web カメラで映し出される 40~50 名の着席/離席状況を確認・記録した（Fig.4 右）。Table2 に各調査対象エリアにおける執務内容と、Web カメラで状況を確認できた座席数をまとめる。確認できた座席数は全調査対象エリアの約 6 割（243 席のうち 141 席）であったが、調査対象エリアや業務内容による偏りが生じないよう、Web カメラに映し出す範囲を調整した（各調査対象エリアで 50%以上を確保）。なお、各執務者の着席/離席のタイミングをリアルタイムで記録するために入力データを自動で集計できるアプリケーションを作成した（Fig.4 左）。執務空間の光環境は、Table3 に示す項目について、個別制御システム導入後の調査期間中の晴天日中、曇天日中、夜間の 3 つの状況についてそれぞれ評価を依頼した。パーソナル・スイッチの操作性は個別制御システム導入後に Table4 に示す項目について評価を依頼した。

Table4 Questionnaire of usage of the switch for ambient lighting

	Question	Content	Evaluation scale
Usage of switch	1	Type of switch	Push-button/Push-button with self-generator/Telephone
	2	Can you use when you wish?	Yes/No
	3	Size	Suitable/Not suitable
	4	Easiness to push the button	Easy/Not easy/Neither
	5	Response of the switch	Fast/Moderate/Late
	6	Satisfaction with the switch	Satisfied/Slightly satisfied/Neutral/Slightly dissatisfied/Dissatisfied
Timing of light on/off	7	Switch on the ambient lighting at attendance	Always on/Not switch on/ Depending on the situation
	8	Switch off the ambient lighting when leaving	Always off/Depending on the situation/Sometimes/Not switch off
	8'	Duration when switch off the ambient lighting	Free description (about X minutes)
	8''	Reasons why not switch off when leaving	Choose from 10 items (Multiple answers)+ Free description
	9	Do you control the ambient lighting when seated?	Yes/No
Individual control	10	Switch off when going home	Yes/No/Depending on the situation
	11	Necessity of the individual ambient lighting control	Necessary/Unnecessary/Neither
	12	Reasons to prevent control of the ambient lighting	Choose from 7 items (Multiple answers)+ Free description
	13	How do you feel the ambient lighting control by the other occupant?	Choose from 7 items (Multiple answers)+ Free description

Fig. 5 Changes over time of power consumption for ambient lighting (9:00-18:00)

2.2 調査結果

2.2.1 アンビエント照明の消費電力量削減効果

Fig.5 に勤務時間中（昼休みを除く 9 時～18 時）の全調査対象エリアのアンビエント照明の消費電力量の推移を示す。個別制御システム導入前の測定期間中平日 5 日間の平均照明消費電力量は約 158 Wh/m²（昼休みを除く 9 時～18 時）であったのに対し、個別制御システム導入後の測定期間中平日 4 日間の平均照明消費電力量は約 89 Wh/m²（昼休みを除く 9 時～18 時）で、調査対象エリア全体で約 44% 削減された。8 月の第 3 週のお盆休み期間を除き、約半年間、照明消費電力量の削減は持続された。

タスク照明の消費電力計測エリア内（Fig.1 参照）でタスク照明は 14 席（計測対象エリア内の座席 28 席の 50%）に設置されていた。着席状況を確認できた 6 席の測定期間中平日の平均着席率（昼休みを除く 9 時～18 時）は、個別制御システム導入前 27%、個別制御システム導入後 40%であった。測定期間中平日の 1 時間あたりの平均照明消費電力量（タスク照明の消費電力計測エリアの床面積は 73 m²）は、個別制御システム導入前 7.0 Wh/m²、個別制御システム導入後 10.9 Wh/m²であった。タスク照明の消費電力量は着席率にほぼ準じるよう増加しており、また、タスク照明のこまめな点灯/消灯もされていない。アンビエント照明の個別制御によりタスク照明の点灯が増えたとは考えにくい。

2.2.2 照明消費電力と着席率の関係

Fig.6、Fig.7 に各調査対象エリアの個別制御システム導入前後の各調査期間中代表日（共に金曜日）の照明消費電力と着席率（Web カメラで確認できた座席の着席者数÷Web カメラで確認できた座席の執務者出社数）の関係を示す。図中には、調査期間中平日の平均照明消費電力と平均着席率の値を付記した。個別制御システム導入前の平日 5 日間の勤務時間中（昼休みを除く 9 時～18 時）の平均着席率は約 26%～56%（調査対象エリア A:46～53%、B:34～47%、C:45～56%、D:26～42%）であった。個別制御システム導入後の調査期間中は、個別制御システム導入前の調査期間中に比べ全体的に着席率が高かったが（調査対象エリア A:53～60%、B:44～49%、C:55～62%、D:40～48%）、調査期間中の勤務時間帯 1 時間あたりの平均照明消費電力は、調査対象エリア A で 4.5 W/m²（46%）、B で 6.2 W/m²（65%）、C で 3.8 W/m²（29%）、D で 6.1 W/m²（51%）削減された。しかし、個別制御システム導入後、出社時や一斉消灯される昼休みの後に一気に照明消費電力が増加する以外は、着席率に応じて照明消費電力が細かく変化の様子は見られなかった。特に着席率が 40%を超えると、アンビエント照明の消費電力はほぼ一定となり、10%程度（3～6 名）の着席率の変化であれば照明消費電力が変わる

Fig. 6 Changes over time of power consumption for lighting and occupancy rate (June 15, 2012: before the installation of the lighting control system)

Fig. 7 Changes over time of power consumption for lighting and occupancy rate (July 20, 2012: after the installation of the lighting control system)

ことはほとんどなかった。勤務時間中の照明消費電力の削減は、離席時のこまめな消灯の効果とは考えにくい。一方、定時以降（18 時～22 時）は、個別制御システム導入前と比べて調査対象エリア全体で平均 3.6 W/m²（59%）の照明消費電力が削減された。

2.2.3 アンビエント照明の点灯/消灯時の状況

a) 着席状況との関係

Fig.8 に調査期間中の各調査対象エリアの着席率とアンビエント照明の点灯率（個別制御システム導入後の照明消費電力÷個別制御システム導入前（アンビエント照明全点灯）の照明消費電力）の関係を示す。着席率は、2.2.2 と同様の方法で算出した。バブルの大きさは、調査期間中の平日勤務時間中（昼休みを除く 9 時～18 時）に

おける出現頻度を表す。調査対象エリア D（業務内容が営業の執務者がいるエリア）は、他の調査対象エリアよりも着席率が低い場合が多い。調査対象エリア A と C の着席率は 50～80%、B は 40～60%、D は 20～60% に分布していた。アンビエント照明の点灯率は、どの調査対象エリアでも着席率によらずほぼ同じ値となり、調査対象エリア A では 40～50%、調査対象エリア B と D では 40% 程度、調査対象エリア C では 60% と 80% の出現頻度が高かった。

Fig.9 にあるアンビエント照明の点灯/消灯状況と当該アンビエント照明を点灯/消灯できる執務者の着席状況の対応を一例として示す。アンビエント照明を 1 人で点灯/消灯できる場合も (Fig.9 上)、2 人で点灯/消灯する場合も (Fig.9 下)、照明は常時点灯されている。他のアンビエント照明も一度点灯されると、当該照明を点灯/消灯できる執務者が一部あるいは全員離席しても、消灯されることはほとんどなかった。

b) 屋外光環境との関係

Fig.10 に調査期間中（昼休みを除く 9～18 時）の窓鉛直面照度とアンビエント照明点灯率の関係を調査対象エリア別に示す。いずれの窓面もブラインドはスラット全閉の状態で常時下ろされていた。北東窓面では窓鉛直面照度が約 10,000 lx 以下、南西窓面では約 5,000 lx 以下で点灯率 20% 以下になる場合もあったが、どの調査対象エリアでも点灯率はいくつかの段階的な値でほぼ横ばいとなっており、窓鉛直面照度と一貫した関係は見られなかった。

2.2.4 執務者によるアンケート評価

a) 光環境評価

Fig.11 に個別制御システム導入前後の晴天日中の机上面周辺と執務空間全体の明るさ評価を比較する。個別制御システム導入後に、調査対象エリア A、B、C の机上面周りは、明るい側（「非常に明るい」「明るい」「やや明るい」）の評価割合が若干増えた。一方、調査対象エリア D では「どちらでもない」と暗い側（「非常に暗い」「暗い」「やや暗い」）の評価割合が若干増えた。執務空間全体は、調査対象エリア A、D で暗い側の評価割合が増えたのに対し、調査対象エリア B、C では個別制御システム導入前後でほとんど差はなかった。個別制御システム導入後は、各調査対象エリアのアンビエント照明点灯率が 20～80% 程度であったことを踏まえると、調査対象エリア全体の平均照度は個別制御システム導入前に比べて下がったが、個々の机上面周りの明るさが大幅に下がることはなかったと推察される。

Fig.12 に各調査対象エリアの机上面周りと執務空間全体の照明環境に対する満足度評価を個別制御システム導入前後で比較する。机上面周りには、個別制御システム導入後、全調査対象エリアで 70% 以上が満足側（「非常に満足」「満足」「やや満足」）に評価しており、特に調査対象エリア C では約 74% の執務者が満足側に評価した。執務空間全体は、明るさ評価が暗い側にシフトした調査対象エリア A、D で満足側の評価割合が減少したが、執務空間全体の明るさ評価がほぼ変わらなかった調査対象エリア B、C は満足側の評価割合が増加した。

b) パーソナル・スイッチに対する執務者の評価

Fig.13 にスイッチ本体の大きさ、ボタンの押しやすさ、スイッチ操作後の照明点灯/消灯の応答時間、Fig.14 にスイッチの使いやすさに対する満足度評価の結果を示す。スイッチ本体の大きさは、

スイッチを別途設置する場合（ワイヤレス方式：調査対象エリア A・D、自己発電方式：調査対象エリア C）は、約 30% が不適切と評価した。ボタンの押しやすさは、ワイヤレス方式で「押しにくい」と評価した割合が若干高いが、3 割未満であった。スイッチ操作後の照明点灯/消灯の応答速度は、電話操作方式で 9 割近くが「速い・適切」と評価したのに対し、ワイヤレス方式、自己発電方式では 70% 以上が「遅い」と評価した。Fig.14 に示すとおり、スイッチの使い

Fig.8 Occupancy rate and rate of ambient lighting on

Fig.9 Occupancy of the seats and state of ambient lighting

Fig. 10 Vertical illuminance on the window with venetian blind and rate of ambient lighting on

Fig. 11 Brightness evaluation of task area and that in the whole working space in sunny daytime

Fig. 12 Satisfaction of the lighting environment in task area and that in the whole working space in sunny daytime

やすさを「満足」、「やや満足」と評価した割合は、ワイヤレス方式で約 30%、電話操作方式で約 70%、自己発電方式で約 40%となり、照明点消灯の応答時間に対する評価に準じてスイッチの使いやすさの満足度評価が決まった。これは、複数種類の照明制御インターフェースを実験室で評価した先行研究²¹⁾の結果とも合致する。

Fig.15 にアンビエント照明の個別制御が必要か否かを問うたアンケート結果、Fig.16 にアンビエント照明の個別制御を「必要」あるいは「どちらとも言えない」と回答した理由の内訳を示す。ワイヤレス方式と電話操作方式では「不要」と回答した割合は約 2 割でほぼ同程度であったが、自己発電方式では「不要」と回答した執務者は皆無であった。アンケートに回答した全 106 名中、90 名がアンビエント照明の個別制御を「必要」あるいは「どちらとも言えない」と回答しており、その理由に「自分の意思でいつでも操作できる」、次いで「外の明るさに応じて制御できる」を多く挙げていた。しかし、実際には Fig.8、Fig.9、Fig.10 で示したように、勤務時間中に着席状況や窓面からの採光量（窓面鉛直面照度）などに応じてアンビエント照明をこまめに点灯/消灯することはなかった。

c) アンビエント照明の点灯/消灯に影響を及ぼす要因

照明のこまめな消灯を妨げる要因の回答結果を Fig.17 に示す。当該アンビエント照明を一人で点灯/消灯できる場合と複数名で点灯/

Fig. 13 Evaluation of switch for ambient lighting

Fig. 14 Satisfaction of the usage of the switch for ambient lighting

Fig. 15 Necessity of switch for ambient lighting

Fig. 16 Reasons of necessity of switch for ambient lighting

消灯する場合とでわけて見たところ、両者とも「他人の照明環境の変化が気になる」との回答が多かった。複数名で点灯/消灯する場合は、6 割以上が「点灯/消灯できるアンビエント照明を他者と共有している」ことをこまめに点灯/消灯しない理由に挙げている。

他人がアンビエント照明を点灯/消灯することに対しどう感じるか問うた結果を Fig.18 に示す。複数名で対象器具を点灯/消灯する執務者の方が、一人で点灯/消灯できる執務者より、明るさの変化に対する不満が多かったが、どちらも 6 割以上が「気にならない」と回答した。

2.3 まとめ

アンビエント照明を執務者各人の判断に基づき個別に点灯/消灯できるようにすることで、勤務時間中の照明消費電力量をおおよそ

Fig. 17 Reasons not to control the ambient lighting

Fig. 18 How to feel about the control of ambient lighting by the others

半減できた。しかし、執務者は他人の照明環境への影響を懸念し、勤務時間中にこまめに消灯することはほとんどなく、照明消費電力の削減は執務者による勤務時間中のこまめな消灯ではなく、不在箇所の不点灯によると考えられた。室全体の平均照度は下がるが、タスク照明の点灯率が増えたり、机上面周りの明るさや執務空間全体の照明環境に対する満足度が大幅に下がることはなかった。

他人によるアンビエント照明の点灯/消灯を気にしない執務者が大半であるにも関わらず、他人の照明環境への影響を懸念し、離席時にも照明を消灯しない、また、同一のアンビエント照明を複数名が点灯/消灯する場合にはこまめに消灯できないという問題が見出された。パーソナル・スイッチの特長を活かし、執務者自身の判断に基づいてアンビエント照明を積極的に点灯/消灯してもらうためには、アンビエント照明一台あたりの点灯/消灯できる人数をできる限り最小化することが解決策の一つと考えられた。

3. アンビエント照明の操作人数が点灯/消灯に与える影響

個別制御システムにおいて、一人で点灯/消灯できるアンビエント照明の割合を増やすことで、離席時や点灯不要と判断した際のアンビエント照明の消灯が促進されるか検証した。

3.1 検証方法

3.1.1 検証対象エリア

第2章の調査にて、同一のアンビエント照明を複数名で点灯/消灯する割合が最も多かった調査対象エリアC(床面積 203 m²、39名(管理・業務部))を検証対象とし、極力一人で点灯/消灯できるアンビエント照明の台数を増やすように割り当てを変更した。検証期間は2013年8月26日(月)～8月30日(金)の5日間で、測定項目はアンビエント照明の消費電力(BEMSデータ、1分間隔)、各アンビエント照明の点灯状況、各座席の着席状況、執務空間の光環境に対する主観評価とした。Fig.19に調査対象エリアCにおいて一人で点

灯/消灯できるアンビエント照明の位置を示す。割り当て変更前後で座席配置は同じである。一人で点灯/消灯できるアンビエント照明の台数を8台(4人が各2台を点灯/消灯)から27台(18人が各1～3台を点灯/消灯)に増やした。複数名で点灯/消灯するアンビエント照明は14台で、1台につき2人ないし3人で点灯/消灯した。

3.1.2 着席状況の記録方法

検証対象エリアの全執務者の着席状況を24時間連続で把握するために、Fig.20に示すように椅子座面に圧力センサ(Interlink Electronics FSR400)を設置し、着座時の加圧値から着席/離席・不在を判断できるようにした(圧力1.0N以上を着席と判定)。着座してから1秒以内に圧力が上昇し、1分間隔で24時間、10日間連続で記録(HIOKI LR5042)可能なことを確認した。また、男性3名(20～24歳、身長172～180cm、体重65～80kg)による計1,000回の着座後にも計測値に異常がないことを確認した。各アンビエント照明の点灯/消灯についても、BEMSで1分間隔で記録した。

3.2 検証結果

Fig.21に検証期間中代表日(金曜日)のアンビエント照明の消費電力と着席率の関係を示す。図中には、検証期間中の平日勤務時間中(昼休みを除く9時～18時)の平均照明消費電力と平均着席率の値を付記した。調査対象エリアCにて、一人で点灯/消灯できるアンビエント照明の台数が極力多くなるよう割り当てを変更した結果、変更前よりも照明消費電力は着席率に追従して変化するようになり、平日勤務時間中の平均照明消費電力は6.4 W/m²と約30%(Fig.7より割り当て変更前は9.2 W/m²)削減された。

Fig.22に検証期間中にアンビエント照明が点灯されていた総時間割合を当該アンビエント照明を点灯/消灯する執務者の着席状況別、時間帯別(勤務時間中: 昼休みを除く9時～18時、夜間: 20～22時)に示す。総時間割合は式(1)より算出した。図中には、離席中にも点灯したままのアンビエント照明の1時間あたりの平均台数も記した。

$$\text{総時間割合} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T S_i(t)}{n \times T \times S} \quad (1)$$

Fig. 19 Change of the assignment for controllable ambient lighting in measurement area C [NO-SCALE]

Fig. 20 Method to sense the occupancy and its accuracy

$S_i(t)$: 時刻 t におけるアンビエント照明 i の状態 (1: 点灯、2: 消灯)
 S : 定数 (1: 点灯、2: 消灯)
 n : アンビエント照明の台数
 T : 検証期間の時長

複数名で点灯/消灯するアンビエント照明は、任意のアンビエント照明に対して点灯/消灯できる全ての執務者を一単位として、全員がいなくなった時点で離席と判断した。複数名が点灯/消灯するアンビエント照明の方が、一人で点灯/消灯できるアンビエント照明よりも点灯される総時間割合は高く、勤務時間中は約 8 割、夜間も約 5 割の時間で点灯されていた。一人で点灯/消灯できるアンビエント照明は、特に夜間で離席中に消灯される割合が多かったのに対し、複数名で点灯/消灯するアンビエント照明は、夜間の離席中の点灯時間割合と消灯時間割合がほぼ同じであった。一人で点灯/消灯できる場合は、全 27 台のアンビエント照明のうち離席中にも点灯したままの平均台数が勤務時間中 5.8 台/時から夜間 3.5 台/時に減ったのに対し、複数名で点灯/消灯する場合は、全 14 台のうち勤務時間中 1.6 台/時から夜間 3.6 台/時に増えた。

Fig.23 に着席率とアンビエント照明の点灯率の関係を勤務時間中（昼休みを除く 9 時～18 時）と夜間（20 時～22 時）とにわけて示す。バブルの大きさは、検証期間中の各時間帯における出現頻度を表す。一人で点灯/消灯できる場合の着席率は、一人で点灯/消灯できる人数（18 人）に対する着席中の人数の割合、複数名で点灯/消灯する場合の着席率は、任意のアンビエント照明を点灯/消灯できる執務者が一人でも着席していれば着席数 1 と数え、複数名で点灯/消灯するアンビエント照明の台数（14 台）に対する着席数の割合として求めた。一人で点灯/消灯できる場合のアンビエント照明の点灯率は、着席率によらず勤務時間中は 60% 程度、夜間は 20～30% となった。複数名で点灯/消灯する場合は、時間帯を問わず着席率とアンビエント照明の点灯率はほぼ比例関係にあり、任意のアンビエント照明を点灯/消灯できる執務者が一人でも着席していれば必ず点灯されることがわかる。夜間は着席率がほぼ 0% になっても、アンビエント照明の点灯率が 10～20% 以下になることはほとんどなかった。

3.3 まとめ

一人で点灯/消灯できるアンビエント照明の割合を高めることで、全体的にアンビエント照明が点灯される時間は減り、特に夜間に離席あるいは不在となる際、確実に消灯される割合が増えた。しかし、夜間は全体的に着席率が下がり、アンビエント照明の点灯率も低くなるため、複数名で点灯/消灯するアンビエント照明は離席・不在の場合でも点灯したままの状態が日中よりも増えた。

4. まとめと今後の課題

パーソナル・スイッチを用いたアンビエント照明の個別制御を導入した実際のオフィスにて実測調査を行い、照明消費電力の削減効果と執務者の視的快適性を検証した。本研究で調査したオフィスでは、着席率が約 30～60% で推移していた。不在箇所の執務者が点灯/消灯するアンビエント照明は、当人が不在の時には不点灯となるため、個別制御システムの導入により照明消費電力量は継続的におよそ半減された。室全体の平均照度は下がるが、タスク照明の点灯率が増えることはなく、机上面周りの明るさや執務空間全体に対す

Fig.21 Changes over time of power consumption for ambient lighting and occupancy rate (August 30, 2013)

Fig.22 Percentage of time the ambient lighting on/off

Fig.23 Occupancy rate and rate of ambient lighting on

る満足度が極端に下がることもなかった。

執務者はアンビエント照明の個別制御の意義として、着席状況や屋外の明るさに応じて任意に点灯/消灯できることがあることを理解しつつも、勤務時間中にアンビエント照明を消灯することはほとんどなかった。周囲の照明環境への影響を懸念し消灯できない、あるいは、複数名で同一のアンビエント照明を点灯/消灯する場合に、一部の執務者が離席あるいは点灯不要と判断しても消灯できないことが理由として考えられた。一人で点灯/消灯できるアンビエント照明器具台数の割合を増やし再度検証した結果、離席時の消灯が増え照明消費電力をさらに削減することができた。しかし、離席中の執務者が全員消灯するようにはならなかった。

今回検証したオフィスビルは技術職を主たる業務とするオフィス

であり、業務内容の異なる場合や異なる行動特性をもつ執務者に対しても同等の効果が得られるかは別途検証が必要である。しかし、新たな照明設備の導入が難しいテナントオフィスなどで、既設の天井照明設備の活用を前提とした省エネルギー照明手法として、パーソナルに制御する方法は十分に目的を達成できるものと考ええる。アンビエント照明を個人個人が任意に制御することの周囲への過剰な配慮は不要であることを全居住者が認識することも、個別制御の適切な運用には不可欠である。

なお、本論文で示した結果の一部は、日本建築学会大会学術講演梗概集¹⁾²⁾にて既に発表している。

謝辞

本調査にご協力ならびにデータをご提供頂いた三機工業株式会社の飯田浩一氏、田代博一氏、吉開孝裕氏ならびに調査物件の関係者各位に記して感謝の意を表します。また、及川大輔氏、高橋知礼氏、原亮介氏、長澤孝明氏、箱田貴之氏（当時千葉工業大学）には、調査に多大なるご尽力を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Kim, J., Oikawa, D. and Mochizuki, E.: Actual proof of personal lighting control system (Part 1, Part 2), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering II, pp.1389-1392, 2013.8 (in Japanese)
- 2) Oikawa, D. et al.: Actual proof of personal lighting control system (Part 3), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering II, pp.533-534, 2014.9 (in Japanese)
- 3) Japanese Industrial Standard JIS Z 9110:2010 General rules of recommended lighting levels (in Japanese)
- 4) The Energy Conservation Center, Japan Website
http://www.eccj.or.jp/sub_02.html (accessed 2017.5.6) (in Japanese)
- 5) Ministry of Economy, Trade and Industry News (Released on 25th October, 2015)
<http://www.meti.go.jp/press/2016/10/20161025003/20161025003-1.pdf> (accessed 2017.5.6) (in Japanese)
- 6) Iwata, T.: Lighting in Next Generation to Achieve Energy Saving and Comfortable Environment, Journal of the Society of Heating, Air-conditioning and Engineering of Japan, Vol.85, No.8, pp.9-13, 2011.8 (in Japanese)
- 7) Tanabe, R. : Interim report of the research committee of energy for lighting, Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan, Vol. 62, No.2, pp.105-116, 1978 (in Japanese)
田辺隆治：照明エネルギー調査研究委員会中間報告書，照明学会誌，Vol.62, No.2, pp.105-116, 1978
- 8) Mochizuki, E., Yoshizawa, N., Iwata, T., Munakata, J., Hirate, K. and Akashi, Y. : The Impact of Power-saving Measures on Office Lighting in 2011 (Part 1), Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol.78, No.683, pp.9-16, 2013.1 (in Japanese)
- 9) Ministry of Economy, Trade and Industry News (Released on 17th December, 2015)
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g91224b08j.pdf#search=%27zeb%27> (accessed 2017.5.6) (in Japanese)
- 10) Architectural Institute of Japan: Returning to the Origin of Architecture-

- Regeneration and Innovation of Living Places- (Second recommendation), Journal of Architecture and Building Science, 128(1650), pp. 52-65, 2013.10 (in Japanese)
- (一社)日本建築学会：建築の原点に立ち返る-暮らしの場の再生と革新-東日本大震災に鑑みて（第二次提言），建築雑誌，128(1650)，pp. 52-65, 2013.10
- 11) Yamaguchi, A. et al.: Empirical Studies on Net Zero Energy Buildings in Urban Areas (Part 7-Part 9), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering I, pp.1135-1140, 2015.9 (in Japanese)
 - 12) Minato, A. et al.: Study on Urban High Rise Office Building Driving for ZEB (Part 18), Annual conference of the Society of Heating, Air-conditioning and Engineering of Japan, pp. 209-212, 2014.9 (in Japanese)
 - 13) Japan Building Owners & Managers Association:
http://www.jboma.or.jp/h25_chosakekka/ (accessed 2017.5.6) (in Japanese)
 - 14) Illuminating Engineering Institute of Japan, JIER-070: Technical report of the Research Committee for Actual state of office lighting, 2002.3 (in Japanese)
社団法人照明学会 JIER-70「オフィス照明の実態研究調査委員会」報告書，2002.3
 - 15) Illuminating Engineering Institute of Japan: JIER-116 Technical report of the Promotion Committee for Task and Ambient Lighting (TAL), 2012.9 (in Japanese)
社団法人照明学会 JIER-116「タスク・アンビエント照明（TAL）普及促進委員会」報告書，タスク・アンビエント照明（TAL）普及促進委員会，2012.9
 - 16) Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Website (accessed 2017.5.6)
国土交通省 平成21年度建築基準整備促進補助事業 22. 業務用建築物の省エネルギー基準に関する検討 業績成果「業務用建築物のためのエネルギー消費量評価手法に関する基礎的調査」
<http://www.mlit.go.jp/common/001131699.pdf> (in Japanese)
 - 17) Homma, M. : Study on the energy saving of office lighting by human detection control, Annual conference of the Illuminating Engineering Institute of Japan, p.106, 2010.9 (in Japanese)
 - 18) Miki, M., Kawashima, R., Nakamura, H. and Aida, H.: Providing Individual Illuminance and Color Temperature in an Intelligent Lighting System without Using a Chroma Meter, Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan, Vol. 99, No. 11, pp.594-600, 2015.11 (in Japanese)
 - 19) Miki, M., Hiroyasu, T. and Toshima, C.: Optimal Light Environment at Work Place with Illuminance and Color-Temperature Controllable Intelligent Lighting System, Proceedings of the Forum on Information Technology, 7(3), pp.493-494, 2008.8 (in Japanese)
 - 20) Nobe, T.: Human Factor and Self-efficacy, Journal of Japanese Association of Building Mechanical and Electrical Engineers, No. 47, No. 11, pp. 2-4, 2015.11 (in Japanese)
 - 21) Yilmaz, F.S., Ticleanu, C., Howelett, D., King, S. and Littlefair, P. J.: People-friendly lighting controls- User performance and feedback on different interfaces, Lighting Research and Technology, Vol, 48, Issue 4, pp. 449-472, 2016.

注

注 1) 本研究では執務者の在室状況に関して、以下の通り定義した。

着席：執務者がオフィス内に在室し、自席に着席している状態

離席：執務者はオフィス内に在室しているが、所用（トイレ、休憩、会議、資料等を探す場合など）で自席を離れている状態

不在：執務者はオフィス内に在室していない（出社前、帰社後、出張、欠勤など）状態

EFFECTS OF INDIVIDUAL CONTROL OF AMBIENT LIGHTING WITH PERSONAL SWITCH ON THE OCCUPANTS' VISUAL ENVIRONMENT AND ENERGY SAVING

Etsuko MOCHIZUKI and Jeongsoo KIM***

* Prof., Chiba Institute of Technology, Dr.Eng.

** Assoc. Prof., Musashino University, Dr.Eng.

It is known that energy use for lighting accounts for about 20% of the total energy use in Japanese typical office buildings. Electrical power saving countermeasures for lighting, such as partial lighting, were taken after the Great East Japan Earthquake and it was indicated that electrical power use for lighting could be substantially reduced. However, the deterioration of the quality of the visual environment of the office workers was concerned at that time. It is required to find a new lighting method that guarantees the quality of the visual environment in addition to reducing electrical power consumption.

The purpose of this study is to identify the effects of the lighting control system for ambient lighting with personal switch on energy saving and the occupants' visual comfort. Three different types of the switch for ambient lighting were tested in a real office space located in Chuo-ward Tokyo, Japan. Field measurements were conducted twice, before introducing the personal lighting control system (in June 2012) and after introducing that system (in July 2012), one week for each. Electrical power consumption for ambient lighting, operating conditions of the switch for ambient lighting (on/off) were recorded. The occupancy rate of the occupants, horizontal illuminance and vertical illuminance on window were measured. The lighting environment in the office space and the usability of the switch for ambient lighting were evaluated by the occupants.

The results showed that the electrical power consumption for ambient lighting was reduced by about 44% in the whole measured office space and that lasted for the next half year except for the summer vacation. The subjects were rather satisfied with the lighting environment in their task area even the brightness level on the desk was not so high due to the individual control of the ambient lighting. However, it was also identified that the occupants seldom switched off the ambient lighting during working hours even in the cases when they left their seats. One of the reasons of this was supposed that the occupants felt fear for the effects of their ambient lighting control on the surrounding lighting environment. Especially for the ambient lighting that could be controlled by more than one occupant, it was kept switched on even when those who living in the area where was lit by the lighting were absent.

In addition, the effect of the number of the occupants who switch on/off the ambient lighting on the frequency of the occupants' control of the ambient lighting was examined. As results, it was identified that the number of the occupants who switch on/off the target ambient lighting should be minimized to promote active individual control of ambient lighting when they left their seats.

(2017 年 5 月 10 日原稿受理, 2017 年 9 月 7 日採用決定)