

スマートオフィスにおけるパーソナル照明制御への取り組み
Effort of demonstrating personal control lighting at smart office

首都大学東京 都市環境学部 建築都市コース

TOKYO METROPOLITAN UNIVERSITY Architecture and Building Engineering

金 政秀

Jeongsoo KIM

千葉工業大学 工学部

Chiba Institute of Technology

望月 悦子

Etsuko MOCHIZUKI

キーワード: スマートオフィス(Smart office)、パーソナル・スイッチ(Personal switch)、照明システム(Lighting system)、在席率カウンター(Presence rate counter)、啓発効果(Enlightenment)

1.はじめに

オフィスの省エネルギーを推進する上で、照明をパーソナルに制御することは重要である。その具体的な手法として、エネルギー・ハーベストによる自己発電型スイッチなどが汎用化され、普及が見込まれている。また、パーソナル照明制御システムを確立しておくことは、将来のスマートオフィスにおけるスマートメータとの需用応答制御への発展性も容易となる。例えば、使用電力量がデマンド電力近くに逼迫した際には、不要な箇所のみ照明を消灯、あるいは全体的に照度を低減する制御も考えられる。その反面、パーソナル照明制御は、執務者の判断により点灯/消灯を行うため、適切に制御されるかどうか未だ不明な点も多い。本報では、3つのパーソナル・スイッチを実オフィスにて比較実証した省エネルギー効果やアンケート調査結果の概要について述べる。

2.実証概要

2.1 実証内容

照明制御システム導入前後で比較実証した。照明器具はエリア全体で Hf 蛍光灯 (32W×2 灯式) が 195 台設置されている。

- 場所: 東京都中央区
- 対象: S タワー6階テナントエリア (1,021m²)
- 対象人数: 246名 (管理、業務、営業、設計部門等)
- 調査内容: 天井・タスク照明消費電力量、水平面 (床上 1.3m)・窓面鉛直面照度 (HIOKI3640)、執務者の在席率、アンケート調査

2.2 実証期間

調査は 2012 年 6~12 月までの天井照明消費電力量の長期計測以外に、下記の 3 期間で詳細調査を行った。

- システム導入前: 6月11日(月)~15日(金)
- システム導入後: 7月17日(火)~20日(金)
- 一定期間経過後: 11月12日(月)~16日(金) (啓発活動: 11月9日(金)~22日(木))

啓発活動は、システム導入による省エネルギー効果結果を執務者に開示し、スイッチの操作頻度向上による更なる消費電力削減を図ることを目的とした。

2.3 執務者の在席率

執務者の在席状況を正確に把握するため、各執務者の離席・着席のタイミングをリアルタイムで調査した。調査対象エリアに 6 台のライブカメラを設置し、業務に支障がないように別室にて目視で確認した。各エリアで全座席数の約半分が対象となった (表 1 参照)。天井照明が全て消灯される昼休み (12~13 時)

を除く 9～19 時の間に行った。在席状況の確認・記録は 3 名で行い、1 名あたり 2 台のライブカメラで計 40～50 名の在席状況を常時目視で確認・記録することは、大変な労を伴う。したがって、在席状況をパソコンに自動集計できるアプリケーション（呼称 Z-counter）を開発した（図 1 参照）。

2.4 システム概要

スイッチは、各机に備え付けの IP 電話による「電話操作方式」と、別途配布した「ワイヤレス方式」と「自己発電方式」による無線操作が可能な 3 種類とした。4 つに分けたエリア（A～D）で、自席周辺の天井照明を手元で個別に点灯/消灯出来るようにした（図 2）。照明器具 1 台あたりの操作可能人数は、1～4 人で、1 つのスイッチで操作可能な照明の台数は、最大で 3 台であった。

また、照明器具を除く HUB やサーバーなどの制御システムの定格消費電力量の合計は 230W*24h である。これは、1 時間あたりで照明器具 8 灯分に換算される。尚、制御システムの消費電力量は評価対象外とした。

図 3 より、照明器具の点灯/消灯を操作できる人数が 1 人である割合は、エリア C で 36%と最小であった。

3. 実証結果

3.1 長期傾向

システム導入後 7～12 月までで、実証エリア全体で 44%の照明消費電力量が削減された（システム導入前の平日 6/11（月）～15（金）、休日 6/9（土）、10（日）の平均値と比較）。土日・祝日についても 78%削減された。また、システム導入から 6 ヶ月経過後でも継続的に省エネルギー効果は持続された（図 4 参照）。

3.2 照明消費電力量と在席率の関係

パーソナル・スイッチ導入前後で、在席率がエリア A、C 共に上昇していたが、照明消費電力量は削減された（図 5 参照）。しかし、在席率は細かく変動していたが、照明消費電力量はほぼ一定であり、在席時・離席時のこまめな消灯による削減ではない。各エリアの平日勤務時間中（7/19、9～19 時）のスイッチの操作回数を見ても、エリアによる違いはほとんどなく（A1.3、B1.3、C1.9、D1.4 回/日）、全エリア平均で 1.5 回/日に留まっていた。

3.3 照明と在席状況の対比

照明器具の点灯/消灯状況と、対象器具を操作する執務者の在席/不在状況を対比した一例である（図 6 参照）。照明の操作頻度は少なく、離席時にこまめな消灯がされていないと確認された。

表 1 スイッチの方式別個数

エリア	スイッチの方式	照明器具台数	座席数	在席状況確認数
A	ワイヤレス	33	46	27
B	電話操作	65	105	52
C	自己発電	41	54	22
D	ワイヤレス	56	91	40
合計		195	296	141

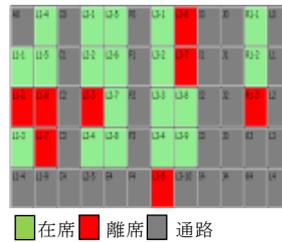


図 1 在席状況記録（左：アプリ画面（一部）右：調査風景）

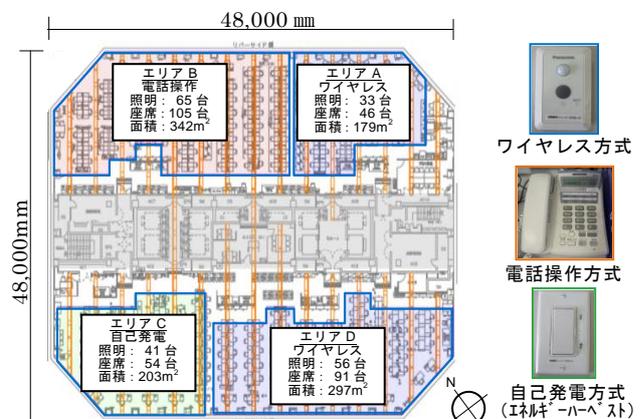


図 2 エリア平面図と 3 種類のパーソナル・スイッチ

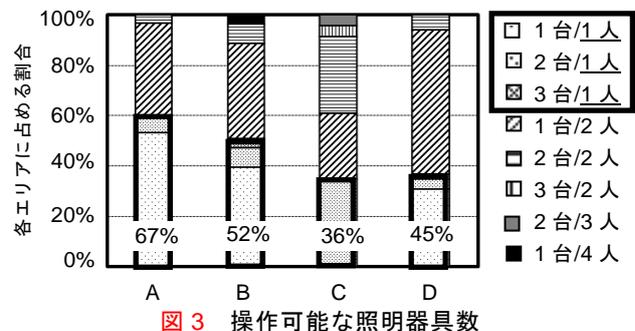


図 3 操作可能な照明器具数

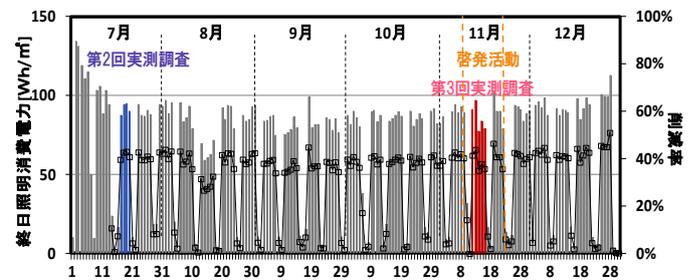


図 4 照明消費電力量の月別変化（7～12月）

3.4 照明消費電力量の比較

表 2 より、平日の就業時間帯（9～19 時）については、エリア A、B は、在席率に応じた照明消費電力量の削減率であった。エリア D は、A と同じワイヤレス方式で、在席率がエリア A よりも低かったが、照明消費電力量の削減率は同程度であった。

エリア C は、全エリアの中で最も照明消費電力量の削減率が 29% と低かった。これは図 3 より、同じ照明器具の操作が 2 人以上で可能な場合に、片方が不在となっても消灯出来ない、あるいは片方が照明を不要と感じていても消灯出来なかったためと推察される。また、図 5、6 より、勤務時間中は照明の点灯/消灯が行われることもほとんどなかった。

今回の実証で、照明消費電力量の削減は、主に不在時の照明を消灯したことによる効果と考えられる。今後、執務者個人が在席時・離席時でも、よりこまめに天井照明の点灯/消灯を行えば、更なる省エネルギー効果が期待出来る。

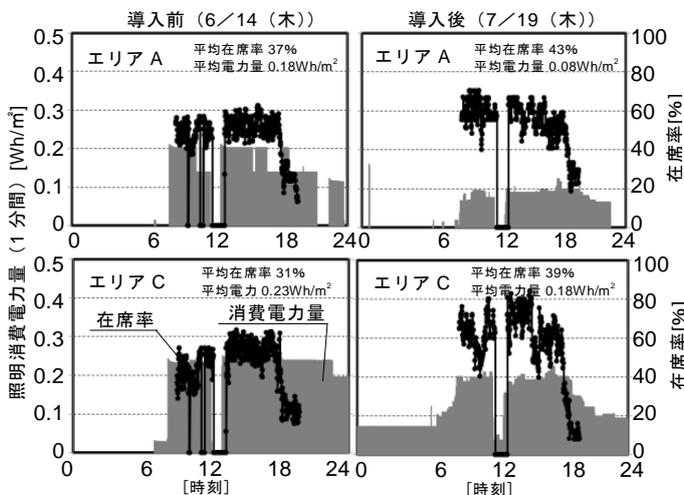


図 5 照明消費電力量と在席率の比較

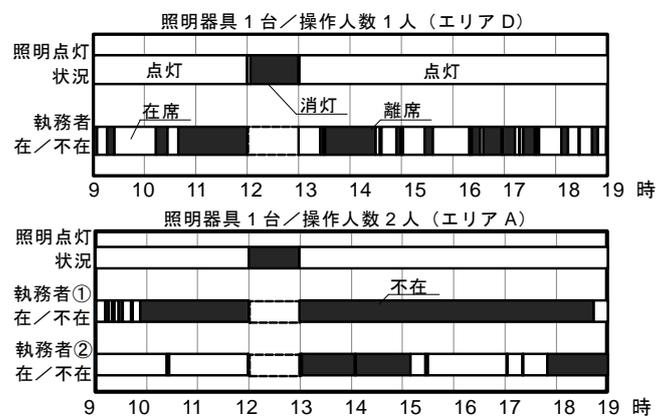


図 6 照明点灯状況と在席状況の対比

表 2 照明消費電力量の削減率（平均値）

エリア	スイッチの方式	平日9～19時（10時間）			平日19～翌9時（14時間）			土日・祝日終日（24時間）		
		設置前 [Wh/m ²] (在席率)	設置後 [Wh/m ²] (在席率)	削減率 [%]	設置前 [Wh/m ²]	設置後 [Wh/m ²]	削減率 [%]	設置前 [Wh/m ²]	設置後 [Wh/m ²]	削減率 [%]
A	ワイヤレス	96.6 (52%)	52.1 (57%)	-46	31.0	13.8	-55	83.9	8.2	-90
B	電話操作	73.4 (48%)	34.5 (48%)	-53	33.7	8.9	-73	35.7	11.6	-68
C	自己発電	129.0 (52%)	92.5 (58%)	-29	61.0	36.5	-40	54.1	29.0	-46
D	ワイヤレス	111.0 (44%)	58.6 (48%)	-47	62.1	27.8	-55	95.4	10.1	-89
平均		99.1	55.8	-44	46.8	20.6	-56	64.8	14.0	-78

4. 執務者への意識調査

4.1 調査概要

パーソナル・スイッチ導入前（6 月）と導入後（7 月）の調査期間中、オフィスエリアの光環境とパーソナル・スイッチに関して、執務者に対しアンケート調査を行った。表 3 に質問項目の一部を示す。オフィスエリアに対する光環境評価アンケートについては、天候・時間帯を考慮し晴天日中、曇天日中、夜間の 3 種類に分けた。スイッチの使いやすさ、点消灯のタイミング、スイッチ操作に対する執務者の評価に回答してもらうことで、スイッチの運用実態に対する執務者の評価を把握できるようにした。アンケート用紙は、各実測期間の初日に配布し、原則として、実測期間の最終日にオフィスエリア入口付近の全 4 ヶ所に設置した回収ボックスにて回収した。表 4 に有効回答数を示す。

4.2 アンケート結果

1) 光環境評価 図 7 に執務空間全体の明るさ感評価、図 8 に執務空間全体の照明環境に対する満足度評価の結果を示す。スイッチ導入前に比べ導入後に、執務空間全体の明るさ感について「やや暗く感じる」と

という回答が、増加する傾向にあった。実際に執務空間全体の照度を推定したところ、スイッチ導入前は944lxであったのに対し、導入後は627lxと低くなっていた(床上1,300mmの計測値)。

しかし、執務空間全体の照明環境に対する満足度は天候、時間帯によらずほぼ等しく、スイッチ導入前後で変化がほとんどなかった。

2) パーソナル・スイッチの操作性について
 スイッチの操作には、アンケートに回答した50%の執務者が天井照明の手元スイッチが必要と回答し、その理由としては、**図9**に示す通り、「自分の意思に応じて操作できるから」という回答が主であった。また、スイッチの操作頻度が少なかったことから、照明個別制御スイッチの使用を妨げている要因を回答してもらったところ「他人と照明を共有していること」が40%、「他人の照明環境の変化が気になる」が34%だったのに対して、63%が他人の照明を制御することに対しては「気にならない」と評価していた(**図10、11**)。このことより、それぞれの執務者が考えているよりも他の執務者は、他人の照明操作をあまり気にしていないことが明らかとなった。

表3 執務者アンケート項目(一部抜粋)

内容	評価項目
大きさ	適切/不適切(大きすぎる、邪魔になる)
ボタンの押しやすさ	押しやすい/押しにくい/どちらでもない
反応速度	適切/速い/遅い
照明器具の対応	満足・変更不要/不満足・変更不要 すぐに変更希望/可能であれば変更希望
使いやすさの満足度	満足/やや満足/どちらでもない やや不満/不満
出社時に点灯するか	必ず点灯/必ずつけない/状況に応じて
離席時に消灯するか	必ず消灯/状況に応じて/時々/消灯しない
→離席時に消灯しない理由	10個の選択肢から複数回答+自由記述
在席時に照明を操作するか	操作する/操作しない
→消灯するのはどんな時か	14個の選択肢から複数回答+自由記述
→点灯するのはどんな時か	14個の選択肢から複数回答+自由記述
帰社時に消灯するか	消灯する/消灯しない/状況に応じて
点灯時に良い制御方法	スイッチ制御/自動制御/どちらでも良い
消灯時に良い制御方法	スイッチ制御/自動制御/どちらでも良い
→手元スイッチが良い理由	選択肢は図-9参照(複数回答可)
スイッチ操作を妨げている理由	選択肢は図-10参照(複数回答可)
他人の照明操作どう思うか	選択肢は図-11参照(複数回答可)

表4 アンケート有効回答数

	アンケートの種類	有効回答数(247名)	回収
導入前	晴天日中・夜間	150名	61%
	曇天日中	156名	63%
導入後	晴天日中	105名	42%
	曇天日中	94名	38%
	夜間	54名	21%
	スイッチの操作性	106名	42%

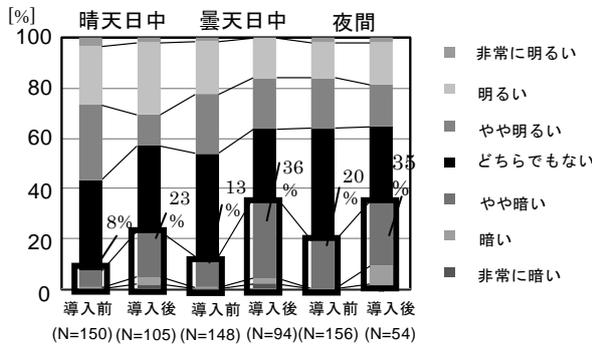


図7 明るさ感評価

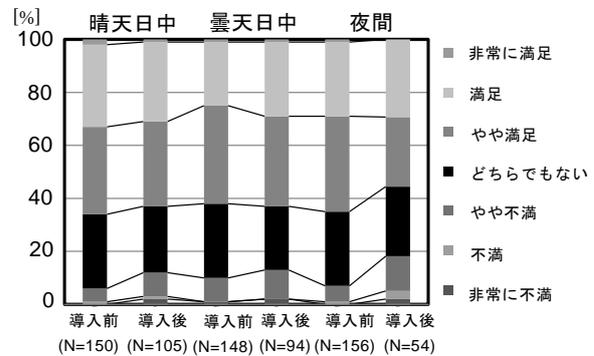


図8 照明環境に対する満足度

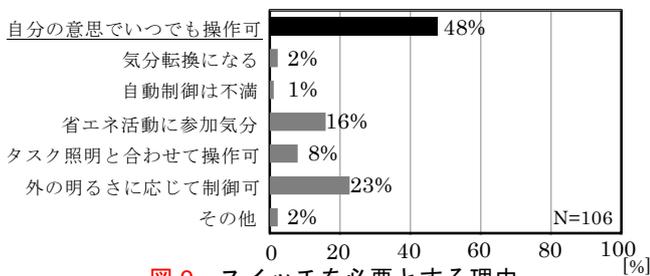


図9 スイッチを必要とする理由

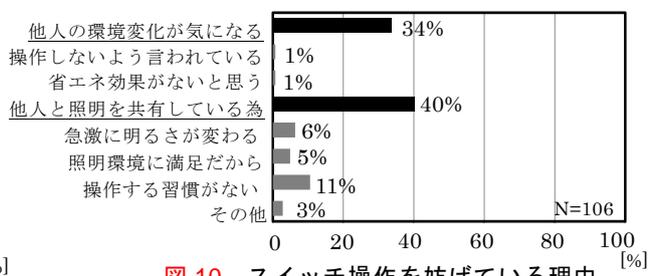


図10 スイッチ操作を妨げている理由

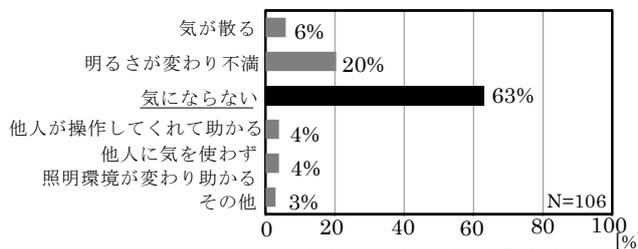


図11 他人の操作をどう思うか

5. 照明器具に対する操作人数の検証

本調査対象オフィスビルでは、一台の照明器具を2人以上の人が操作する割合が55%を占めていた。そのため、照明器具一台あたりの操作可能人数によって、不在・離席時に照明を消灯する割合がどの程度異なるのか検証した。

その結果、照明器具一台あたりの操作可能人数が1人の場合に比べ2人以上になると、不在時・離席時照明点灯率が60%を超える割合が、1人の場合だと7%だが2人の場合は38%と多くなることがわかった(図12参照)。照明器具一台あたり操作できる人数を2人から1人に減らすことで、不在・離席時のこまめな消灯による更なる省エネルギー効果が期待できる。

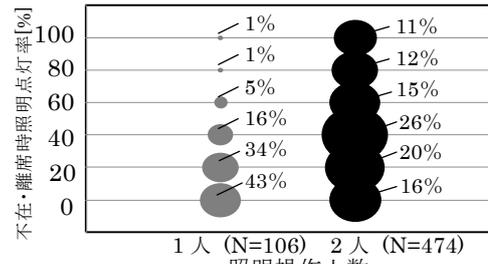


図12 照明器具と操作人数の関係

6. 啓発効果

6.1 概要

啓発はスイッチによる省エネ効果が安定した11月9日(金)から開始した。アンケート結果ならびにスイッチ導入による照明消費電力量の削減効果を開示する啓発により、離席時に積極的に照明が消灯されるようになるか検証した。啓発にはポスターとのぼりを使用した(図13参照)。

ポスターは、啓発期間中、スイッチによる省エネ率の前日の結果をその翌日に速報として執務者に調査結果の開示をした。掲示場所は、人が集まるコピー機前、入口付近、休憩所、会議室全てにA3版で設置した。加えてスイッチ操作による照明消灯の促進、省エネルギーに対する意識喚起を促すのぼり(100×300mm)を卓上に計20個設置した。

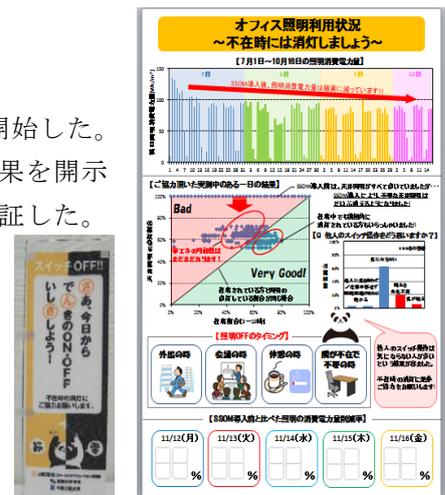


図13 のぼりとポスター

6.2 結果

1日あたりのスイッチ操作回数に変化はほとんどみられなかったが、照明消費電力は啓発前が平均91Wh/m²であったのに対し、啓発期間中(14日~16日)は12Wh/m²(14%)少ない79Wh/m²まで削減された(図14)。しかし、啓発活動終了2週間後には、啓発活動を行う前の照明消費電力量とほぼ同程度に戻った。継続的な啓発活動が省エネルギー効果の持続には必要と言える。

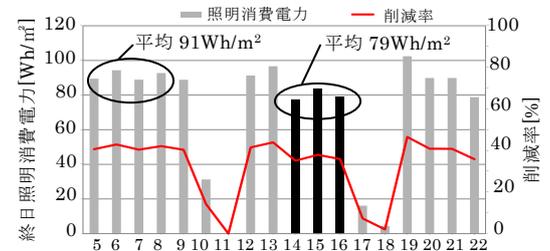


図14 啓発による削減効果

今後、定期的にシステム管理する側がスイッチの使用を促し、執務者の作業環境に合わせたスイッチ制御システムの構築が求められる。

7. まとめ

- ・本実証により、照明消費電力量はエリア全体で44%削減され、その効果も6ヶ月間持続された。
- ・しかし、スイッチ本来の離席時のこまめな操作ではなく、主に不在時の消灯による効果であった。
- ・パーソナル・スイッチ導入により、執務空間全体はやや暗く感じつつも、自分の意思に応じて天井照明の点灯/消灯の操作を自由に行えることを高く評価していた。
- ・しかし、実際には他者と照明を共有しているために、周辺の照明環境の変化を懸念し、照明を操作しにくいことがアンケート調査から明らかとなった。一方で同一の照明器具の操作を他者と共有していても、他人の照明操作は気にしない執務者が63%であった。
- ・啓発期間中の照明消費電力は12Wh/m²(14%)削減された。
- ・今後、定期的にシステムを管理する側がスイッチの使用を促し、執務者の作業環境に合わせたパーソナル・スイッチ制御システムの構築が求められる。

謝辞

本調査は、飯田浩一氏、田代博一氏（三機工業株式会社）、及川大輔君（千葉工業大学大学院）、高橋知礼君、原亮介君（当時千葉工業大学）の力によるところが大きい。記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 照明学会: 環境負荷低減と豊かな光環境の両立に向けて, JIER-104, 2009.
- 2) 市川ら: パーソナル要求に対する執務空間の照明, 照明学会誌, 84 (12), pp903-906, 2000.
- 3) 望月ら: 東日本大震災に伴うオフィスの節電照明環境の実態 その1, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 78, No. 683, pp. 9-16, 2013.
- 4) 本間: オフィス執務空間の在/不在制御による省エネルギー化に関する研究, 第43回照明学会全国大会講演文集, p.106, 2010.