

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04738

研究課題名（和文）パッシブ型建築における環境シミュレーションを用いた環境調整行動誘発システムの開発

研究課題名（英文）Development of Environmental Control Behavior Induction System Using Environmental Simulation in Buildings Utilizing Passive Design

研究代表者

高瀬 幸造（Takase, Kozo）

東京理科大学・理工学部建築学科・講師

研究者番号：20739148

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、建物利用者にとって実施負担度が少ないながらも快適性・省エネルギー・満足度向上が期待される室内環境調整行動を促すための情報を整理し、適切な環境調整行動を通知（Nudge, ナッジ）するシステムを開発した。実オフィスを対象としたシミュレーション結果に基づいてシステムを構築し、昼光導入のための窓付属部材の操作を促した際の効果を検証した。執務者からは室内の明るさや開放感・眺望性の向上を感じたとの申告があり、反応はおおむね良好だった。また、照明電力の削減効果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界的に脱炭素社会への移行が急務となっている中、建築分野における温室効果ガスの削減目標は特に高いハードルが課せられている。こうした社会的背景により、建築外皮性能の向上や設備システムの高効率化といったハード面からの省エネルギー化は当然として、建物の利用者が建物や設備の特徴を理解して使いこなすことによるソフト面からの省エネルギー化にも取り組む必要がある。本研究成果は建物利用者に対して、外部環境の変化に応じて適切な運用方法をわかりやすく示して、快適性向上や省エネルギー化に寄与する取り組みとして有用な知見が得られたと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed the system that organizes information to encourage indoor environmental adjustment behavior that is expected to improve comfort, energy efficiency, and satisfaction while placing a low burden on building users, and nudges them of appropriate environmental adjustment behavior. The system was constructed based on the results of simulation in an actual office, and its effectiveness in encouraging the operation of window accessories to introduce daylight was verified. The response was generally positive, with office workers reporting that they felt an improvement in indoor brightness, openness, and viewability. In addition, a reduction in lighting power consumption was achieved.

研究分野：建築環境工学

キーワード：ナッジ 自然採光 昼光利用 通風 環境調整行動 温熱環境 光環境 オフィス

1. 研究開始当初の背景

自然エネルギーを最大限活用するパッシブ手法は、省エネルギー性のみならず、居住者・利用者の心身の健康性にも大きく影響を与えるため、広く採用されている。しかし、実際に建設された建物において、意図通りに運用されるか否かは、建物内での人間の過ごし方によるところが大きい。特に、自動制御による窓やブラインド開閉機構を有さないことが多い中小規模のオフィスビルにおいて、通風や自然採光を最大活用するには執務者の環境調整行動が必要であり、それを促す仕組みが求められる。

2. 研究の目的

本研究では、建物利用者に適切な情報を通知することで環境調整行動を誘発し、設計時に想定された理想的なパッシブデザインの活用を促すことを目的とした。システム構築から実オフィスビルにおける実装を行い、その導入効果について検証を行った。

3. 研究の方法

(1) 図1にシステムの基本構想を示す。①「外部気象データ分析(温湿度、風向風速、降雨など)」、②「各気象条件下での環境調整行動実施時の室内環境の予測シミュレーション」の2点を行って予めデータベース化し、これらデータに基づいてリアルタイムで建物の利用者に対して環境調整行動を提案することが特徴である。環境シミュレーション等により設定した環境条件の閾値と、リアルタイムな環境の測定値の照合によって環境調整行動アドバイスを決定する。またアドバイスは行動を強制することなく執務者の自発的行動を促す。以降では本システムの詳細を説明した後、自然採光における効果検証を行った結果を報告する。

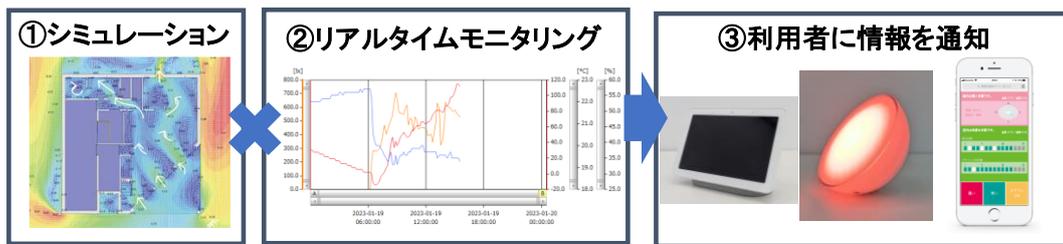


図1 環境調整行動誘発システムの基本構想

(2) 図2に調査対象とした実オフィスビルの5階平面図(実験は5,6階で実施)を示す。対象物件は築30年の中規模オフィスビルであり、2021年に通風利用や自然採光を想定した改修工事が竣工した。執務室の東・南・西面に設けられた窓はすべて開閉可能となっており、それぞれ異なる日射遮蔽部材が採用されている。照明は自動調光可能で、自然採光による照明消費電力の削減が見込める。



図2 調査対象物件5階平面図



| モニタリング項目  | アドバイス判定項目     | アドバイス内容 |
|-----------|---------------|---------|
| 風向・風速     | 風向・風速         | 通風アドバイス |
| 降雨強度      | 降雨強度          |         |
| 室内外温度     | 室内外温度         |         |
| 室内外湿度     | 屋外露点温度        |         |
| 窓開閉状況     | 窓開閉状況         |         |
| 鉛直面照度     | 窓鉛直面照度        | 採光アドバイス |
| ブラインド開閉状況 | ブラインド開閉状況(※2) |         |

(※1)露点温度・エンタルピーは温湿度より算出 (※2)未実装

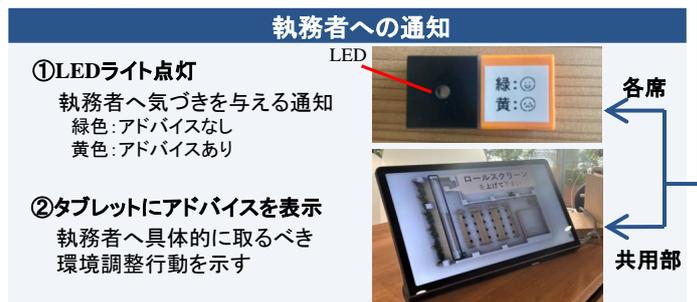


図3 調査対象物件において導入したシステムの概要

また、図3に導入したシステムの概要を示す。本システムでの環境測定の対象項目は、風向・風速、降雨強度、室内外の温度・湿度、南と西面の窓鉛直面照度、窓の開閉状況、ブラインドの開閉状況の計10項目である。さらに温湿度から露点温度・エンタルピーを算出し、閾値の条件(表1, 2)と比較して、執務者に提示するアドバイスを決定する。本システムは日光利用と自然通風利用に関してアドバイスを行う。日光利用は窓鉛直面照度とブラインドの開閉状況から、通風利用はそれ以外の項目からアドバイスを判定する。ただし、後述する効果検証の段階ではブラインドの開閉状況判定機能を組み込んでいないため、採光アドバイスは照度のみを参照した。通知は30分毎に、各席のモニター下部に設置した小型ライトを点灯して執務者に気づきを与え、共用部に設置したタブレットにアドバイスを表示する。ライト通知に気づいた執務者がアドバイスを確認、環境調整行動を行うこととする。タブレットに表示するアドバイスは簡潔に、操作対象を視覚的にわかりやすくした(図4)。

(3) 表2に示した風向・風速の閾値設定については、事前シミュレーションを行い以下の通りとした。

自然換気による換気回数の目標値を4回/h以上としたとき、必要となる外部風速を16風向のそれぞれで求めるために商用ソフトFlowDesigner2021を用いてCFD解析を行った。対象物件は多くの開口を持つが、実用的に執務者の手間を考慮すれば、操作する窓の数はできるだけ少ないことが望ましい。また西側は高架道路に面しているため、西窓を開放すると騒音が懸念される。以上より開放する窓は南(8枚)・東(4枚)に限定し、①南・東窓全開(計12枚)、②南・東窓ともに半数のみ開放(計6枚)、③南・東窓のいずれかを全開、の3つの状況を想定した。図5にそれぞれの条件での目標換気回数を満たすための必要外部風速を示す。南と東の両方の窓を開放すれば、小さい風速でも目標換気回数を達成できることがわかり、外部風速を1m/sとして室内通風解析を行ったところ全開と半開で大きな差はなかったため、2方位の窓を開ければ十分な換気量を確保できることが示された。よって通風アドバイスは南窓と東窓に対して行うものとし、②の条件をもとに閾値を設定した。

(4) 対象物件における事前調査

図6~8にそれぞれ執務者が窓・ブラインド等を操作する頻度とその理由についてのアンケート結果を示す。西面以外で操作が行われることは少なく、西面の操

表1 アドバイス判定閾値 表2 アドバイス判定閾値(風速以外) (風速)

| アドバイス判定項目 | 条件               | 風向  | 下限風速(m/s) | 風向  | 下限風速(m/s) |
|-----------|------------------|-----|-----------|-----|-----------|
| 外気温度      | 16°C以下<br>室内温度以下 | 北   | 2.09      | 南   | 3.00      |
|           |                  | 北北東 | 2.70      | 南南西 | 1.02      |
| 露点温度      | -3°C以上<br>16°C以下 | 北東  | 2.60      | 南西  | 1.49      |
|           |                  | 東北東 | 5.50      | 西南西 | 1.13      |
| 外気エンタルピー  | 室内エンタルピー以下       | 東   | 3.54      | 西   | 3.78      |
| 降雨強度      | 降水なし             | 東南東 | 1.71      | 西北西 | 5.45      |
| 窓鉛直面照度    | 20,000lx未満       | 南南東 | 1.38      | 北北西 | 1.25      |
|           |                  | 南南東 | 1.42      | 北北西 | 2.42      |

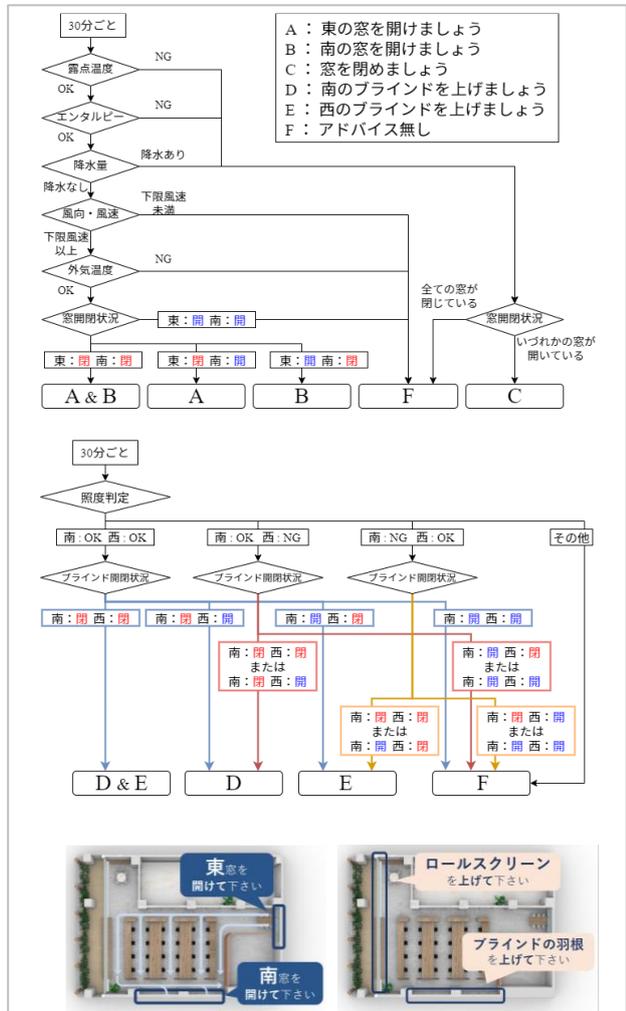


図4 通風・採光アドバイスフローと表示例



図5 CFDによる16風向別必要外部風速算出結果

作理由は主に夕方の西日を遮るためであった。操作をしない理由としては、他の執務者の目が気になることや、興味がない、メリットを感じられないことなどが窓・ブラインド等に共通している。

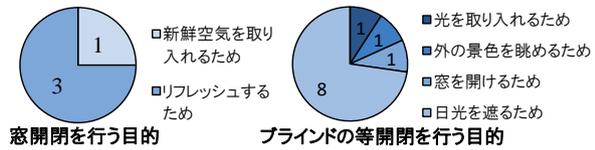


図7 窓・ブラインド等进行操作した理由

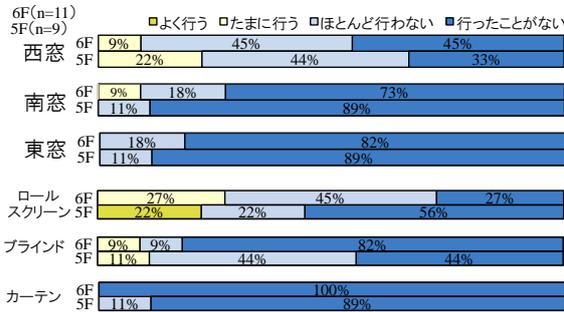


図6 窓・ブラインド等进行操作する頻度

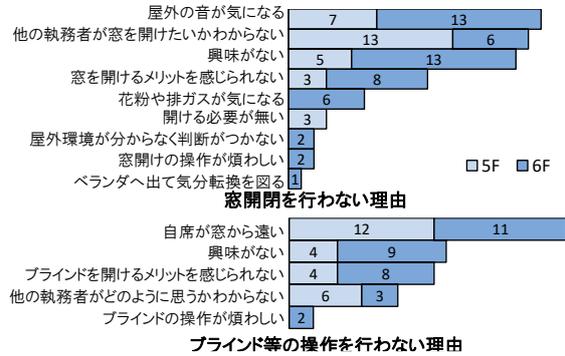


図8 窓・ブラインド等进行操作しない理由

#### 4. 研究成果

##### (1) 検証内容

電力削減効果および執務者の行動に与える影響を検証するために、2023年1月より対象物件にシステムを導入した。今回は検証期間が冬期であったため自然通風可能な時間帯はなく、昼光利用のアドバイスのみが通知された。また実験とシステムについて説明する資料とともに、現状分析から採光による省エネ効果や、環境調整によって生産性が向上する可能性などのメリットを説明する資料も事前に執務者に配布し、システムの利用率向上を図った(図9)。

**環境調整誘発システム実装実験のご協力をお願い**

実験目的・・・省エネを目的とした執務者の環境調整行動(ブラインド等の操作)を誘発するシステムの開発にあたり実装実験を行います。

**実験期間**  
1/9(月)～1/20(金)

**システム概要**

室内外に設置しているセンサーにより自然採光の可否を判定します。

各席のモニター下部に設置させていただいた小型ライトが30分毎に点灯します。  
自然採光可能であれば黄色、不可能であれば緑色に光ります。可能な場合行動が必要となります。

黄色：行動必要    緑：行動不要

図面の位置にタブレットを設置させていただき、自然採光を行うためのブラインドもしくはロールスクリーン開閉のアドバイスを表示します。

**ライトが黄色に点灯**

操作の方がよいブラインドもしくはロールスクリーンを画面上に表示します。省エネや室内環境改善の効果が期待できるので、アドバイスをご活用ください。

**ライトが緑に点灯**

操作は必要ありません。ただし環境に不満があれば適宜調整してください。

通知に気付いたら、是非行動してみてください。

**省エネ効果**

浅沼組名古屋支店には自動調光システムが組み込まれており、室内の明るさが一定に保たれています。

そのため、ブラインドやロールスクリーンを開いて自然光を取り込むと、明るさを一定に保つために照明の明るさが自動的に下げられて省エネに繋がります。

消費電力(kWh/m²)の比較  
ブラインドを開けていた日と閉めていた日の照明消費電力の比較

12% ↓

**生産性の向上**

窓の眺望が室内環境にとって重要な要因になっていることは多くの研究で示されています。

そして室内環境の改善は生産性の向上や精神的疲労の軽減に役立ちます。

ブラインドやロールスクリーンを積極的に開けてみましょう。

**ポモドーロ・テクニックをご存知ですか?**

ポモドーロ・テクニックとは、作業25分、休憩5分のサイクルを繰り返すことで集中力を持続させる時間管理のテクニックです。

25分、5分という数字に学術的な根拠はないようですが、短い休憩を入れながら働くことで生産性が向上することを報告する研究は多いようです。

30分に1度のライトの通知を目安に小休憩を取ってみませんか。

図9 執務者に実験内容を説明するための事前配布資料

##### (2) システム導入効果検証実験および執務者へのアンケート結果

図10に5階のブラインドとロールスクリーンを終日全閉にした平日(2023年3月9日～3月15日)と実験期間(2023年1月10日～1月13日)における日積算照明消費電力を示す。5階では本システム導入前からブラインド等がほぼ全開であったため照明消費電力の減少は見られず、今回はブラインド等を全閉にした場合の照明消費電力と比較した。各日とも照明消費電力は減少しており、本システム導入中にブラインド等の操作によって昼光導入が行われたことが確認できる。日常的にブラインド等进行操作し昼光導入を行う習慣が無いオフィスに本システムを導入

入した場合、5.4%~7.3%程度の照明消費電力削減効果を見込めることが示された。

図 11、図 12 に実験期間中の執務環境や行動の変化の申告を 5 階と 6 階で合計した結果を示す。室内の明るさ、開放感、眺望性は半数程度がよくなったと回答しており、そのうち環境改善に対して望ましいと回答する執務者は約 7 割であった。自分や他の人による操作が増えたと回答する執務者は 3 割程度で、執務者の客観的視点からもシステムが行動回数に影響を与えていると実感していることが示された。しかし今後の活用に対しては半数以上が肯定的、14%の執務者が否定的であった。また追加機能としては室外環境や消費電力の具体的な数値を示してほしいという回答が多い。自由意見では、現状の通知方法に不満が見られ、音による通知や自席タブレットの端末に表示するといった、執務者がシステムのアドバイスに気が付きやすくなる機能に対して 4 割程度の執務者が希望した。システムの通知の良かった点として、席を立て休憩するきっかけになったとの回答があり、これは本来システムの意図する機能ではないが、結果として執務者の行動のモチベーションにつながった。

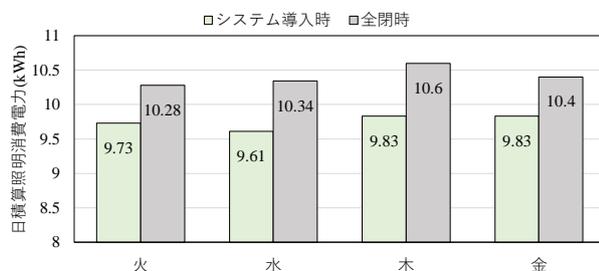


図 10 実験前後の照明消費電力量比較

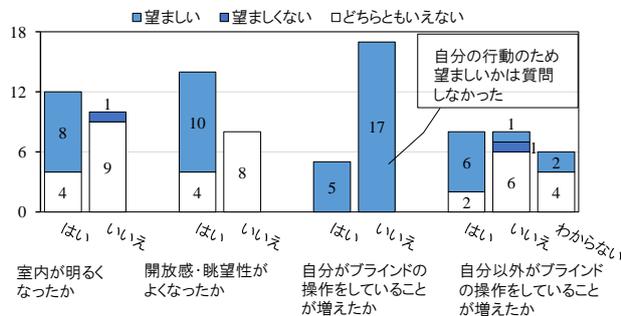


図 11 執務環境・行動の変化 (アンケート)

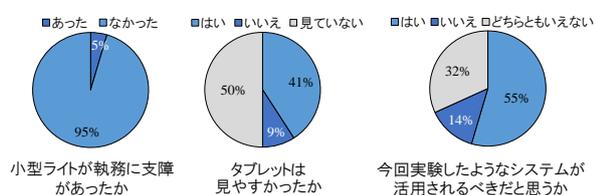


図 12 システムに対する評価 (アンケート)

### (3) まとめ

自然通風・昼光利用を促進するため、執務者に環境調整行動を促すシステムを提案した。省エネと快適性の両立を目指して計測項目や閾値を設定し、システム利用者の負担やストレスを最小限とするために通知方法を検討した。効果検証においては昼光利用促進のみの実験となり、照明消費電力削減効果が示唆されたが、通知内容や方法に課題を残す結果となった。執務者からは室内の明るさや開放感・眺望性の向上を感じたとの申告があり、そのことに対する反応はおおむね良好だった。また省エネ性や快適性だけでなく、システム活用に伴うメリットの共有が行動を促進する可能性が示された。今後は中間期の通風利用についても検証し、システム利用満足度を高めるための改善を行うことが今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>八田水葉、高瀬幸造、川島範久   |
| 2. 発表標題<br>環境調整行動誘発システムの開発と中規模自社ビルオフィスにおける導入実験 その1 窓付属部材の操作をアドバイスすることによる昼光導入効果の検討 |
| 3. 学会等名<br>空気調和・衛生工学会大会   |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>八田水葉、高瀬幸造、川島範久  |
| 2. 発表標題<br>中規模自社ビルオフィスにおける環境調整行動誘発システムの導入実験 その1 状況に応じた窓付属部材の操作通知による執務者の行動変化と省エネ効果の検討 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>服部達仁、高瀬幸造                               |
| 2. 発表標題<br>感染症対策を目的とした良好な空気環境維持のための環境調整行動誘発システムの開発 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会                                |
| 4. 発表年<br>2021年                                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>服部達仁、高瀬幸造  |
| 2. 発表標題<br>感染症対策を目的とした良好な空気環境維持のための環境調整行動誘発システムの開発と導入後の効果検証 |
| 3. 学会等名<br>空気調和・衛生工学会大会                                     |
| 4. 発表年<br>2021年   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|               | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                           | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                 | 備考 |
|---------------|---|---------------------------------------|----|
| 研究<br>分担<br>者 | 川島 範久<br><br>(Kawashima Norihisa)<br><br>(70738533) | 明治大学・理工学部・専任講師<br><br><br><br>(32682) |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|