

# 昼光・照明解析に基づく居室の利用目的・時間を考慮した 照明エネルギー消費量の推定

## Estimation of lighting energy consumption by using daylight analysis and lighting analysis considering with the working hours of users

○稲垣 吉城<sup>\*1</sup>, 沈 振江<sup>\*2</sup>, 杉原 健一<sup>\*3</sup>, 関口 達也<sup>\*4</sup>  
Yoshiki Inagaki<sup>\*1</sup>, Zhenjiang Shen<sup>\*1</sup>, Kenichi Sugihara<sup>\*3</sup> and Tatsuya Sekiguchi<sup>\*4</sup>

\*1 金沢大学自然科学研究科 修士課程

Master program, Graduate School of Science and Technology, Kanazawa University

\*2 金沢大学 地球社会基盤学系 教授 工博

Professor, Faculty of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, Ph.D.

\*3 岐阜協立大学 経営学部 教授 工博

Professor, Faculty of Economic Management, Gifu Kyoritsu University, Ph.D.

\*4 金沢大学 地球社会基盤学系 助教 工博

Assistant Professor, Faculty of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, Ph.D.

**Summary:** The Japanese strategic energy plan sets an aim to achieve zero energy buildings (ZEB) on average for new public buildings by 2030. In order to achieve that goal, it is necessary to promote energy saving efficiency not only by managing of the existing buildings, but also by buildings planning before construction. To achieve energy saving, estimating energy consumption with high accuracy is required at the stage of design.

This research aims to propose a method for estimating the lighting energy consumptions at a room in the buildings of design phase, considering with the usage purpose and occupying time of the room. First, the illuminance analysis by daylight was conducted. It enables us to judge which light should be turned on during the period of occupying time. Then, we conducted an illuminance analysis considering with both daylight and the illuminated lights. The visualized illuminance distribution enables to confirm whether the current supposed illuminance of each section is enough or not for the assigned purpose. Finally, we calculated the energy consumption of lights. A series of methodologies will contribute to estimate the lighting energy consumptions with higher accuracy even if under the design stage.

**キーワード:** 昼光・照度解析; 照明エネルギー; 省エネルギー; ZEB; オフィス空間

**Keywords:** Illuminance・daylight analysis; lighting energy; energy conservation; ZEB; office space

### 1. 研究の背景と目的

環境省では、地球温暖化対策の国内の取り組みとして、ZEB (Zero Energy Buildings) 事業実現に向け取り組んでいる<sup>(1)</sup>。平成 26 年度に閣議で定められた「エネルギー基本計画」において、「建物については、2020 年までに新築公共建物等で、2030 年までに新築建物の平均で ZEB の実現を目指す」とする政策目標を掲げている。そこで、ビル<sup>(2)</sup>に関しては室内環境とエネルギー性能の最適化を図るため、BEMS(Building and Energy Management System) と呼ばれるビル管理システムや高効率な設備、躯体の高断熱化などを活用して省エネルギー化を図ることで

ZEB 実現を目指している。ZEB の評価は設計段階の建物で行われるため、実際に建物が利用されると ZEB を達成できなかった建物が存在する。この設計段階と利用段階の状況の乖離を解消し、信頼性の高い ZEB の実現を図るためには、判断基準である設計一次エネルギー消費量を設計段階でより正確に予測する必要がある。建物の設計一次エネルギー消費量の算定では空気調整設備、換気設備、照明設備、給湯設備、昇降機など様々な設備が対象になるが、本研究ではこのうち、照明エネルギーに着目する。環境省によると、建物の種類により差はあるものの、建物で使用される照明・コンセントによるエネルギー

一消費量が比較的多く、事務所や学校では36%を占めている<sup>3)</sup>。このため、ZEBの達成可能性を定量的に評価するうえでは、設計段階の照明設備の設計一次エネルギー消費量の値が推定できることの重要性は高いといえる。

照明エネルギー消費量を考えるうえでは、建物の利用者がどの様に居室を利用するかということも重要な視点である。既存の建物であれば、BEMSによる照明制御によって実際の利用状況を考慮した省エネルギー化を図ることができる。一方、設計段階の建物で省エネルギー化の可能性を検討するためには、予め建物内の居室の利用目的や利用時間帯を想定して、その状況に適した照度分布が実現した条件下での評価を行うことが考えられる。

また、設計段階でも活用可能な照明エネルギー消費量を推定する方法を考えるにあたっては室内の個々の照明の性能やそれらの配置が重要であるが、さらに開口部からの採光を考慮した検討を行うことで、エネルギー消費量を抑えた居室の設計が行える可能性がある。

既存の方法には、建築研究所によるエネルギー消費量性能計算プログラムがある。人感センサーや照明の点灯方式等を考慮したエネルギー消費量の推定が可能であるが、利用者の建物内の利用行動まで考慮されていない<sup>4)</sup>。

以上の背景を踏まえ本研究では、シミュレーションソフトによる昼光解析と照度解析を組み合わせて、設計段階の建物にも適用可能な、照明エネルギー消費量の推定を行う方法を提案する。そこでは、1)時間や季節・天候の変化に伴う昼光を加味し、さらに2)利用者の居室の利用目的に適した居室内の照度分布の確保の可否を評価したうえでエネルギー消費量の推定を行う。これにより、設計段階にありながら、より実際の居室の利用状況に即した消費エネルギー量の算定を行うことが可能になる。

## 2. 既存研究と本研究の位置づけ

窪田ら(2011)<sup>1)</sup>の研究事例では、照明センサーによりペリメーター部分の照明を消灯する制御機能を備えたオフィスビルにおけるエネルギー消費量を解析した。まず昼光解析と照度解析により、昼光を利用してセンサーのペリメーター部の照明が消灯できる時間帯を導出した。その消灯時間を踏まえて年間の照明エネルギー消費量を算定し、結果的に照明制御により照明エネルギーの削減を果たせることを示した。この照明制御の手法をペリメーター部分ではなく昼光分布を参考に制御することで昼光による照度を有効に利用し、居室の利用状況を踏まえた上で解析を行うことでより精度の高い照明エネルギー消費量の削減検討ができると考える。

また、三原ら(2011)<sup>2)</sup>は、再生可能エネルギー利用を含めて建物全体のエネルギー消費量を算定するツールの構築をし、エネルギー消費量を推定した。しかし、照明エネルギーについては、採光状況や利用目的による必要照

度の設定に応じた照明制御などは考えていないため、設計段階のエネルギー消費量の推定値と実際に使用した際のエネルギー消費量の乖離が大きくなる可能性がある。

次に昼光利用と照明制御によるオフィスの省エネルギーに関する研究では、岩淵ら<sup>3)</sup>が既存の建物に対して照明制御、昼光利用や人の行動を誘導することで照明エネルギー消費量が削減できることを示した。本研究と同様の観点の研究ではあるが、本稿で提案する方法は、この考え方を設計段階の建物にも適用可能な点で異なる。

また、吉澤ら(2018)は、オフィスビルを想定して照明エネルギー削減のための影響要因を整理し、年間を通した昼光照明シミュレーションにより、昼光利用が照明エネルギー削減に果たす効果を検討した。設計時にも適用可能な緻密な設定に基づく検討により年間での省エネルギー効果の推定を可能にしている。ただし本研究は、照明の点消灯を明快な基準で決定し、時間と季節と天候の変化に伴う昼光分布を加味した上で利用者目的を踏まえて、1日の任意地点・時点での十分な照度分布の確保の有無を確認する。もちろん手法を繰り返して適用すれば、年間のエネルギー消費の計算も可能である。さらに、設計段階にありながら消費エネルギーに加え室内の各時点・地点での利用者行動計画も検討でき、より利用上の無理が生じにくい省エネルギービルの建築計画に貢献ができる点で意義があると考えられる。

## 3. 研究の方法

### 3.1. ケーススタディの概要と解析方法

今回、ある建物内の一室の一日の照明エネルギー消費量をケーススタディとして検討した。金沢大学に実在する研究室のオフィス一室を Revit (3Dモデルを作成するための Autodesk 社のソフトウェア)で作成、再現した(床面積:70.35m<sup>2</sup>, 高さ:2.5m)。設定敷地は金沢大学の敷地内として、実際の建物と同じ向きに配置した。本研究では1階にある研究室のオフィス空間を対象にする。そして、2010年3月20日の午前9時から午後6時までを対象として、一日の照明エネルギー消費量を推定した。

ただし、シミュレーションであるため、現実と異なる点がある。具体的には、建物全体ではなく研究室の部屋のみを作成し、周辺の木々や建物などの昼光の遮蔽物をまでは作成していないので、実際よりも採光が採り入れ易い環境である。図1が室内の平面図となっている。

各照明は、長さ1200mm、電力36W全光束2844lmのLED照明を実際の室内の配置と同じように12個配置した。検討の際には便宜的に各照明に数字を割り振った。照明解析には Revit の昼光解析用のアドインソフトウェアである Elumtools<sup>6)</sup>を使用し、昼光解析には Revit の昼光解析用のアドインソフトウェアである Insight を使用した。

### 3.2. 解析方法

今回、部屋の利用目的は実際の研究室の利用目的に準じて、勉強と VDT (Visual Display Terminals) 作業とした。

照明環境の設計規準 (AIJES-L0002-2016) によって推奨照度を設定し、JIS Z 9110:2011 照明基準総則によって各目的に応じた設計照度の範囲を設定する。勉強の推奨照度は 750lx であるので、設計照度の範囲は 500lx から 1000lx と設定した。VDT 作業の推奨照度は 500lx であるので設計照度の範囲は 300lx から 750lx と設定した。勉強目的では、より多くの照明が必要になると考えられることから、窓側に近い照明番号⑦⑧⑨⑩⑪⑫の照明があるセル内の範囲を勉強スペースとし、照明番号①②③④⑤⑥があるセル内の範囲を VDT 作業スペースと仮定した。各セル内の照度分布が、利用目的に応じた前述の範囲に概ね収まっていれば、その目的に適した照度が確保できた状態であると判断できる。

昼光解析では 2010 年 3 月 20 日の午前 9 時から午後 6 時までを対象とした。また、解析を行う日時に応じて任意の時点の昼光データを得られるが、今回は簡単のため照度分布は一時間ごとに変化するもの (昼光解析時刻の前後 30 分は同じ照度分布である) とみなして、一時間ごとの昼光の室内照度の変化を解析した。部屋の使用時間の設定は午前 9 時から午後 18 時までとした。

昼光のみで、利用目的に応じた照度の確保ができていない (分割した範囲の行動に伴う必要照度をみたく場所が存在する) 場合、対応するセルの照明を点灯させる。昼光解析を行った各時間帯のエネルギー消費量の推定値の合計を、一日分のエネルギー消費量の推定値とした。

## 4. 昼光度解析

### 4.1. 昼光解析結果に基づく照明点灯の計画案

図 2 に 2010 年 3 月 20 日の午前 9 時から午後 18 時における、昼光のみを考慮した一時間ごとの室内の照度分布を示す (各図の部屋の向き、方位は図 1 と同じ)。

まず初めに行う昼光解析の照度基準は、必要照度が高い勉強を基準にする。照度の分布は、勉強の設計照度で

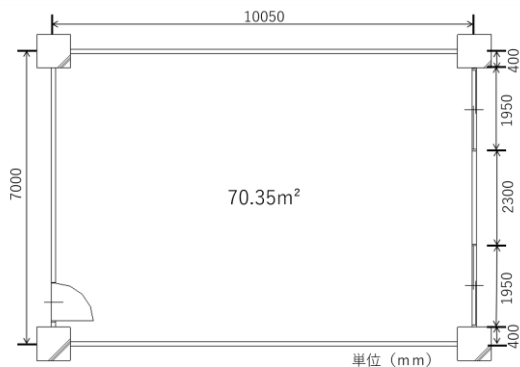


Figure 1. The Plan view of room

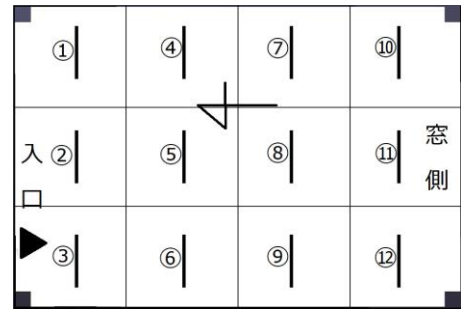


Figure 2. The location of room lights

ある 750lx 以上は赤色、勉強と VDT 作業の推奨照度である 500lx から 750lx はオレンジ色、pc 作業の推奨照度の範囲である 300lx から 500lx は黄色で示している。

昼光解析の結果を見ると、VDT 作業スペースである照明番号①②③④⑤⑥のセルでは白色の範囲がみられた場合、勉強スペースである照明番号⑦⑧⑨⑩⑪⑫の範囲は黄色もしくは白色の箇所がみられる場合に、照度不足と判断できるので、セルに対応する番号の照明を点灯することとした。各時間帯について検討を行い、表 1 に示した照明の点灯計画案を示す。

各時間帯に必要な照明エネルギー消費量を合計すると、一日の総消費量は 2520Wh と求められた。仮に 9:00 から 18:00 の間に①~⑫の全ての照明を点灯した状態でこの部屋を使用すると、照明エネルギー消費量は 3888Wh である。9:00 から 16:30 の間は多くの照明を消灯した状態で部屋を利用することができ、この部屋では昼光を利用することで省エネルギーを実現できることがわかる。

Table 1. The lights to turn on and their energy consumption

Working time	Lighting number to be turned on	Light energy consumption (Wh)
9:00~9:30	①②③④⑤⑥⑦⑨	144
9:30~10:30	①②③④⑥⑨	216
10:30~11:30	①②③④⑥⑨	216
11:30~12:30	①②③④⑥⑨	216
12:30~13:30	①②③④⑥⑨	216
13:30~14:30	①②③④⑤⑥⑨	252
14:30~15:30	①②③④⑤⑥⑦⑨	288
15:30~16:30	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨	324
16:30~17:30	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫	432
17:30~18:00	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫	216
Total time		2520

### 4.2. 照明解析による室内照度分布の評価

4.1.節での図 2 の昼光解析とそれによって得られた照明の点灯案を元に照明の点灯を行った場合の、昼光と照明の点灯による照度分布を図 3 に示す。この結果は、各地点における昼光照度と照明照度の値を合算したのではなく、照明による照度分布と昼光による照度分布を重

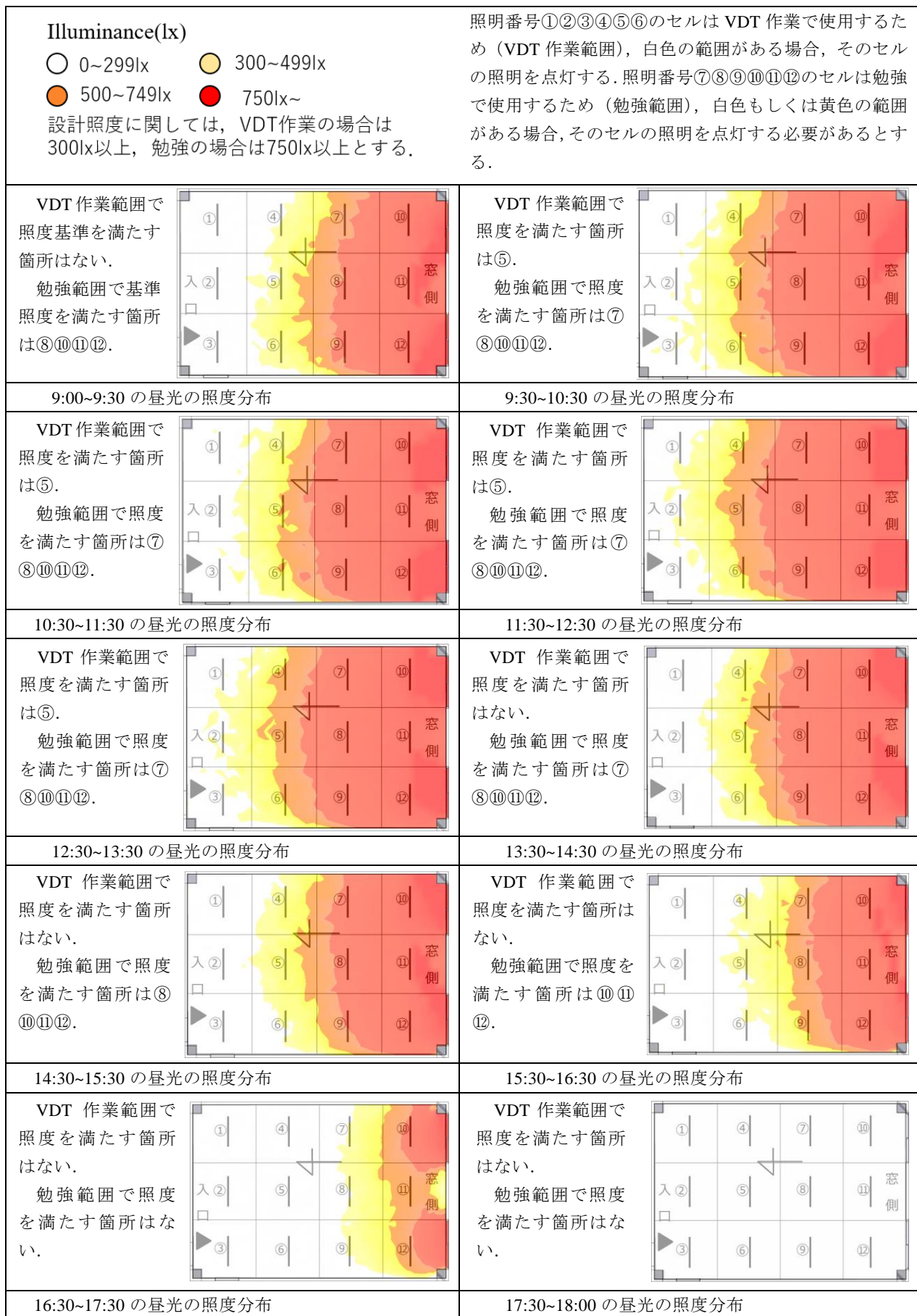


Figure 3. The illuminance distribution by daylight

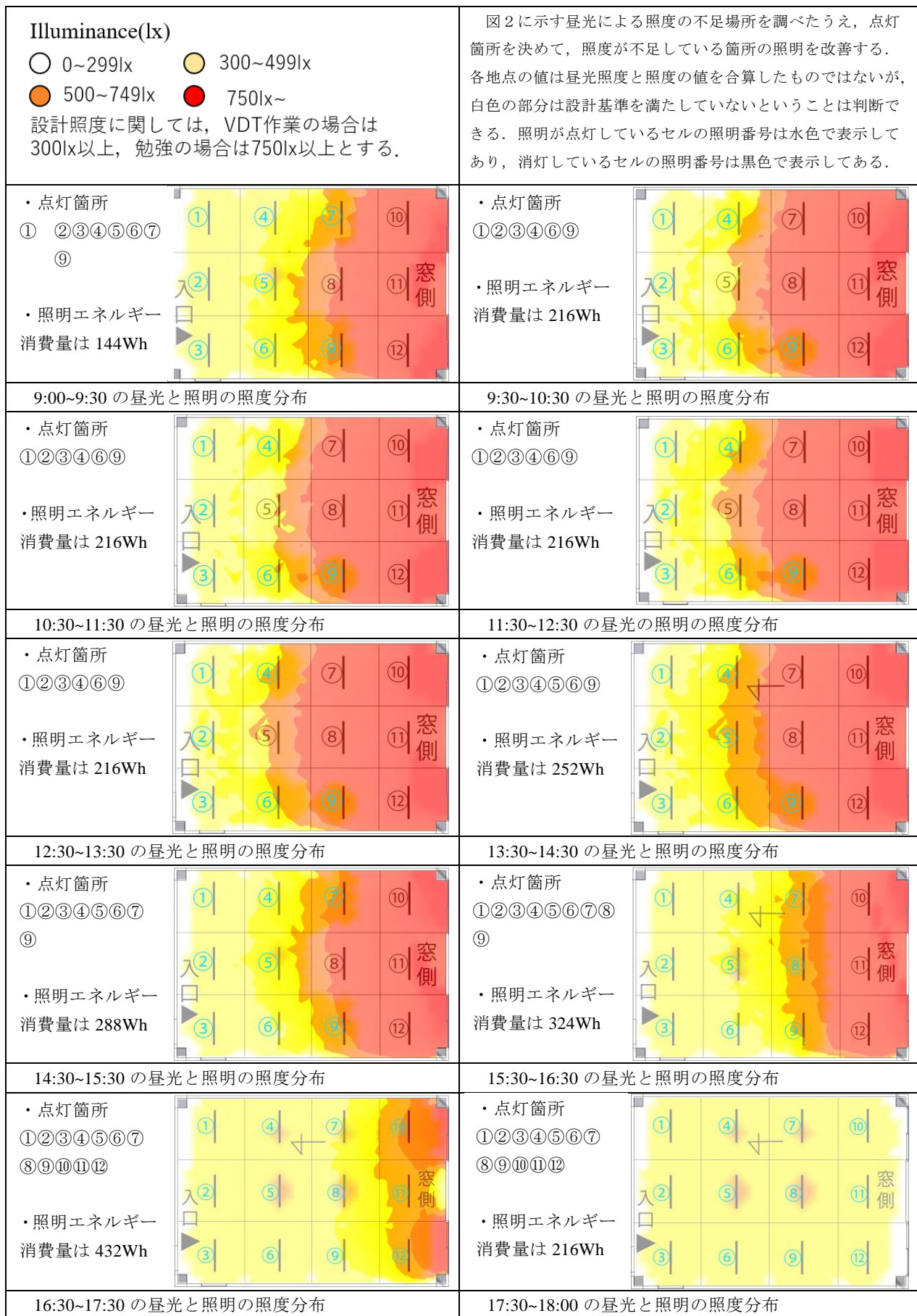


Figure 4. The illuminance distribution by daylight and lighting

ねたものであるため、解釈には注意を要する。この照明解析の結果より、ケーススタディにおける照明配置を評価すると、昼光だけでは照度が不十分だった部分も、VDT作業をするための照度であれば、当初の計画案としての照明配置の下で、表1の様には照明を点灯することで大部分の範囲で必要照度を補うことができる。しかし、詳細にみると、一部のセル内では照度基準の条件が緩いVDT作業であっても照度が十分に確保されていない白色の範囲が残っており、現状の計画の照明配置だけでは部屋の全域においては利用目的に合わせた照度を補うことは困難であることがわかった。

本研究の手法は設計段階で適用することができるので、実際にこのような問題がわかった場合、照明の配置の変更や照明の種類を変更、もしくは、照明を追加する必要があることがわかる。現状の照明だけでは照度を満たせない部分に対応するために、例えば、現状の配置のままより照度の大きい照明を追加することや、新たな位置に照明を追加することが考えられる。これらの場合、この部屋の照明エネルギー消費量はその分だけ増加することになるが、変更後の照明エネルギー消費量の値や室内の照度分布も、以上と同様の検討を再度繰り返すことで評価が可能である。

一方で、エネルギー消費量を増やさずに、居室の設計や利用者の利用の仕方を再検討することもできる。例えば、入口側にも開口部を設けるなど、照度が足りなくなりやすい箇所については別の箇所からも昼光の取り入れを検討する。それでも必要照度を満たせない部分については、利用の仕方を再検討する必要がある、といった検討ができるだろう。

## 6. 本研究のまとめと今後の課題

本研究は設計段階で、利用目的に即した照度条件の充足の有無を確認した上で照明の消費量を推定する方法を提案した。昼光解析に基づく照明点灯案を参考に照明を点灯することで、実際に部屋を使用したときに比べて省エネルギーの効果がわかる。

さらに、実際の利用を想定した推定を行っているため、従来の方法よりも、より実際の値に近く室内の照明エネルギー消費量を推定できていると考えられる。また、照度分布に基づく、必要照度の充足の有無を可視化したことで、解析の段階で照度分布が利用行動に必要な照度を満たしていなかった場合、照明の配置や照度の高い照明への変更など、利用のための照度分布条件を満たすための再検討の必要性を判断できる点は本研究の特徴の一つであろう。

本研究ではある一日に限定し、一日の昼光の状況も実際より少ないパターンで解析を行ったが、しかしこの手法を応用して、一年間の任意時点における照明点灯計画

案とその計画案に基づく年間の照明エネルギー消費量の推定をすることも可能である。

また、本研究の手法ではあらかじめ決められた利用者行動の配置のもと解析を行ったが、昼光の照度分布に基づいて利用者の行動を再提案することで効率的な昼光の利用、ひいては室内の省エネルギーの実現とその効果を算定できると考える。照明の配置に関しても同様に既存の建物の配置のまま今回は行ったが、昼光の照度分布と利用者行動に基づいて照明配置計画を行いエネルギー消費量の推定することを今後の課題とする。

## 謝辞

本研究は科学研究費基盤研究C課題番号19K04750の支援を受けたことに、感謝の意を表す。

## 【注釈】

- (1) ZEB定義：経済産業省によると「先進的な建築設計によるエネルギー負荷の抑制やパッシブ技術の採用による自然エネルギーの積極的な活用、高効率な設備システムの導入等により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギー化を実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、エネルギー自立度を極力高め、年間の一次エネルギー消費量の収支をゼロとすることを目指した建物のこと」と定義している。
- (2) ここで使用するビルは延べ面積10,000㎡以上の建物を指す。経済産業省資源エネルギー庁「ZEBロードマップフォローアップ委員会とりまとめ」（平成31年3月）
- (3) 環境省ZEBPOTALサイト  
<http://www.env.go.jp/earth/zeb/detail/04.html>
- (4) 平成28年 省エネルギー基準関係技術資料：エネルギー消費性能計算プログラム(非住宅版)解説  
[https://www.kenken.go.jp/becc/documents/building/Mannual/webprov2\\_manual\\_20200401.pdf](https://www.kenken.go.jp/becc/documents/building/Mannual/webprov2_manual_20200401.pdf)
- (5) 照明解析においては基本的には光源追跡法が用いられ、大域照明のアルゴリズムにラジオシティ法が用いられる。光源追跡法の反射率や光線数はElumtoolsの初期設定を使用している。

## 【参考文献】

- 1) 窪田真和, 樋山恭助, 加藤信介: BIM概念に基づく最適建築設計支援システムの開発: (第5報) エネルギー解析と照度解析を連成した事例研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, **3**, B-56, 2011
- 2) 三原邦彰, 荒井良延, 三浦克弘, 小野永吉, 佐藤正章: ZEBに向けた再生可能エネルギー利用システムの計画手法に関する研究開発: (その1) 開発の目的と再生可能エネルギー利用システムのエネルギー消費量評価, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, **3**, H-73, 2011
- 3) 岩淵 邦彦: 昼光利用と照明制御によるオフィスの省エネルギー, 照明学会誌, **80**(3), pp. 187-191, 1996
- 4) 竹部 友久: 日本の net ZEB 指向建築の取り組み: 照明学会誌, **98**(6), pp. 249-252, 2014
- 5) 吉澤望, 三木保弘, 山口秀樹, 田村仁人: 昼光利用によるオフィスの照明エネルギー削減効果の系統的検討. 東京圏の年間標準機賞データをを用いたシミュレーションによる検討, 日本建築学会環境系論文集, **83**(747), pp. 425-434, 2018