

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560710

研究課題名(和文) 省電力オフィス照明を実現する昼光・人工光併用照明の設計・評価法の確立

研究課題名(英文) Establishment of design method for office hybrid lighting of electric light and daylight

研究代表者

中村 芳樹 (Nakamura, Yoshiki)

東京工業大学・総合理工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30189071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：大幅な省エネルギーが実現できる、昼光を積極的に利用したタスク・アンビエント方式(視作業照明と環境照明を分離して設計する方式)のオフィス照明を実現するため、その設計指標を提案することを目標に、実際の昼光を導入した条件を含めた被験者実験を行った。その結果、(1)輝度画像を分析することで、タスク作業についても、空間全体についても、光の不足を感じるどうか、まぶしく感じるかどうかを判定できることを明らかにし、(2)省エネルギーを実現する昼光と人工光を併用した照明設計に利用できる具体的な指標を提案し、(3)昼光と人工光を組み合わせた照明設計が輝度画像を利用することで可能となることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In order to propose design index for office lighting, applicable to task and ambient lighting with active use of daylight, subjective experiment including real daylight as an experimental parameter, was conducted. As the result, 1) For both task lighting and ambient lighting, analysis of luminance image is useful to judge their applicability, 2) Numeric indices for appropriate lighting condition applicable to both electric lighting and daylighting were proposed, and finally 3) Use of luminance image analysis could realize appropriate hybrid lighting with electric light and daylight was suggested.

研究分野：建築環境工学

キーワード：昼光利用 オフィス照明 輝度画像 明るさ画像 順応

### 1. 研究開始当初の背景

持続可能な社会の実現が求められており、オフィスビルで省エネルギーを実現することが急務である。これまでのオフィス照明の設計では、室内を均一に照明する全般照明方式が採用され、省エネルギーを実現するには、照度値を下げるか、光源の発光効率を上げるかしか方法がなかった。

これに対して、照明方式をタスク・アンビエント照明(TAL)方式とすれば、省エネルギーを実現する可能性がみえてくる。作業用照明を、デスク灯のように、光源と机上面との距離が近いものとするれば、机上面で推奨照度を実現しても供給しなければならない電力は減少し、さらに今のオフィスでは、PCモニターを使った視作業が中心になっているから、必要とされる机上面照度は紙面の視作業より下がるはずで、その点も省エネルギーに寄与することとなる。さらに、TALを採用すれば、昼間は環境照明として昼光を積極的に利用することが可能で、電力をよりいっそう減らすことができる。

しかしながら、現在はそのような設計ができない。これは、人工光と昼光とを組み合わせ、環境照明を設計するための指標が存在せず、さらにまたPC作業にも紙面作業にも適用できる作業用照明の評価指標も存在しないからである。

### 2. 研究の目的

(1)実際の昼光(自然昼光)と人工光が併用されたオフィス光環境実験室を整備し、自然昼光を導入した照明環境の評価が、疑似窓を使った照明環境の評価と傾向として同じであるかどうかを確認する。変動を伴う自然昼光を利用することから、高速輝度測定システムを開発し、つづいて、整備された自然昼光が入射する昼光実験室において、さまざまな昼光条件のもとで、適宜人工照明を補助的に利用することで、光の不足を感じない条件を求める。そしてこの結果と、従来の疑似窓を使った実験結果との関係を検討する。

(2)順応の効果を考慮するためには居住者の視野内輝度を推定し解析する必要があるため、これまでに開発された明るさ画像<sup>1)</sup>を利用しつつ、明るさ画像変換の基本的な考え方であるコントラスト・プロファイル法<sup>2)</sup>に戻り、数量的に検討する方法を再考することで、昼光を用いた実験結果、人工照明を用いた実験結果、双方に適用可能な整合性の高い指標の導出を図る。

(3)昼光を用いた被験者実験の結果、および実験パラメータを統制した人工照明を使った被験者実験の実験結果から、昼光を利用したTALを設計するための具体的な指標値を提示する。

### 3. 研究の方法

#### (1)高速輝度画像測定システムの開発

本研究では自然昼光を用いる。屋外の光は、周知の通り、季節、天候、時刻などによって大きく変動し、ここでは、このような変動を伴う自然昼光の下で被験者に照明環境評価を行わせることになるため、被験者が評価を行った瞬間に照明環境を測定しなければならず、少なくとも数秒内での輝度画像測定が求められる。ところが、現在所有のデジタル・カメラを利用した輝度画像測定システムは、測定レンジを広げるため10枚の異なる露出で撮影するため、1分半ほど測定時間が必要である。そこで、数秒以下で輝度画像として十分なレンジを測定できる高速輝度測定システムを構築する。

#### (2)昼光・人工光の双方を利用できる実験室の整備

本研究では、自然昼光の状況に合わせて、適宜人工照明を組み合わせ、被験者評価を行うことになるため、窓が設置された実験室に付加すべき人工照明設備を整備する。省電力照明の基本的な考え方は、必要な場所に必要最低限の光を供給することであるため、TAL(タスク・アンビエント照明)システムを基本とし、タスク(視作業)照明用器具(主にデスクライト)と、作業空間付近のアンビエント照明(環境照明)用器具と、室内全体のアンビエント照明用器具を整備する。アンビエント照明では壁など目に見える部分の照明が重要であることが分かっているため、それらを操作できる照明とする。またオフィスでは、居住者同士の会話も重要な評価要素であるため、会話を想定した場合のワーカーの顔の見え方を確保する照明器具も整備する。また実験では、実験パラメータを統制した実験が行えるよう、昼光を遮断して任意の光環境もつくり出せる実験室とする。

#### (3)被験者を使った照明環境評価実験の実施

できるだけ自然昼光だけで通常のオフィス作業を進めるという条件の下、視作業(PC作業、紙資料を使った作業)、周囲の人との会話、オフィス全体を眺めるといった行為をそれぞれ想定して、照明環境としても問題はないかどうかを判断させ、問題がある場合にはどこにどのような問題があるかを指摘させ(具体的にどこが眩しい、どこが暗いなど)、その評価と共に、被験者の視野内の輝度画像を測定する。天候、季節などのバリエーションが十分取れる必要があるため、春秋分、冬至、夏至を中心に、それぞれ1週間から2週間程度、朝から夜まで1時間毎を目安に、座席位置、視線方向などの条件を変化させてデータを収集する。まず自然昼光のみの環境で評価を行い、その光環境を測定し、光の不足を感じるなどの場合には適宜タスク照明、アンビエント照明を付加して評価し、その光環境を測定する。その後、実験パラメータを統制した実験を行うため、人工照明のみを使っ

て同様の実験を行う。

#### (4)被験者評価と明るさ画像を含む測光データとの比較・分析

疑似日光を使った準備研究で既に得られた、光の不足を感じないぎりぎりの条件での輝度画像、明るさ画像と、本研究で得られた同様の条件での輝度画像、明るさ画像を比較し、昼光・人工光によらず、同様の輝度分布であれば同じ評価となることを確認する。さらに、明るさ画像から抽出できる指標、およびコントラスト・プロファイル法から展開された指標を検討し、その指標と被験者の行った環境評価との関係を検討する。

### 4. 研究成果

(1)時間的な変動が大きい自然日光を使った実験に不可欠な高速輝度画像測定システムを開発することで、自然日光を使った被験者実験を可能とし、南側採光の昼光実験室を整備し、被験者を使った照明環境評価実験を実施した。照明環境評価の評価は、実験は、夏季(8/26~9/9)、秋季(9/25~10/20)、冬季(11/28~12/19)といった当初予定した季節すべてについて行い、実験に参加した被験者は、夏季11名、秋季7名、冬季11名で、実験の結果得られたデータは、さまざまな昼光条件、人工照明条件下ではあるが、不足感0の評価(不足を感じるぎりぎりの状態)を689ケース、また不足感2(やや不足を感じる状態)については128ケースを収集した。

実験の結果得られたデータを、既往研究のデータと比較検討した結果、自然日光を用いた実験結果と疑似日光(蛍光灯と乳白パネルを使用)を用いた実験結果には違いはなく、輝度分布が正確に把握されていれば、自然日光であれ疑似日光であれ、その光環境を同様の方法で評価できることを示した。

(2)研究成果を世界的にも利用させるための方策として、明るさ画像だけではなく、コントラスト・プロファイル法から展開された指標を利用することを検討した結果、視対象が明白な、作業用の照明についての評価は、CA図を用いて検討できることを明らかにした。CA図とは、視対象を検出サイズとするフィルタリングによって得られるコントラスト値(C値)と、視対象と背景を含む領域(視対象サイズの3倍程度の範囲)の対数輝度平均(A値)を用いて、光環境を評価する方法である。

(3)オフィスで行われるPC作業と、紙面を使った作業の両方の最適な光環境を推定するため、実験結果を、CA図を用いて、双方の視作業に対する性能を評価してみたところ、モニター、紙面によらず、光の不足を感じる条件、まぶしさを感じる条件とも、CA図上で直線として示されることが明らかになり、CA図

を用いれば、タスク照明の適不適を客観的に判定できることが明らかになった。

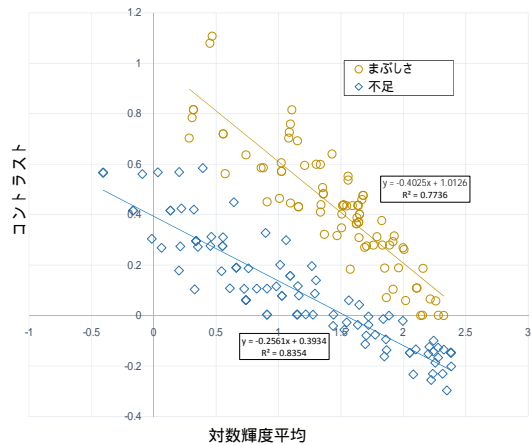


図 紙面作業・PC作業ともに作業性が確保される範囲(二つの直線ではさまれた範囲)

(4)空間全体について、光の不足を感じる条件を検討するため、通常の輝度画像だけでなく、全方位カメラを用いて測定範囲を広げた輝度画像なども用いて、さまざまな検討を加えた。CA図を用いた検討も行ったが、CA図はコントラストを算出する大きさを想定する必要があることから、特定の視対象がない空間全体について適用することは難しい。そこで、明るさ画像を用いて不足感の推定を行うことを試みた。全実験データを改めて分析したところ、輝度画像より変換される明るさ画像において、特定の範囲の値をもつ領域(7.5~9NB、および4~6.5NBの範囲)の割合を用いれば、高い精度で不足感の程度を推定できることが明らかになった。さらに、推定値と異なる条件を精査したところ、明るさ画像の分散が小さい場合には明るめになることが明らかになった。

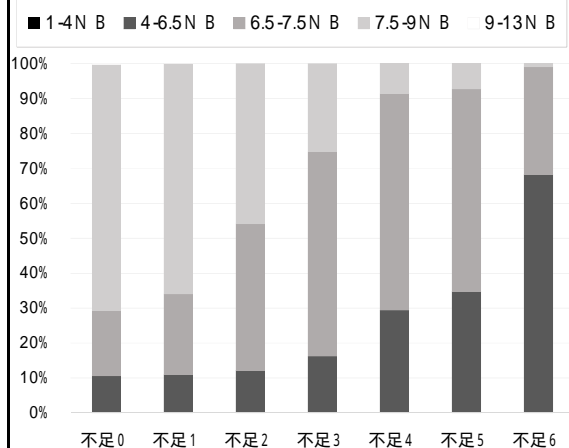


図 明るさ画像の領域率と空間全体の不足感評価の関係

本研究の全体を通しての成果は次のようである。まず、(1)輝度画像を分析すること

で、タスク作業についても、空間全体についても、光の不足を感じるどうか、まぶしく感じるかどうかを判定できることを明らかにした。次に、(2)省エネルギーを実現する昼光と人工光を併用した照明設計に利用できる具体的な指標を提案した。以上より、(3)昼光と人工光を組み合わせた照明設計が輝度画像を利用することで可能となることを明らかにした。

#### 引用文件

1) 中村芳樹：ウェーブレットを用いた輝度画像と明るさ画像の双方向変換 - 輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究(その3) - ;照明学会誌、Vo.90, No.2 pp.97-101, 2006

2) 中村芳樹：光環境における輝度の対比の定量的検討法；照明学会誌、Vol.84, No.8A, 522-528, 2000

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

(1) 日下郁美、中村芳樹、守分史彦：昼光を併用したオフィスのタスク・アンビエント照明設計手法、日本建築学会 2014 年度大会学術講演梗概集、D, 559-560, 2014

(2) Yoshiki Nakamura, Naofumi Fujita: Just Sufficient Lighting Condition under Hybrid-Lighting of Real Daylight and Artificial Light, Proceedings of CIE Centenary Conference 'Towards a New Century of Light', pp.276-281, 2013.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 芳樹 (NAKAMURA, Yoshiki)

東京工業大学・大学院総合理工学研究

科・准教授

研究者番号：30189071

(2)研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者

( )

研究者番号：