

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：82115

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420593

研究課題名(和文) 日照調整装置を用いた昼光利用による照明省エネルギー効果の年間計算手法の開発

研究課題名(英文) Development of annual calculation method of lighting energy saving effect by daylight utilization using various shading devices

研究代表者

三木 保弘 (Miki, Yasuhiro)

国土技術政策総合研究所・住宅研究部・室長

研究者番号：90356014

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：照明の省エネ対策として高い効果が見込まれる昼光利用について、効果を適切に評価できることが求められているが、現状の昼光利用効果算定は、昼光利用により生じる窓面のグレアや空間の明るさ感などは考慮されないことから、室内環境の質は十分に担保できているとは言い難い。そこで多様な日照調整装置を用いた昼光利用において、年間での室内環境の質を担保した照明の省エネルギー効果計算法を確立するため、模型評価実験及び年間の昼光シミュレーションに基づく輝度解析を実施し、空間の明るさ感指標として平均輝度評価の可能性、グレア評価として既存指標DGPの可能性、それらを用いた照明消費量削減効果の算定法について示した。

研究成果の概要(英文)：As energy saving measures for lighting, daylight utilization is expected to be highly effective, so it is required to be able to evaluate its effect appropriately. However, in the current calculation of annual daylight utilization effect, quality of indoor visual environment is insufficiently satisfied since glare from the window and spatial brightness by daylight utilization are not considered. Therefore, in this research, to development of annual calculation method of lighting energy saving effect which satisfied the quality of indoor visual environment of the daylight utilization using various shading devices, the subjective experiment with scale models and luminance analysis from annual daylight simulations were carried out. As a result, we showed the possibility of average luminance evaluation as index of spatial brightness, the possibility of existing index DGP as glare evaluation, and the calculation method for reduction effect of lighting consumption using them.

研究分野：光環境

キーワード：昼光利用 照明エネルギー 日照調整装置 年間計算法 空間の明るさ 窓面のグレア

1. 研究開始当初の背景

我が国では、建築物の運用時のエネルギー消費量削減が大きな課題となっており、照明設備については、自然エネルギーとしての昼光利用による省エネルギーが期待されている。

昼光利用時の省エネルギー効果を算定するにあたり、現状では特定の室内光環境を担保する指標として、紙面の見やすさを確保する水平面(机上面)照度が用いられることが一般的である。しかしながら、机上面照度だけでは昼光利用時の室内環境の質(快適性や満足度等)を十分に担保することができないことは、既往の室内環境の実態調査等により明らかにされており、昼光利用による照明の省エネルギー効果算定において、窓面のグレアや空間の明るさ感等の、室内環境の質を担保するための指標を考慮する必要がある。

そのためには、窓面や壁面など鉛直面に関する物理量(鉛直面照度・輝度分布)を算出する必要があるが、計算が煩雑であることから十分に進んでいないのが現状である。

従って、昼光利用と人工照明の併用時の窓面のグレアや空間の明るさ感等に関する知見を評価実験により得て、それらの知見を基にできるだけ簡易な指標で室内環境の質的側面を担保可能な、年間の省エネルギー効果算定が可能な方法を開発することが必要である。

また、省エネルギー基準では、昼光利用による照明エネルギー消費削減効果は、ブラインドだけが考慮されている。今後、ブラインド以外のルーバーやライトシェルフ等の昼光導入を調整する装置(以下、本研究では「日照調整装置」として扱う)等による広範囲の手法の質的側面を担保した昼光利用による省エネルギー効果を従前に比べ適切に評価できるようにすることが不可欠である。

2. 研究の目的

以上の課題と成果をうけ、本研究では、多様な日照調整装置を用いた昼光利用による室内環境の質的側面を担保した照明省エネルギー効果を、年間を通じ算定できる手法の確立を目的とし、具体的に以下の3点を明らかにする。

(1)日照調整装置を用いた場合のグレア簡易予測式の確立

日照調整装置を用いた昼光利用の評価実験で、窓面のグレアを、日照調整条件、太陽条件などから簡易に予測する式を確立する。

(2)日照調整装置を用いた場合の明るさ感推定簡易指標の提案

日照調整装置を用いた昼光利用の評価実験で、空間の明るさ感を、鉛直面照度・平均輝度等により簡易に推定する式を提案する。併せて、日照調整装置を用いた場合の影響が大きい上方及び下方への室内への光束量及び装置の可視光透過率による、明るさ感を代替する昼光利用の簡易指標についても検討

する。

(3)日照調整装置を用いた場合の照明省エネルギー効果の年間計算法の確立

種類の異なる日照調整装置の様々な昼光条件に対し、グレアの簡易予測式及び明るさ感推定簡易指標により、室内環境の質を保った場合の照明省エネルギー効果の算定方法を確立する。

3. 研究の方法

(1)日照調整装置の昼光利用時の視環境評価

昼光下における一般的なオフィス執務室を想定した縮尺模型内の窓面を含む視環境を被験者に評価させる実験により、一般的なブラインドを含む日照調整装置の違いによる視環境評価の傾向を把握した。

(2)日照調整装置の昼光利用時の年間視環境評価予測

視環境評価実験の結果を基に、精度の高い昼光環境ソフトウェアを用いて、窓面を含む内部の輝度分布計算に基づく年間視環境の予測を行い、適切な視環境が確保できる範囲と日照調整装置の種類の間接関係を示した。

(3)日照調整装置による昼光利用効果の年間計算法検討

評価実験結果及び年間視環境の予測に基づく適切な視環境が確保できる範囲と日照調整装置の種類の間接関係から、年間での昼光利用効果の計算法を示した。

4. 研究成果

(1)日照調整装置の昼光利用時の視環境評価実験概要

オフィス執務室を想定した縮尺模型を昼光下に設置し、一般的なブラインドを含む日照調整装置を窓に付着させた場合の室内視環境を被験者に評価させる実験を、中間期(9-11月)の晴天を中心とした9時及び12時に実施した。

実験に用いた1/12縮尺模型を図1に示す。模型の天井部には照度センサが設置され、昼光利用を行っても室奥等で机上面相当の設定照度が500lxを下回った場合、模型天井部のLED照明が、設定照度を満たすように調光点灯される。

被験者は20代男女9人で、机上面照度500lxに設定された基準ボックスで2分間順応したのち模型室奥壁面の覗き穴から模型内部を見て、執務空間としてみた場合の室内の明るさ感について、基準ボックスを100とした時の相対的な室内の明るさ感の値(ME値)と7段階尺度による評価、窓面のまぶしさ等について、7段階尺度で評価を行った。また、それぞれの評価時の模型室奥被験者の視点からの輝度画像及び被験者の視点に入社する鉛直面照度を取得した。

評価条件である窓面に設置する日照調整装置種類の一覧を表1、各装置が設置された模型内部の室奥からの午前9時における画像を図2に示す。

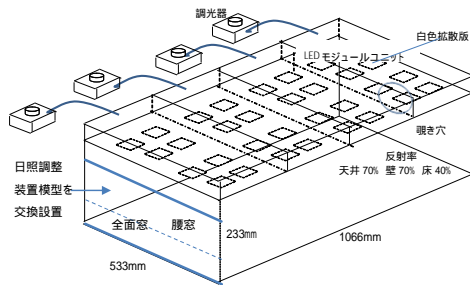


図1 1/12縮尺室内模型の仕様

表1 日照調整装置種類

条件番号	日照調整装置
1	全窓 調整装置なし
2	全窓 水平ルーバー
3	全窓 短庇 縦ルーバー
4	全窓 ブラインド(30°)
5	全窓 短庇
6	全窓 短庇 ライトシェルフ
7	全窓 長庇 袖壁 ブラインド(0°)
8	腰窓 短庇 ライトシェルフ
9	腰窓 短庇 ブラインド(30°)

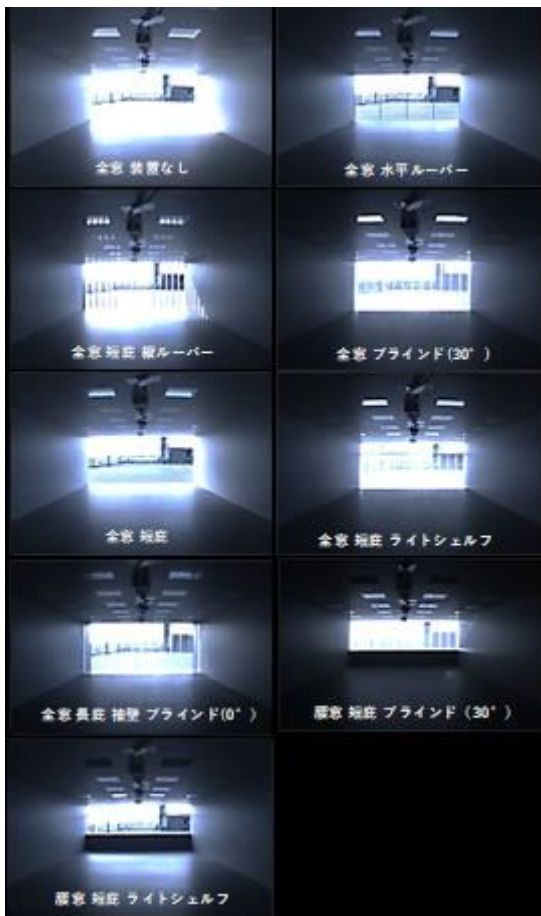


図2 日照調整装置毎の模型内部画像

解析結果

被験者による全日照調整装置の場合の空間の明るさ評価を目的変数、輝度画像から算

出された平均輝度と被験者を説明変数として回帰分析を行ったところ、高い相関(R2乗値0.56)が得られた。図3は、ある被験者のME評価値と評価時の平均輝度の関係である。また、被験者による窓面のまぶしさ評価を目的変数、輝度画像から算出された昼光利用時のまぶしさ感の程度を表す既往のグレア指標DGP(Daylight Glare Probability)と被験者を説明変数として回帰分析を行った結果、一定の相関(R2乗値0.38)が得られた。図4は、ある被験者の窓面の眩しさ評価値と評価時のDGPの関係である。以上より、日照調整装置の視環境評価の違いは、昼光利用時であることから、被験者間の評価に違いが大きい、被験者ごとでは、空間の明るさは平均輝度、まぶしさ(グレア)はDGPをベースにしておよそ評価できそうであることがわかった。

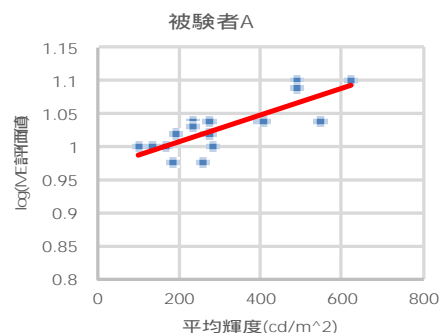


図3 空間明るさ評価と平均輝度(被験者A)

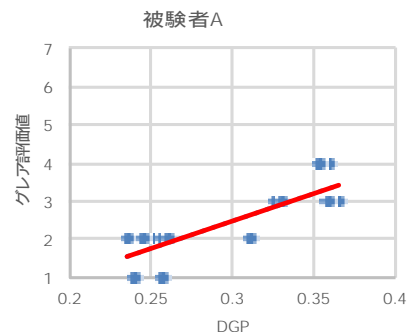


図4 窓面のグレア評価とDGP(被験者A)

(2) 日照調整装置の昼光利用時の年間視環境評価予測

評価実験は、限られた時刻の代表的な結果であるので、昼光環境シミュレーションソフトウェア Radiance で、実験で想定したオフィスと同じ仕様の室について、年間の東京での気象データを用いた窓面から12m相当の視点からの昼間の輝度分布照明シミュレーションを行い、評価実験の結果を基に、日照調整装置毎に年間での平均輝度及びDGPが適正範囲内である時刻の割合を算出した。

本研究では、平均輝度の適正範囲は、図5に示す被験者全体の7段階尺度による空間明るさ評価の結果から、やや暗すぎる(評価値3)の下位25%を除く範囲とやや明るすぎる(評価値5)の上位25%を除く範囲から152~468(cd/m²)を輝度の適正範囲とした。DGP

は既往研究で適正範囲とされる 0.25 以下とした。また、視点位置を窓面から 4m 地点に変更して行った年間シミュレーションからも同様に DGP 及び平均輝度が適正範囲内である時刻の割合を算出した。

上記の平均輝度及び DGP が適正範囲である時刻の割合をグラフ化したものが図 6、図 7 である。図 6、図 7 より、平均輝度、DGP、日照調整装置の種類には一定の関係があるが、窓面から 12m の年間シミュレーションでは、平均輝度が適正範囲内である割合が非常に低く、空間の明るさは適正に評価できていない。これは年間の輝度分布シミュレーションの膨大な負荷の観点から低く設定する必要があったパラメータのうち、環境光の反射回数が少なく、室内の視点位置で平均輝度に占める割合の大きい天井・壁・床の値が小さいことが理由と考えられる。一方、図 7 に示した窓面から 4m の年間シミュレーションでは平均輝度と日照調整装置の関係がある程度読み取れる適正範囲の割合となっている。

また、DGP は窓面の輝度だけによるので視点の影響は小さく、適正範囲となる時刻割合と日照調整装置の関係は見とれる。

その他、具体的に平均輝度・DGP が適正範囲となる割合が多くなると考えられる日照調整装置は以下ようになる。窓面積が少ない腰窓で短庇・ブラインド 30 度を除き、長庇・長袖壁でブラインド 0 度となる緩衝空間を形成する建築的な日照調整装置は、眺望を確保しながら昼光利用で一般的な全面窓のブラインド 30 度の場合と同程度の平均輝度・DGP の適正範囲の割合となっており、縦ルーバーは、短庇と組み合わせることで、水平ルーバーよりも平均輝度と DGP の適正範囲の割合が高くなる。ライトシェルフはブラインドと組み合わせることで、室内への導光効果と合わせて適正範囲となる割合が高くなる。

以上より、年間計算による日照調整装置の違いによる空間の明るさは、平均輝度だけで考える場合、窓及び窓周辺の範囲の評価となる窓近傍の範囲で評価できる可能性があるが、その範囲の切り出し方について、より詳細な検討が必要と考えられる。また日照調整装置を用いた場合の明るさ感を代替する昼光利用の簡易指標化は、この課題解決に基づき検討することが必要と考えられる。年間計算による日照調整装置の違いによるグレアについては、DGP による評価が有効であり、どの視点でも評価できそうであることがわかった。加えて、空間の明るさ感、グレアの観点で日照調整装置種類の相互関係が示され、いくつかの装置については、妥当な空間の明るさ・グレアレベルを確保できる可能性があることもわかった。

(3)日照調整装置による昼光利用効果の年間計算法検討

実験の晴天を中心とした評価において、机

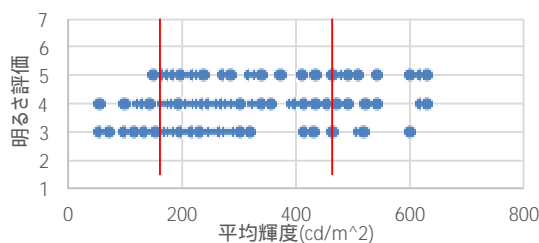


図 5 平均輝度の空間明るさ評価適正範囲

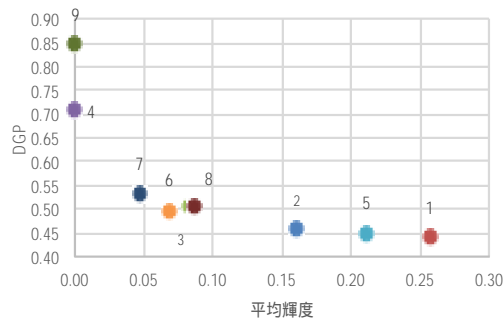


図 6 平均輝度、DGP (12m)、装置種類の関係

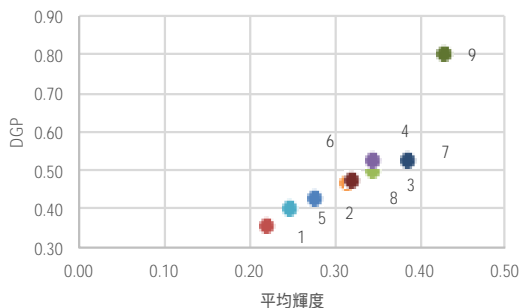


図 7 平均輝度、DGP (4m)、装置種類の関係

上面照度は室内も含めて殆ど 500 lx を上回ったため、本実験の様々な日照調整装置による年間の照明削減効果は、一般的な日照調整装置のブラインド以上の値が得られると考えられる。

前節 4.(2)の結果に基づき最終的に妥当な空間の明るさ・グレアレベルを確保できる可能性にある日照調整装置について、年間昼光利用効果の計算を、昼光環境シミュレーションソフトウェア Radiance を用いて行い、現在省エネルギー基準で年間の昼光利用による削減効果係数が設定されているブラインドと同様に、係数として簡易化を行うことができる。

その場合の年間照明消費電力量は次の手順で算出する(図 8)。

明るさセンサ設置位置における年間の昼光照度を算出する。

人工照明のみによる平均机上面照度が設定照度となるための調光率(基準調光率)を算出する。

室に設置するすべての人工照明をの基準調光率で点灯し、各明るさセンサの目標照度(基準センサ照度)を計測する。一つの調光エリアのみ人工照明を 100%点灯し、その調光エリアの照明による各明るさセンサ照度(照明勢力)を計測す

る。
 ~ より昼光導入時の明るさセンサの調光率を算出する。
 照明器具の仕様から、 で算出した調光率を乗じ、各時刻の照明 1 台当たり消費電力を算出する。
 室全体の照明器具台数で総和し、保守率・年間点灯時間を乗じて昼光利用時の年間照明消費電力量を算出する。

最終的な照明消費電力量削減効果は、算出された昼光利用時の年間照明消費電力量夜間の人工照明の設定での年間消費電力量との比で求められる。

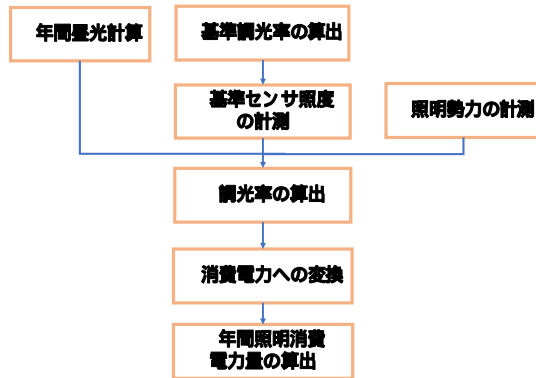


図 8 昼光利用時の年間照明消費電力計算法

(4)まとめ

以上の成果から、多様な日照調整装置を用いた昼光利用において、年間での室内視環境の質を担保した照明の省エネルギー効果計算法を確立に向け、空間の明るさ感指標として平均輝度評価の可能性と課題、グレア評価として既存指標 DGP の可能性、それら指標を用いた照明消費量削減効果の算定法を示した。今後は、昼光利用時の年間での空間の明るさ感評価の課題を解決し、簡易化を図るとともに、系統的シミュレーション等の実施によって、ブラインド以外の室内環境の質を確保でき、かつ照明エネルギー削減効果の高い日照調整装置の適切な仕様を定め、省エネルギー基準への日照調整装置の昼光利用評価拡張へと活用する。

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 0 件)

[学会発表](計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

三木 保弘 (MIKI, YASUHIRO)

国土交通省国土技術政策総合研究所・住宅研究部・室長

研究者番号：90356014

(2)研究分担者

吉澤 望 (YOSHIZAWA, NOZOMU)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：40349832

(2)研究分担者

加藤 未佳 (KATO, MIKA)

金沢工業大学・基礎教育学部・講師

研究者番号：00409054