

氏名（本籍）	李 承霖（中国）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	工博 甲第 246 号
学位授与の日付	平成 30 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学資源学研究科・電気電子情報システム工学 専攻
学位論文題目（英文）	昼光の利用における窓に設置する採光装置による室内照度分布の改善に関する研究 (Study on the Improvement of Interior Illumination Distribution by Using Lighting Equipment on Window in order to Use Daylight)
論文審査委員	(主査) 教授 倉林 徹 (副査) 教授 田島 克文 (副査) 教授 小原 仁 (副査) 教授 熊谷 誠治

論文内容の要旨

一般的にオフィスビルでは朝から夜までの作業時間中は、常に照明を点灯する必要があり、そのため、照明が消費する電力量は総消費電力量の約2～3割程度を占めている。そこで、昼光利用によるオフィス空間全体の省エネルギーへの効果は大きいと考えられ、昼光を積極的に利用する採光装置の開発が注目を浴びている。

実際に採光装置を開発するときは、季節・天気などを考慮しなければならない。例えば、昼光利用の際、部屋に入る直射日光は眩しいため直接利用できないことが多い。また、太陽高度(太陽光線と地平面のなす角度)は、秋田市の場合、太陽が最も高く昇る夏至の正午頃では約75°で、一方、冬至では約30°であるように、季節によって変動する。また、太陽の方位角(地平線に沿って測った太陽の方向を示す角)も時間帯の変化に伴って、朝の東方向から夕方西方向まで移動する。このような太陽高度の変化から、窓から屋内に入射する光の角度も変化し、それにより屋内の照明環境にも影響があることが考えられる。これらの問題を解決するため、季節による強光遮蔽と昼光利用を両立する窓システムを開発する必要がある。

本研究では、窓に角度変化型ブラインドの反射板を付けることで、入射する直射日光を天井に反射させ、天井の荒い材質からの拡散反射光を室内照明に利用することを目標とし

ている。四季の太陽高度の変化に応じて、優しい室内環境を作ると、窓からの直射する眩しい昼光も避けられる。実際照明設計をする際に作業面の照度分布を求める必要がある。しかし、窓からの入射光の角度や入射光量は徐々に変化するものであり、様々な状況の照度分布を知るには、実測や手計算などで、設計に膨大なコストや時間を費やすことになる。

そこで、これらの照度を実測・手計算するための時間的、費用を削減するために、本研究では、モンテカルロ法を用い、照度分布シミュレーションを行うこととした。シミュレータを作成するにあたり、照明器具、部屋、窓を自由に設定・設置できるようにした。また、反射板の角度、計算終了後には照度分布図を表示できるような照度分布シミュレータを目指した。季節・時間帯による太陽高度の変化も模擬でき、一年中使用可能なシミュレーションソフトを作成した。特にモンテカルロ法は他の方法と比べると、光の性質をコンピュータ上でより高い精度で再現でき、仮想空間に求めたい室内の様々な条件を模擬することで、照度分布を算出するのである。しかし、優れた計算結果を得るため、膨大な計算回数が必要である。これに対し、本研究は照明器具からの光子束発生方法に新しいモンテカルロ手法を用いることにより、点光源で様々な形状の蛍光灯を再現し、シミュレータで照度分布の計算速度を短縮できた。まずは、作成したシミュレータを用いて、実測値とシミュレーション値の比較により、照明器具の妥当性と窓の妥当性两部分を検証した。今後はこの手法を用いて、室内空間の照度分布を調査した。そのシミュレーション結果から、太陽角度と窓での反射板の角度を変化させた場合の室内照明環境の比較と消費電力削減の可能性の検討を行った。

実際シミュレーションする際に、秋田大学の一般的の研究室を仮定したモデル空間を想定し、日本工業規格(JIS)の「照明基準JIS Z 9110:2010」に記載された室内照明基準を目標とし、照度分布計算を行った。シミュレーションに使用した太陽角度は秋田大学での太陽高度角と太陽方位角を利用し、太陽光束量も実測値により計算したものである。そして、夕焼けなどの問題を避けるため、本研究は年中朝9時から午後15時までの時間帯で昼光の採用が可能とされる。また、窓に反射板が設置した場合と設置しない場合のことが明らかになって、ブラインド反射板の有効性が確認した。

反射板が設置された窓システムでは、反射板の設計は重要である。例えば、反射板を設計する際には、その幅が大きくなると、天井に反射できる昼光を遮断し、部屋内部に取り入れる光量が少なくなる。一方、幅が短くなると、眩しい昼光は反射板の間隔を通し、作業場に照らすことと考えられる。また、反射板は長すぎると、壁や天井などにぶつかり易くなって、短くなると、眩しい昼光は直接作業面に照らす。そのため、反射板の実用性や性能を高めるため、できるだけ多くの光を天井に反射するように設置し、ブラインド反射板の寸法を検討した。これにより、手計算によるブラインド反射板の枚数、長さ、間隔などのパラメータを決定した。実際シミュレーションする際に、快適な照明環境できるため、入射光を天井の中心に反射できるように設置してある。本研究は、JIS照度基準値を目標値と定め、太陽の位置の変化による屋内環境の変化を知り、それぞれの環境下において快適

な照明環境を満たすためのブラインド反射板のスラットを水平角と垂直角二つの方向で動きながらシミュレーションした。

シミュレーション結果より、昼光を利用したとき、曇りの場合では最低33%以上の省エネルギーができ、晴れの場合では、ブラインド反射板の角度をうまく調整すれば、人工的な照明器具を点灯しなくても照度基準を満たすことができ、つまり、消費電力が全く発生しない照明システムも可能になる。これから、ブラインド反射板を設置した窓システムを改善することにより、もっと良い省エネルギー効果が期待され、持続可能な省エネ社会に貢献できる。

論文審査結果の要旨

本研究では、窓に角度変化型ブラインドの反射板を付けることで、入射する直射日光を天井に反射させ、天井の荒い材質からの拡散反射光を室内照明に利用するシステムの構築を目標としている。本論文の内容は以下のものである。

第1章は序論である。屋内照明に自然光の利用の背景や研究の目的を述べている。第2章では照明関係のシミュレーションの概要とその方法について説明している。

第3章では本論文で使用した照度分布シミュレータの作成法やその妥当性を検証した。モンテカルロ法を用いた照度分布シミュレーションの手法について述べている。シミュレータを作成するにあたり、照明器具、部屋、窓を自由に設定・設置できるようになっている。また、反射板の角度、計算終了後には照度分布図を表示できるような照度分布シミュレータとなった。季節・時間帯による太陽高度の変化も模擬でき、一年中使用可能なシミュレーションソフトとなった。本研究は照明器具からの光子束発生方法に新しいモンテカルロ手法を用いることにより、点光源で様々な形状の蛍光灯を再現し、シミュレータで照度分布の計算速度を短縮できた。まずは、作成したシミュレータを用いて、実測値とシミュレーション値の比較により、照明器具の妥当性と窓の妥当性两部分を検証した。

第4章では本研究で考案した照度分布シミュレータを使い曇りの日、自然光の採光及びその利用による消費電力削減を検討した。秋田大学の一般的の研究室を仮定したモデル空間を想定し、日本工業規格(JIS)の「照明基準 JIS Z 9110:2010」に記載された室内照明基準を目標とし、照度分布計算を行った。シミュレーションに使用した太陽角度は秋田大学での太陽高度角と太陽方位角を利用し、太陽光束量も実測値により計算したものである。そして、夕焼けなどの問題を避けるため、本研究は年中朝 9 時から午後 15 時までの時間帯で昼光の採用が可能とされる。

第5章では、照度分布シミュレータを利用し、ブラインド反射板の有効性が確認した。夏季における自然光の利用法について述べている。夏季の自然光は眩しくてその採光に関する報告はない。そこで、窓の反射板の形状やスラット角の調整による夏季の直射光でも採光が可能となり、日本工業規格(JIS)の「照明基準 JIS Z 9110:2010」に記載された室内照明基準を満たし

た照明環境を確保できた。

第6章では、本研究で開発した照度分布シミュレータを利用し、複数列の反射板を窓に設置し、同時に水平方向及び鉛直方向にもスラット角の変化を加える場合の採光法をシミュレーションした。但し、夏の自然光は眩しいため、実際は反射板の一部を閉じたままにし、残りの反射板のスラット角の調整による快適な照明環境になることがわかった。

第7章は、結論である。

なお、本論文で得られた成果はすでに2編の原著論文として査読付きの学術論文誌に掲載されている。また、他に3編の原著論文を投稿中である

このように本論文では、シミュレーション結果より、昼光を利用したとき、曇りの場合では最低33%以上の省エネルギーができ、晴れの場合では、ブラインド反射板の角度をうまく調整すれば、人工的な照明器具を点灯しなくても照度基準に満たすことができ、つまり、消費電力が全く発生しない照明システムも可能になる。これから、ブラインド反射板を設置した窓システムを改善することにより、もっと良い省エネルギー効果が期待され、持続可能な省エネ社会に貢献できる。

よって、本論文は博士（工学）の論文として合格と認める。