

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25889007

研究課題名(和文) 建築空間の太陽光利用を容易にする固定式太陽光採光ミラーの開発

研究課題名(英文) Development of fixed solar lighting mirror to facilitate daylighting of architectural space

研究代表者

小林 光(Hikaru, Kobayashi)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90709734

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：建築空間への直射日光による採光に関して、太陽の高度・方位による影響の極力少ない固定式採光手法について検討を行った。本研究では、屋外に設置して窓面から屋内の天井面への採光、吹抜空間上部から吹抜空間内への採光に適用可能な固定式採光ルーバーの基本的な形状の開発に成功した。また、前述のルーバーの計画手法を応用した光ダクト状の採光装置を検討し、最終的にトップライトの様に屋上などに用いる事が想定される、地軸に平行な軸を回転中心とした回転体形状の採光装置を開発するに至った。改良の余地はあるものの、この方法によって理論上は太陽方位に全く左右されずに特定方向の限定された範囲を照射する採光装置の計画を可能とした。

研究成果の概要(英文)：With respect to daylighting technology which uses direct sunlight to the architectural space, we were examined the possibility of fixed lighting devices which are not significantly affected by solar trajectory. We succeeded to develop basic daylighting louver shape which can be installed as 2D surface outside of window or top of building vertical void space. Which can diffuse direct sun light to indoor ceiling or wall of void space. By applying the design method of former mentioned louver, we also developed basic idea of daylighting device which can be used as top light. The device has 3D rotary body shape of the louver which has center of rotation parallel to the axis of the earth. Daylighting devices using this method are not affected at all solar azimuth theoretically and the method makes it possible to plan daylighting device for irradiating a limited range in a space, stably.

研究分野：建築環境工学

キーワード：昼光利用 自然採光 非結像

1. 研究開始当初の背景

建築分野では CO₂ 排出抑制を目指した照明エネルギーの削減や居住環境の向上、知的生産性の向上等を目的として、太陽光の直接利用が注目されている。建築における昼光利用は、光ダクトと称される内表面を鏡面としたダクトによる採光に代表される、パッシブな固定採光装置と、太陽追尾装置を備えたアクティブな採光装置の事例がある。一般にパッシブ採光は簡易だが太陽高度の変化で光量の増減が激しく不安定である。アクティブ採光は安定した光量を自在に採光可能だが、装置が高価で光量を増やしにくく、電力も必要で各々一長一短がある。近年欧州を中心に非結像光学を用いた Anidolic Daylighting System と称される、固定式でありながら太陽高度に影響され難い採光技術が研究され、固定式採光の新たな可能性が示されているが、日本での研究開発事例は乏しい。今後の建築空間の省エネルギー化の為に、非結像などの技術を用いた簡易な採光装置の研究・開発が望まれる。

2. 研究の目的

本研究計画では、建築空間への太陽光利用を簡単化するために、季節や時刻による太陽の方位・角度に大きく影響されずに深い吹抜空間に太陽光を採光できる、非結像光学による固定式採光ミラーの開発を目的とし、具体的には、(1)建築の窓面外部に設置し、空間内に太陽光を安定に取り入れる採光装置、(2)建築の天窗や吹抜空間に適用可能な固定式採光装置の研究・開発を目指した。

	従来のパッシブ採光技術	アクティブ採光技術
構成	例：光ダクト 主に室内用途 拡散光	太陽追尾装置 平行光 高層空間対応可能
長所	<ul style="list-style-type: none"> 稼働部がなく簡易 メンテナンス不要 比較的安価 	<ul style="list-style-type: none"> 季節、時間に関係なく採光 平行光線として採光可能 遠距離の光搬送が可能
短所	<ul style="list-style-type: none"> 季節や時間で採光量が変化 拡散光 遠方に光を搬送できない 	<ul style="list-style-type: none"> 採光装置はメンテナンス必要 イニシャルコスト高く、採光量を増やしにくい

	開発を目指す非結像光学を用いた固定式採光ミラー
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 稼働部がなく簡易なパッシブ採光でありながら、季節や時間に左右されにくい。 拡散光を限定的な範囲に照射(指向性のある拡散光) 大空間にも適用可能 比較的安価に製造できる 大面積への採光が可能

図 1. 従来の建築採光と非結像光学による採光

3. 研究の方法

(1) 非結像光学の手法の調査

既に確立された非結像光学の手法(光を 1 点に集光・結像させるパラボラ等に対し、結像を目的とせず、光や熱線のある範囲に効率よく集光させることを目的とする)を調査し、今回の目的に合った方法を決定した。flow line と称される反射面の設計法を採用した。例として図 2 に示す 2θ の角度を以って逆 V 字型に組み合わされた半直線光源を仮定した場合、この光源から放射された光による flow line は図中の破線で示す放物線と直線で表される。この flow line に沿って反射面 a, b を設定すれば、図中の光源の部分(面 I)が放射した光は面 II から 2θ の範囲で放光される。この光を逆に辿れば、面 II に角度範囲 2θ で入射した光は全て面 I に集光される。この手法により、設定した角度範囲 (2θ) からの集光や放光が可能な採光装置が検討できる。

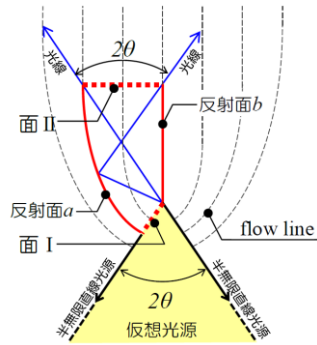


図 2. 選択した非結像光学の手法の概要

(2) 太陽高度に対応した採光装置の検討

日本をはじめとするアジアの多くの地域は中低緯度地域に広がり、夏季の太陽高度は極めて高い。採光装置を窓面などに垂直に設置する場合、窓内に設置しても入射角度が大きくガラス面の反射が多くなる他、窓枠等で日陰となって十分に機能させる事が難しい(図 3)。その為、窓外に設置可能な採光ミラー断面(ルーバー型、2D 形状)を検討した。窓外では降雨及び風への対応が必要であり、強度と雨が溜らない形状を検討した。無数にある flow line の組合せと降雨への対応を念頭に形状を検討し、光線追跡解析ソフトによって採光性能を検討した。

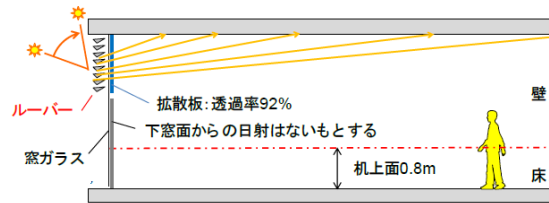


図 3. 窓面採光装置のイメージ

(3) 太陽方位に対応した採光装置の検討

屋外設置型の採光装置の検討を基本として、太陽高度のみならず、太陽の方位の変化に対応する採光装置の検討を行った。太陽高度を

水平軸まわりの回転、方位を鉛直軸まわりの回転として2軸に分けた検討及び、方位を地軸まわりの回転とした検討を行ない、3D形状の採光装置を検討した。なお、3D形状に於いては、屋外設置が難しいため、本研究に於いては降雨対応の条件を外して検討した。

4. 研究成果

(1) 太陽高度に対応した屋外設置型採光装置

本研究では、ルーバー(鏡面)形状を基本として以下の3条件を前提に検討を開始した。
 ①就労時間の内9~15時を対象とした、太陽高度20~80°を角度範囲とする採光、②グレアのない放光、③屋外適用可能な汚れが溜りにくく雨水が排水される片流れ形状。
 図4に今回設定したルーバー形状を示す。また、図5に光線追跡シミュレーションにより確認した光線の軌跡、図6に真南に窓を持つ奥行12m、幅24mの事務室を対象とした机上面照度(床上0.8m)の解析結果を示す。

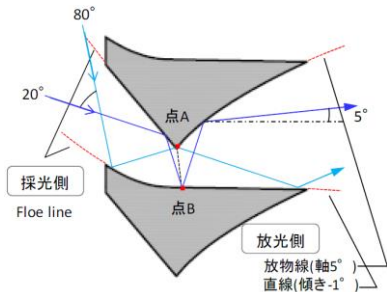


図4. 採光ルーバー断面形状

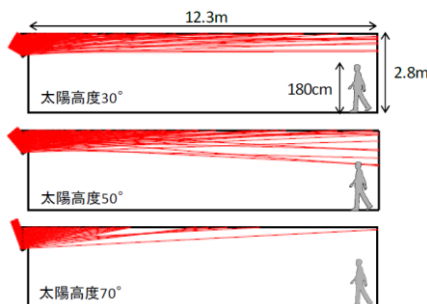


図5. 太陽高度による採光した光の軌跡

これらから、室内天井への照射位置と密度にばらつきはあるが、広範囲に光が到達し、太陽高度によらず日光を採光できる断面形状となった。机上面照度は概ね室中央まで300 lx程度の照度が得られるものの、方位の影響も含め、夏至、

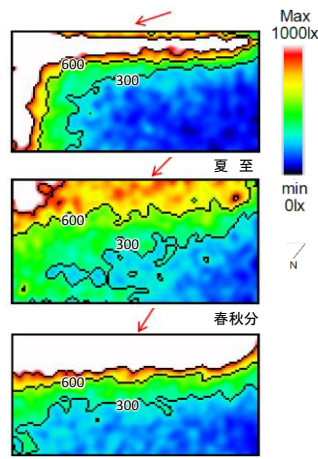


図6. 机上面照度分布

冬至は窓面近傍に光が集中しやすく、更に改善の余地があると考えられる。このルーバーを吹抜け空間上部等に用いる事で、鉛直方向への安定した採光を実現できる可能性も確認した。

(2) 太陽方位に対応した採光装置の検討

太陽高度の身に対応するルーバーから、方位に対応する事を検討し、図7に示した採光ダクト的な形状の検討を行った。図中モデルBでは太陽高度と方位を分離して水平断面、垂直断面共に非結像光学の手法を用いた反射面を検討した。図8にモデルAとBの机上面照度分布を示す。モデルBでは、太陽方位による光の偏りに効果が認められる。

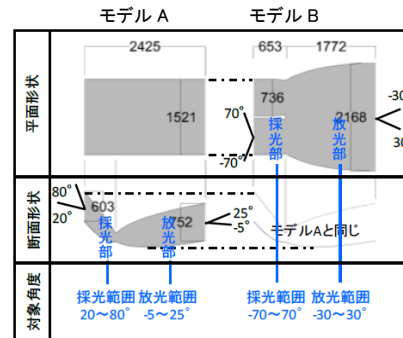


図7. 太陽高度・方位に対応する採光ダクト形状

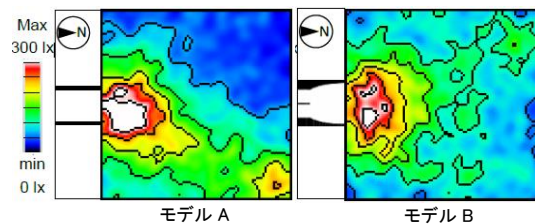


図8. 机上面照度分布

(3) 日周運動による太陽方位の影響を全く受けない採光装置の発想と検討

以上の検討(モデルB)では、太陽方位への対応を地表面に対して鉛直な軸まわりの角度で捉えた。この検討を経て、更に太陽と地球上の建物の位置関係から発想して、日周運動による太陽方位が自転軸まわりの角度変化であり、年周運動による角度(太陽高度)の変化が公転面に対する地軸の傾きと捉えることで、図9に示す様な、地軸に平行な回転中心を持つ3次元的回転体を基本とする採光装置の発想を得た。ここでは採光、放光面の設計に flow line を用いたが、採光、方向に機能さえすれば flow line 以外の設計方法でも問題ない。
 図10にこの採光装置による採光シミュレーション結果(春秋分)を示す。計算は採光部の径が2mの場合に、採光装置から5mの位置での照度を示している。最も基本的な形状での解析であり、今後光量の確保その他の検討が必要となるものの、固定型の採光装置であっても、常時同じ位置を照射できる可能性が確認された。

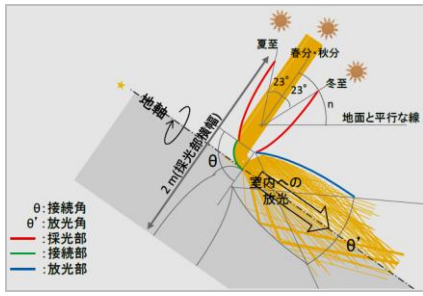


図 9. 太陽方位に依存しない採光装置の基本形状

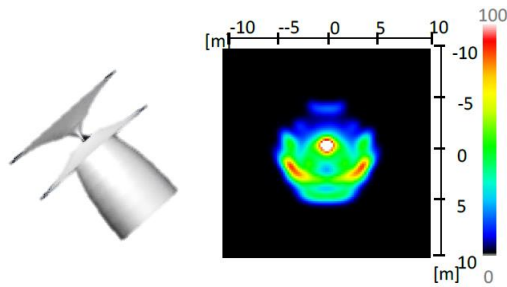


図 10. 採光装置形状(左)と照度解析結果(右)

紙面の関係もあり、ここには示さないが、図 10 の照度分布は冬至、夏至には照射位置が偏ったものとなる。照射位置は採用する採光部、放光部の曲面に左右されるため、採光量と共に今後の検討が期待される。

(4) 採光装置による省エネルギー検討

採光装置の効果を省エネルギー性の面から評価を試みた。対象はルーバー型とダクト型(モデル B)とした。3D 回転体形状の採光装置は実用には採光量が未だ不十分であり、本検討からは除外している。図 11 に標準的と考えられる真南向きの事務室を対象とした検討結果を示す。なお、ダクト型はオフィス外壁面に一定間隔で設置、ルーバーは窓上部に連続的に設置した状況を想定した。年間の天候は拡張アメダスデータを用い、評価時間帯は午前 9 時より午後 3 時までの日中 7 時間とした。照明制御は昼光利用併用で室内が 750lx を下回った場合にゾーン毎に人工照明が調光して 750lx を確保する制御とした場合と、500lx を基準とした場合について示した。これらの結果から、オフィスが十分大きい場合には、方位の影響が小さいこと等もあり、ルーバーを設置した場合は、照明エネルギーを半分以下に低減できる可能性が示された。

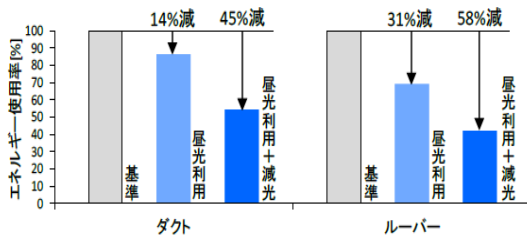


図 11. オフィスにおける照明エネルギー削減率

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 6 件)

①佐々木克仁, 小林光, 渋谷友希
非結像光学による自然採光技術に関する研究(その 3): 太陽軌道を考慮した固定型採光装置の開発, 2015 年度日本建築学会大会, 2015 年 9 月 4 日~6 日, 東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

②渋谷友希, 小林光, 佐々木克仁
非結像光学による自然採光技術に関する研究(その 4): 太陽軌道を考慮した固定型採光装置の模型実験による検討, 2015 年度日本建築学会大会, 2015 年 9 月 4 日~6 日, 東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

③小林光, 芳岡里美, 佐々木克仁
非結像光学による自然採光技術に関する研究(その 1): 太陽高度の変化に対応する屋外適用可能な固定型採光ルーバーの検討, 2014 年度日本建築学会大会, 2014 年 9 月 12 日~9 月 14 日, 神戸大学(兵庫県神戸市)

④佐々木克仁, 小林光, 芳岡里美
非結像光学による自然採光技術に関する研究(その 2): 太陽高度・太陽方位の変化に対応する固定型採光ダクトの検討, 2014 年度日本建築学会大会, 2014 年 9 月 12 日~9 月 14 日, 神戸大学(兵庫県神戸市)

⑤小林光, 芳岡里美, 佐々木克仁
非結像光学を用いた固定型採光装置に関する研究: その 1 太陽高度の変化に対応する屋外適用可能な固定型採光ルーバーの検討, 第 77 回日本建築学会東北支部研究報告会, 2014 年 6 月 21 日~22 日, 日本大学工学部 70 号館(福島県郡山市)

⑥佐々木克仁, 小林光, 芳岡里美
非結像光学を用いた固定型採光装置に関する研究: その 2 太陽高度・方位の変化に対応する固定型採光ダクトの検討, 第 77 回日本建築学会東北支部研究報告会, 2014 年 6 月 21 日~22 日, 日本大学工学部 70 号館(福島県郡山市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 光 (KOBAYASHI, Hikaru)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 90709734