

2019 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：室内環境
研究期間：2019 年度
課題番号：193005
研究課題名（和文）： 緑化ファサードの熱輸送現象の把握と自然換気性能への影響調査
研究課題名（英文）： Research on thermal transfer through greening façade and its impact on natural ventilation
研究代表者：樋山恭助
交付決定額（当該年度）： 300,000 円

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用していただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

昨今、国内外で積極的な緑化を施した建築物が増加傾向にある。この動きは、緑化による環境的なイメージが不動産価値へ反映されるといった市場データの裏付けが推進力となっているが、一方で、そもそもの環境的効果を見込んで導入するケースは希である。これは、緑化（特に壁面緑化）の環境的効果が十分に把握されていない事実と、設計に用いる予測評価手法が未整備である事実に起因する。そこで、本研究では建築物の緑化が建築物外皮の熱輸送性状に与える影響を調査する。特に、既往の研究成果が蓄積された屋上緑化ではなく、その熱輸送現象が十分に解明されていない（その予測評価手法が確立されていない）壁面緑化を対象とする。

壁面緑化の一形態として緑化ルーバーがあげられる。緑化ルーバーの省エネ効果を設計段階で確認するには、その放射熱輸送性状の主要因となる日射熱取得を把握する必要があり、日影による日射遮蔽効果を評価する必要がある。しかし、密に植栽が茂る緑化カーテンを日射透過率により評価する事例はみられるものの、緑化ルーバーのように植栽の密度が疎となり、太陽高度により変化する日影面積を考慮した研究事例は希となる。そこで今年度は研究の初期段階として、育成した植栽をデジタル化し、太陽位置の変化に伴う日影の変化を調査した。本研究は、将来的にはエネルギーシミュレーション内で、緑化ルーバーの日射遮蔽効果を再現することを目的とする。その際、複雑形状となる植栽を粗視化する必要があるため、今回は単純形状となる円柱を比較対象として、その日影面積の変化を分析した。

2. 研究の方法

調査対象は、緑化ルーバーにも用いられる樹種となるサネカズラ（マツブサ科サネカズラ属、常緑つる性木本）とする。まず、筆者らが建物等の影の影響が無い屋上で育成した 40cm 分のサンプルを、3次元モデリングソフトウェア Rhinoceros 6.0 によりデジタル化した。次に、デジタル化した植栽を 3次元モデリングソフトウェア SketchUp へ取り込み、地表面（水平面）への日影のイメージ図を作成する。本図から画像処理ソフトウェア ImageJ を用いて日影面積を出力する。なお、日影面積の特徴を分析するため、比較対象として半径 2cm、高さ 40cm の円柱を用い、同手法で日影面積を導出する。図 1 に再現した植栽モデルと比較対象の円柱モデルを示す。なお太陽の軌跡は、夏期の暑熱日を想定した 8月8日における東京のものとした。

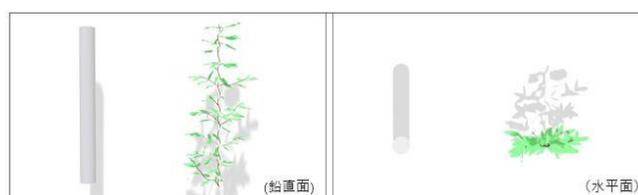


図 1 3次元モデル

3. 研究成果

図 2、図 3 に植栽モデル及び円柱モデルの地表面への日影形状を示す。植栽と陰影が重なら

ないよう、植栽は地表面から一定の距離をもって配置している。図4に日影面積の時間推移を示す。なお図4内の円柱モデルの投影面積は、モデル間の特徴の差異の比較が容易になるよう、正午における数値が一致するように調整している^{注1)}。円柱モデルでは、太陽高度が低くなる時刻（正午から離れた時刻）では、日影が伸びるため、その面積が大きくなる傾向が顕著にみられる。一方で、植栽モデルではその変化量は少ない。

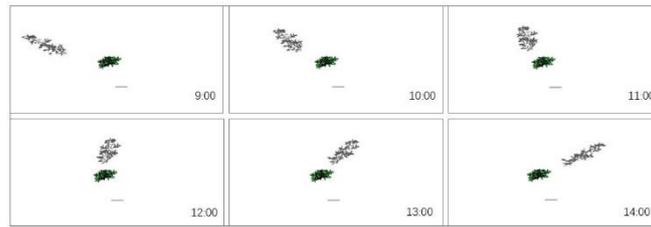


図2 植栽モデルの陰影（水平面）

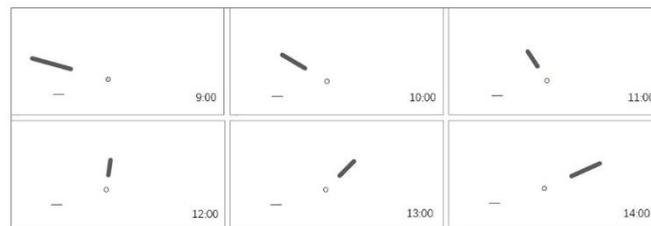


図3 円柱モデルの陰影（水平面）

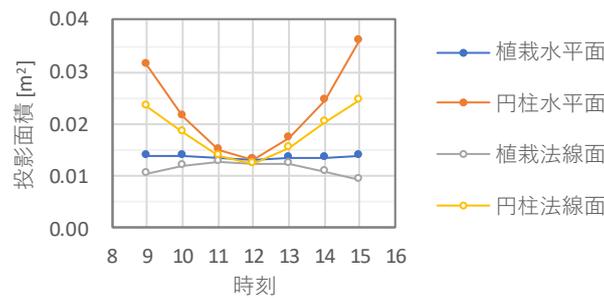


図4 投影面積（水平面、法線面）

図4に、日射に対する法線面投影面積も示す。これは、地表面日影面積から式1を用いて算出した。円柱モデルでは、地表面と同様に太陽高度が低くなると大きくなる傾向が見られる一方、植栽モデルでは太陽高度が大きい正午に最大となる。

図5に、式2を用いて求めた鉛直面への日影面積を示す。南面に関しては、水平面と同様に円柱モデルでは太陽高度が低くなる時刻に大きくなる。植栽モデルも同様の傾向を示すが、その変化量は小さい。一方で、東面や西面においては、両モデルで太陽高度が低くなる時刻で日影面積も減少する傾向を見せるが、その変化量は植栽モデルが大きい。

図6に式3を用いて求めた各モデルへ照射する直達日射量を示す。時刻変化の傾向は法線面投影面積と一致するが、法線面直達日射量は正午付近で最大となるため、正午と朝方及び夕方との倍率は小さくなる傾向にある。

$$A_n = A_h \sin h \quad (1)$$

$$A_v = A_n \sec h \sec(a - a_v) \quad (2)$$

$$J_n = J_{dn} A_n \quad (3)$$

A_n : 法線面投影面積 [m²], A_h : 地表面（水平面）日影面積 [m²], A_v : 鉛直面日影面積 [m²], h : 太陽高度 [rad], a : 太陽方位角 [rad], a_v : 鉛直面の方位角 [rad], J_n : モデルへの法線面照射日射量 [W], J_{dn} : 法線面直達日射量 [W/m²]（ブーガの式から導出）

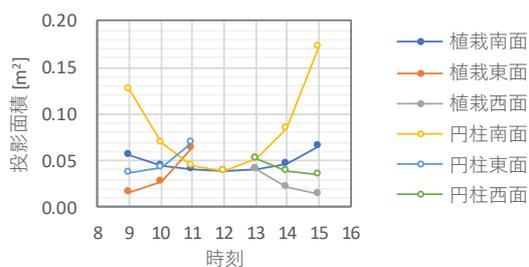


図5 投影面積（鉛直面）

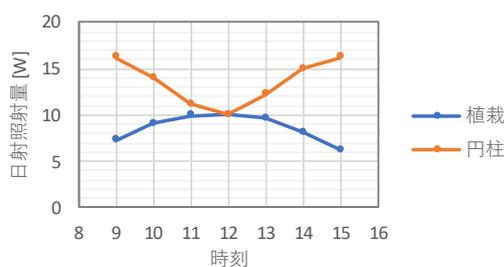


図6 照射日射量

地表面・南側壁面共に、植栽の場合、円柱とは異なり、太陽の軌跡が日影面積に及ぼす影響が小さくなる。これは、植栽の葉の形状が日中により多くの日射を受けるため水平的に展開することに加え、植栽の生育（葉の付き方）が円柱モデルと比較し東西軸（X 軸）への広がりを持つことに起因する。地表面では、垂直方向（Z 軸）へ展開する（高さを持つ）対象物は、太陽高度が低くなる程、その日影面積は大きくなる。一方、水平方面（X-Y 平面）への展開は、太陽方位と陰影面積の関係に影響する。東西軸（X 軸）に展開していると日中付近に日影が大きくなり、南北軸（Y 軸）に展開していると、日中付近に日影が小さくなる。円柱モデルでは X-Y 軸への展開が一樣であり、太陽方位の影響を受けないため、太陽高度のみに影響を受け、日中に日影が縮小する。一方で植栽モデルは、日中に太陽高度により日影は縮小するが、X 軸への展開が投影面積を拡大させるため、その変化が相対的に小さくなる。南側壁面においては、太陽高度は X-Y 面の投影面積に、太陽方位角は Y-Z 面の投影面積に影響し、日中には前者は増加し、後者は減少する。ただし、円柱モデルのように Z 軸に単純に延伸する対象物は、Y-Z 面の展開の影響が大きく、朝方と夕方に太陽方位角、X-Y 断面が太陽高度の関係に影響を受ける。一方で植栽モデルは X-Y 面に展開する葉の日影面積の変化の影響も比較的大きく、Y-Z 面の展開による効果と相殺されるため、時刻別の変化量は小さくなる。これらの結果から、南側壁面において安定した日影形成を期待するには、円柱といった単純形状のルーバーと比較し、植栽ルーバーに優位性があるともいえる。

注釈

$$1) A'_{h,c,j} = A_{h,c,j} \times A_{h,p,n} / A_{h,c,n}$$

$A'_{h,c,j}$: 調整後の時刻 j における円柱の地表面日影面積 [m²]

$A_{h,c,j}$: 調整前の時刻 j における円柱の地表面日影面積 [m²]

$A_{h,p,n}$: 正午における植栽の地表面日影面積 [m²]

$A_{h,c,n}$: 正午における円柱の地表面日影面積 [m²]

4. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

1. Thanyalak Srisamranrungruanga, Kyosuke Hiyama: Balancing of natural ventilation, daylight, thermal effect for a building with double-skin perforated facade (DSPF), Energy and Buildings, Volume 210, 1 March 2020, 109765

〔学会発表〕（計 1 件）

1. Zou Jie, 樋山恭助, Thanyalak Srisamranrungruanga: 緑化ルーバーによる日射遮蔽効果予測に関する研究 —夏期における常緑つる性木本植物からの日影面積の分析—, 日本建築学会学術講演会梗概集, 2020（投稿済）

5. 研究組織

(1) 研究代表者

樋山恭助 明治大学 理工学部建築学会 准教授

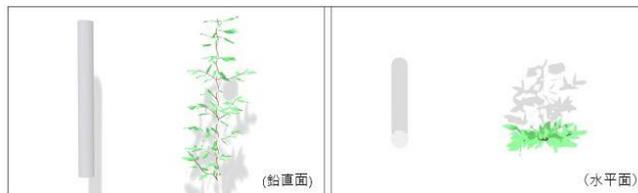
(2) 研究分担者

1. 山本佳嗣 東京工芸大学 工学部工学科建築コース 准教授
2. 青野友紀 東京工芸大学 工学研究科 修士 1 年
3. 大久保昌羽 東京工芸大学 工学部建築学科 4 年

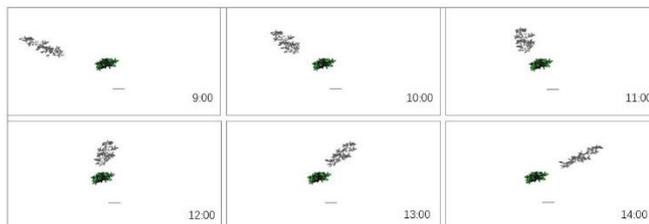
6. 要約(Abstract)

研究課題名 緑化ファサードの熱輸送現象の把握と自然換気性能への影響調査
研究代表者名 (所属) 明治大学

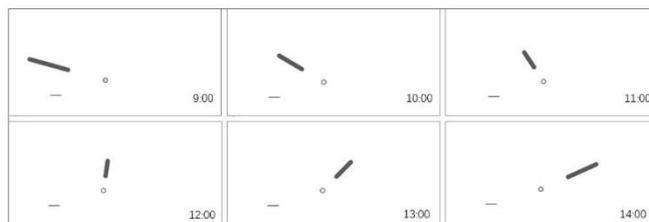
緑化ファサードの一形態として緑化ルーバーがあげられる。緑化ルーバーの省エネ効果を設計段階で確認するには、その放射熱輸送性状の主要因となる日射熱取得特性を把握する必要がある。日影による日射遮蔽効果を評価する必要がある。今年度は、植栽(サネカズラ)をデジタル化し、その日影面積の推移を円柱モデルと比較し、植栽の日射遮蔽物としての特徴を分析した。



3次元モデル



植栽モデルの陰影 (水平面)



円柱モデルの陰影

植栽自体は垂直方向に育つが、葉が水平的に展開することで垂直ルーバーより水平ルーバーに近い日射遮蔽特性が確認された。本研究では次のステップとして、植栽をエネルギーシミュレーションで再現するために粗視化するにあたり、適切な形状を探索することを計画する。