

# 2020 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：2020 年度

課題番号：20203004

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）：200,000 円

## 1. 研究の目的

近年、緑化ルーバーを用いた建築設計が注目を集める。緑化ルーバーの省エネ効果を設計段階で確認するには、その熱輸送現象、その中でも外皮からの熱侵入として大きな割合を占める日射熱取得に対する日影による日射遮蔽効果を把握し、評価する必要がある。

建築設計において日射遮蔽による日射熱負荷の緩和を基に省エネ効果を適切に評価するためには、エネルギーシミュレーションを用いた長期（年間）にわたる動的な解析が必要となる。ただし、エネルギーシミュレーションは、その解析負荷の適正化を図るためにも、その解析モデルは建築物形状を粗視化した上で構成される。結果、植栽等の複雑形状を解析モデル内にそのまま再現することは難しい。このため、その日射遮蔽効果をモデル化して組み込むか、現時点でも再現可能な汎用的な日射遮へい装置（庇、ルーバー等）により近似的に効果を再現することが必要となる。ここで、前者（モデル化）はシミュレーションソフト自体の改変が必要となることを考えると、汎用的に緑化ルーバーの効果を再現した設計を実現するためには、後者の方針が好ましく、本研究はこの方針の下で進める。

緑化の日射遮へい性能を模擬する手法として、植栽が密に茂る緑化カーテンによる日射遮蔽効果を調査し、その効果を日射透過率により再現する試みがみられる。一方で、本研究が対象とする緑化ルーバーのように植栽の密度が疎となる場合、その日影の投影面積は、太陽位置と投影対象面により変化する。結果として、その日射遮蔽効果も一定ではなく、緑化カーテンのように日射透過率として定常的に再現することは難しい。蔓性植物による緑化カーテンの設置においては、十分な成長によりその植生密度が高くない状態では日射遮蔽効果が安定しないとの報告もあり、植生密度が疎の状態における日射遮蔽効果のモデル化は課題となっている。

これらの問題意識の下、本研究では、まず複数の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、その特徴を明らかにする。その後、その特徴を汎用的な日射遮へい装置（庇、ルーバー、サイドフィン等）と比較し、これらの装置による代替可能性を検証する。その上で、前述の過程を通して明らかにした植栽の日射遮へい効果の特徴を踏まえ、方位別の効果的な緑化ルーバーの設置方法を提案する。

## 2. 研究の方法

調査対象は、緑化ルーバーにも用いられる常緑つる性木本の樹種となるサネカズラ（マツブサ科サネカズラ属）、ムベ（アケビ科ムベ属）及びヘデラカナリエンス（ウコギ科キヅタ属）とする。まず、それぞれの植栽から 40~60cm 分のサンプルを採取し、3次元モデリングソフトウェア Rhinoceros 6.0 によりデジタル化する。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、日影のイメージ図を作成する。図 1 に各樹種の 3次元モデルを示す。このモデルを用い、植栽モデルの日影面積の導出、日射遮へい装置の日影面積との比較、方位別の植栽ルーバーの効果的な設置方法の提案を進める。水平面の日影面積は日影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。法線面日影面積は水平面の日影面積を用い式(1)から算出する。

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

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

$A_n$ ：法線面投影面積 [m<sup>2</sup>],  $A_h$ ：地表面（水平面）日影面積 [m<sup>2</sup>],  $h$ ：太陽高度 [rad]

$A_v$ ：鉛直面日影面積 [m<sup>2</sup>],  $a$ ：太陽方位角 [rad],  $a_v$ ：鉛直面の方位角 [rad]

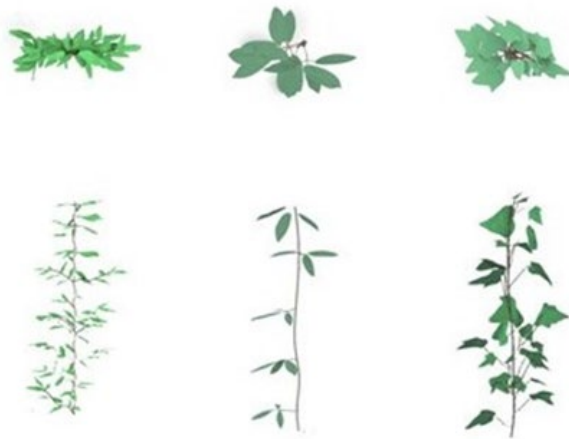


図 1 3次元モデル (左から, a) サネカズラ, b) ムベ, c) ヘデラカナリエンシス)

### 3. 研究成果

図 2 に水平面及び日射法線面における日影面積の時間推移を示す。日影面積 (縦軸) は、水平面、法線面、鉛直南面は正午における日影面積に対する倍率、鉛直東西面はそれぞれ 9 時と 15 時のものに対する倍率となる。図 3 には、式 2 を用いて求めた鉛直面 (南面、東面、西面) への日影面積を示す。

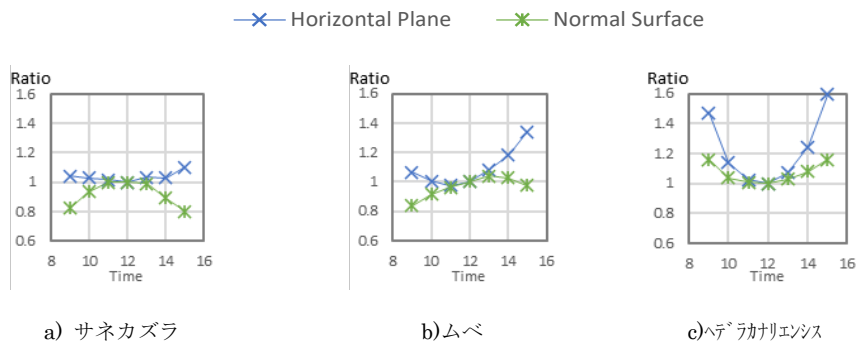


図 2 植栽モデルの日影面積の時間推移 (水平面、法線面)

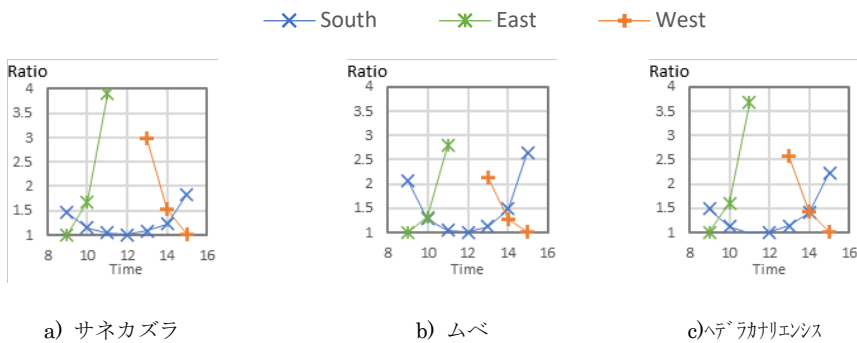


図 3 植栽モデルの日影面積の時間推移 (鉛直東・西・南面)

図 4 に、エネルギーシミュレーションで汎用的に再現可能な日射遮へい装置として、水平ルーバー (庇) 及び垂直ルーバー (サイドフィン) が、それぞれ単体で鉛直面 (南面、東面、西面) に落とす日影面積の時間推移を示す。庇に関しては、傾斜角を  $0^\circ$  及び  $30^\circ$  と段階的に加えた結果を示す。エネルギーシミュレーションソフトで簡易的に模擬する対象として、緑化ルーバーの日影特性を、水平ルーバー、垂直ルーバーいずれかで再現するとした場合、「図 4a) 水平ルーバー」の日影面積の変化傾向が、「図 4b) 垂直ルーバー」のものより、より「図 3 植栽」

の日影面積の変化に近い。

そこで、水平ルーバーに関して、 $0^\circ$  から  $60^\circ$  まで傾斜角を与えたものの日影面積を計算し、今回検討対象とする3種の植栽と類似する日影特性を探索した結果、サネカズラは  $10^\circ$ 、ムベは  $30^\circ$ 、ヘデラカナリエンスは  $50^\circ$  と、それぞれ葉の垂れ具合に伴い傾斜角を大きくした水平ルーバーにより、その日影特性を再現することができた (図5)。

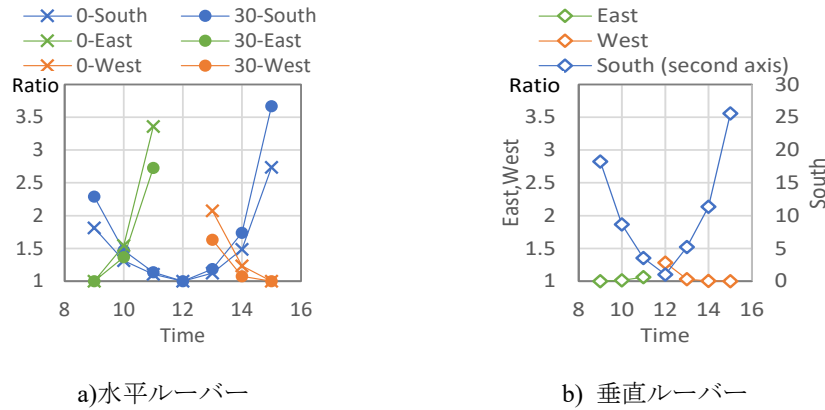


図4 日射遮へい装置の日影面積の時間推移 (鉛直東・西・南面)

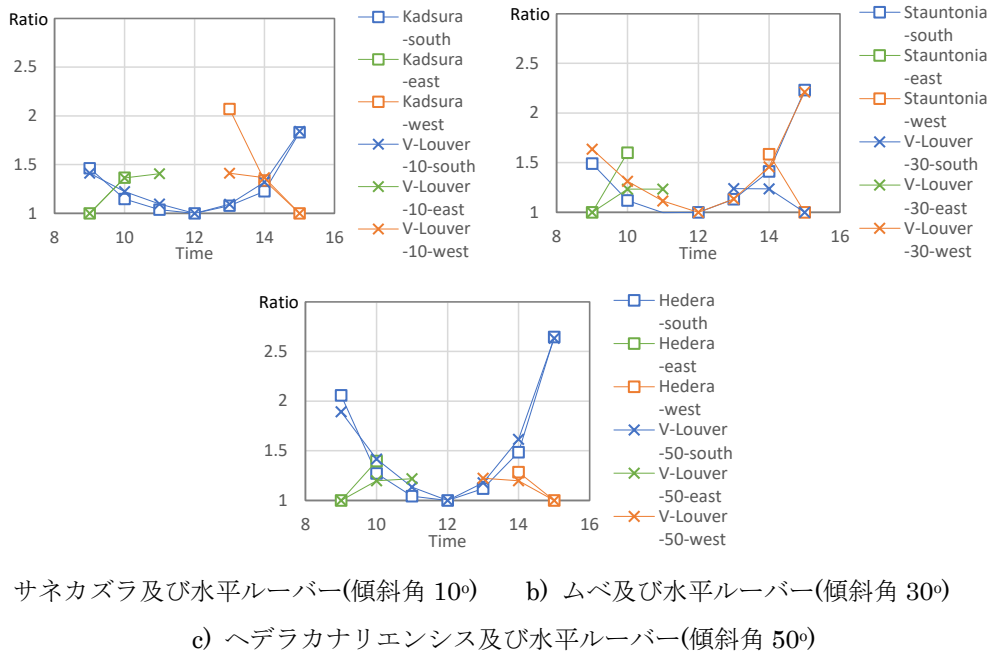


図5 植栽モデルと水平ルーバーの日影面積の比較 (鉛直東・西・南面)

これらの結果から、方位別に植栽ルーバーを設置する場合、次のような仕様が推奨される。まず南面においては、水平ルーバー自体が日射遮へい装置として効果的に作用するため、緑化ルーバーの設置は水平ルーバーの代替手段としてその効果が期待できる。図6に、それぞれの樹種モデルをサンプルの1.2倍の間隔 (サネカズラ: 23.3cm、ムベ: 30.6cm、ヘデラカナリエンス: 35.6cm) で配置した場合のイメージ図と日影面積率 (対象面積当たりの日影面積の割合) の時間推移を示す。なお、この際の、正面から見た植栽の被覆率はサネカズラ 24.4%、ムベ 21.8%、ヘデラカナリエンス 30.0%となる。

これらに対しては、それぞれの水平ルーバーを長さ 160 cm 幅 1.61cm を 10 度傾斜 (10 枚)、長さ 160cm 幅 1.49cm を 30 度傾斜 (10 枚)、長さ 160 cm 幅 1.62cm を 50 度傾斜 (10 枚) で配置することで同様の日影を得られる。この際の、正面から見たルーバーの被覆率は 2.3%、6.2% 及び 10.3% となり、それぞれ対応する樹種のものより小さく、0.1 倍、0.5 倍及び 0.2 倍となる。被覆率は日射透過率と相関性が高いことを考えると、本研究が対象とするような植生密度

が低い緑化ルーバーの再現は、従来の日射透過率による再現より、ここで示すように葉の付き方に対応した水平ルーバーの適用が適当と言える。このためには、樹種毎に対応するルーバーの傾斜角及び間隔のデータを揃えていくことが有用と考える。

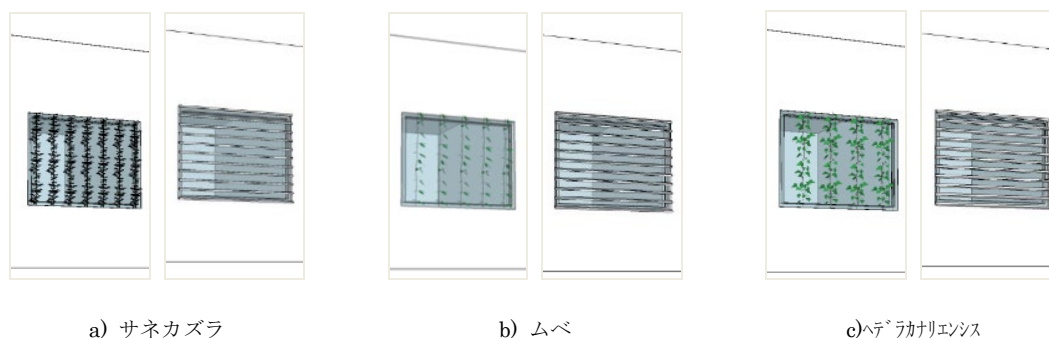


図6 植栽ルーバーとシミュレーション用代替水平ルーバーのイメージ図

南東面、南西面となると日中に加え昼前及び昼過ぎに太陽高度が相対的に低くなった状態の日射にも対応が必要となる。このため、効果的な日射遮へいには庇（水平ルーバー）とサイドフィン（垂直ルーバー）の併用が望まれる。そこで、緑化ルーバーを用いる場合、水平ルーバーとしての日射遮蔽効果を期待できる植栽に加え、その登攀材として垂直ルーバーを併用することで、効果的な日射遮へいが可能となる。

東面、西面においては、朝方と夕方の太陽高度が低くなった状態の日射にも対応が必要となる。この場合はルーバー等では効果的な対応が難しいため、日射照射面積自体を減少させる必要があり、スクリーン状の日射遮へい装置が求められる。この場合、既往の研究でも示されるような緑化ルーバーと比較し密に植栽を配置した緑化カーテンを設置することが適切となり、この際の日射遮蔽効果は既往研究等における日射透過率の適用が適当となる。

なお、このように提案される緑化ルーバーが窓部における自然換気時の抵抗になり、その性能に及ぼす影響に関しては、昨年度の研究から、提案する仕様の程度においては日射遮蔽による省エネルギー効果に対し比較的小さいことを明らかにしている。（参考文献1）、

参考文献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

#### 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. Srisamranrungruang, T, Hiyama, K. Correlations between building performances and design parameters of double - skin facade utilizing perforated screen. Jpn Archit Rev. 2021; 00: 1- 12. <https://doi.org/10.1002/2475 - 8876.12222>

〔学会発表〕（計2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―, 2020年度 日本建築学会大会

2. 鄒潔, 樋山恭助, 緑化ルーバーを用いた日射遮蔽効果のエネルギーシミュレーションにおける再現手法に関する研究, 2020年度（第91回）関東支部研究発表会

#### 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2年

3. 伊藤志歩 東京工芸大学 工学研究科 修士1年

# 2020 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

## 6. 要約 (Abstract, 英文)

### Research Theme

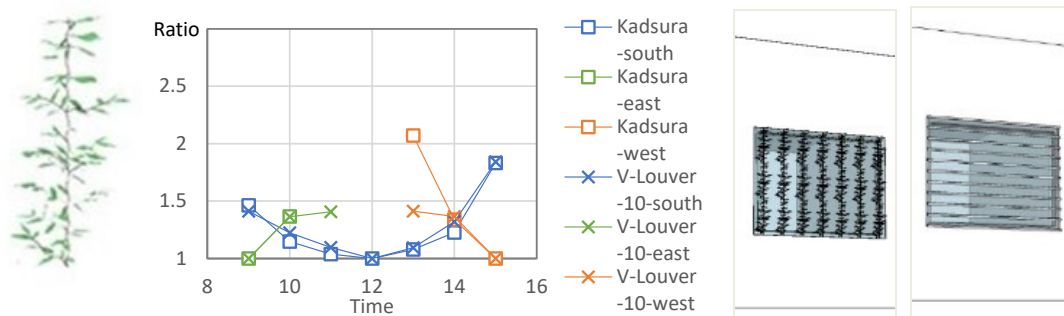
Research on thermal transfer through greening façade and its impact on natural ventilation

### Representative Researcher (Affiliation)

Kyosuke HIYAMA (Meiji University)

### Summary · Figures

- Investigate the properties of solar heat transport, which has a particularly large impact on heat transport of building facade using green louvers
- Investigate the shade characteristics to reproduce the vegetation louver with sparse vegetation by energy simulation
- A horizontal louver with an angle of inclination is good for reproducing the shade of the leaves
- Need to create a database for each vegetation species
- Need analyses that separates direct light and indirect light
- Double-skins with planting might affect the natural ventilation performance when the aperture ratio becomes small, but the advantage obtained by the effect obtained by solar shielding is relatively high.



Comparison of shaded area between planting model and horizontal louver

~ Kadsura japonica ~