

令和元年6月26日現在

機関番号：32519

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350059

研究課題名(和文) グリーンカーテンの高層住宅への適用可能性と生活環境改善効果に関する研究

研究課題名(英文) Study on the Living Environmental Effects and Applying Possibility of a Green Curtain to High-rise Building

研究代表者

鈴木 弘孝 (Suzuki, Hirotaka)

城西国際大学・環境社会学部・教授

研究者番号：60370706

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：グリーンカーテン有りの場合にはなしの場合と比較して、MRT(平均放射温度)についてはピーク時には40%以上低減した。また、WBGT(湿球黒球温度)では1～2の低減が図られ、熱中症のリスクを1段階緩和できることを確認した。体感温熱指標としてSET*(新標準有効温度)による比較を行った結果、グリーンカーテンの設置によりピーク時には約2の低減効果を確認した。アロマとガーデンの組み合わせによる心理的効果をPOMS試験により比較検証した結果、アロマセラピー単独および、アロマセラピー+グリーンカーテンの併用において、心理面における改善の傾向が見られたが有意な差は得られなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

第一に、今後の市街地内の高層住宅等建物高層部へのグリーンカーテンの普及と促進を図る上で、高層住宅のバルコニー部を想定した室内外での温熱環境の改善効果をWBGT、SET*、PMV等の体感温熱指標を使用して定量的に評価することができた点。第二に、方位の違いにより建物の各面が受ける日射量の違いがグリーンカーテンの被覆と植物の生育に及ぼす影響を検証するとともに、使用する植物種の違いにより生育状態に及ぼす影響を実地に検証できた点。第三に、グリーンカーテンとアロマの組み合わせにより生活者の癒しやくつろぎ等生理的・心理的な面への影響と効用をPOMS試験やSD法により定量的に評価することができた点。

研究成果の概要(英文)：The value of MRT also was reduced about 40% with green curtain, compared with no curtain. The value of WBGT reduced 0.7～1.3 at the peak in the daytime with green curtain, compared with no curtain, but the former showed tendency to be 0.7～0.8 more over than the later from midnight to early morning. It was suggested that using the thermal indices of MRT and WBGT, we could evaluate the improving effects of the outdoor thermal environment behind the green curtain. We calculated the indices of SET* and PMV from measuring data. The value of SET* at the peak in the daytime was reduced by 1 to 2 with a green curtain below the level without a green curtain. The value of PMV was increased to +3 at the peak time in both cases. The effects of aroma oil inhalation and green plants on psychological feeling were evaluated by Profile of Mood States (POMS). The T scores calculated improved 7-11 points after the inhalation under the plants, but we couldn't obtain a significant difference.

研究分野：緑地計画

キーワード：グリーンカーテン 温熱環境 ヒートアイランド 壁面緑化 温熱指標 心理的効果

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、東京をはじめとする大都市部を中心に人工地盤や建築の屋上・壁面の緑化が急速に普及しつつあり、今後は整備された建築物の屋上等緑化施設を都市の緑とオープンスペースの体系の中に位置づけ、相互の有機的連携を図りつつ、その普及とともに有効な利活用を推進していく必要がある¹⁾。このような状況の中で、昨年3月の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故を契機とした、国民・企業の節電意識の高まりを背景として、暑熱対策として住民が手軽にできる壁面緑化の手法として「グリーンカーテン」の取り組みが急速な広がりを見せている。

(2) 屋上緑化や壁面緑化等による建物の内部への温熱環境評価については、多くの先行研究により検証が進められつつある^{1)、2)、3)、4)}。これらの検証は、主として建物側への熱負荷の軽減効果の物理的な解析に主眼が置かれており、屋外側での温熱環境を体感指標により評価した例はほとんど見られない。また、グリーンカーテンについて、対象は学校施設や個人の住宅等の低層建築が主体であり、植物の方位の違いによる生育適性や高層部での生育適性を実地に検証した事例もほとんど見られない。

(3) アロマセラピーで使用される植物由来の精油(エッセンシャルオイル)の成分中には、ヒトの温感に直接作用する化合物が存在することが、近年、生理学的、生化学的に解明され、生理的な快適温度を調節できる可能性が示唆されている。建物緑化と植物の香りが都市生活者の心理に及ぼす効果を実証的に検証した例もほとんど見られない

2. 研究の目的

本研究は、今後グリーンカーテンを高層住宅等への普及を図るため、建物の方位や高さの違いによる植物の生育適性について調査するとともに、グリーンカーテンの香りにより嗅覚を通じてもたらされる心理的効果についての検証を行い、都市生活者が健康でゆとりと潤いを持って生き生きと生活できる生活環境の創造に資することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 本学東金キャンパスの教育棟を対象として、グリーンカーテンを設置した場合と設置しない場合における屋外の環境を計測し、MRT、WBGT、SET*、PMVの各温熱指標により物理的環境評価を行う。

MRTは、暑さ感を示す温熱指標の一つで、周囲の全方向から受ける熱放射を平均化して温度表示したものである⁵⁾。具体的には、グローブ温度計により計測した黒球グローブ温度(T_g)と温湿度計により計測した乾球温度(T_d)、長音波風速計による風速値(V)を用いて、(1)によりMRTを算出した。

$$MRT = T_g + 2.37 \sqrt{V} \times (T_g - T_d) \dots (1)$$

ここで、 T_g : 黒球グローブ温度[]、 T_d : 乾球温度[]、 V : 風速[m/s]

WBGT(湿球黒球温度: Wet Bulb Globe Temperature)は、外部空間での労働環境やスポーツ環境として適正な空間であるか否かを示す指標として用いられ、人体の熱収支に影響の大きい湿度、輻射熱、気温の三つを取り入れた温度であり、以下の式で算出される。

$$WBGT = 0.7T_w + 0.2T_g + 0.1T_d \dots (2)$$

ここで、 T_w : 湿球温度()、 T_g : グローブ温度()、 T_d : 乾球・湿球温度()

SET*(標準有効温度: Standard Effective Temperature)は、人間が着衣の状態で体感できる温度を表す温熱指標として、体感レベルでの温度を数値で表示したものであり、以下の式で与えられる。

$$C+R+E_{sk} = F_{cl} \cdot f_{cl} \cdot h_{s} \cdot (t_{sk} - S E T^*) + w \cdot L R \cdot F_{pcl} \cdot h_{cs} \cdot (P_{sk} - s - 0.5 \cdot P S E T^* + s)$$

ここで、C: 皮膚からの対流熱伝達、R: 皮膚からの伝導熱損失、 E_{sk} : 皮膚からの蒸発熱損失、 F_{cl} : 衣服による被覆率、 f_{cl} : 衣服の熱伝達抵抗、 h_s : 総括熱伝達率、 t_{sk} : 平均皮膚温度、 $S E T^*$: 標準有効温度、 w : 皮膚濡れ面積率、 $L R$: ルイス数、 F_{pcl} : 皮膚の露出率、 h_{cs} : 対流熱伝達率、 P_{sk} 、 s : 皮膚温度に対する飽和蒸気圧、 $P S E T^*$ 、 s : 温度 $S E T^*$ での飽和蒸気圧

PMV は、これまで主として屋内の温熱評価に用いられ、暑くも寒くもない状態で、多数の在室者が感じる温冷感の平均の数値を理論的に予測した数値で(+3:暑い)~(-3:寒い)までの7段階で評価した。

(2) 本学東金キャンパスの教育棟(6F)屋上において、グリーンカーテンに一般的に使用される植物種であるゴーヤ、アサガオ、パッションフルーツの苗を植えたプランターを設置し、高層階での植物生育状況について継時的に観測し、適用状況を評価する。

(3) 心理的効果の違いを明らかにするために、感情状態を表すPOMS(Profile of Mood States)とSD法による印象評価を行う。POMSは、正の感情として「活気」、負の感情として「緊張・不安」、「抑うつ・落ち込み」、「怒り・敵意」、「疲労」、「混乱」の6項目を測定した。

4. 研究成果

(1) MRTによる評価

カーテンの設置によりバルコニー部での暑熱環境が具体的にどのように改善されるかを、MRTによる温熱指標を用いて熱環境の改善効果を確認した。2013年8月16~18日について、MRTの算出結果を経時変化で表すと図1に示すとおりである。これより、室外のバルコニー部では、日中はG2棟(カーテンあり)の方がG1棟(カーテンなし)よりも絶えず低温で推移し、温度が上昇するにつれ、両者の温度差が拡大している。最大ピークの9時の時点では、G1棟(カーテンなし)が67.8~70.2と70前後であるのに対して、G2棟(カーテンあり)が42.3~46.3であり、カーテンなし

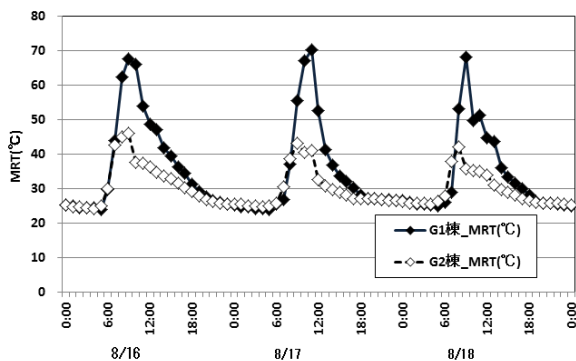


図1 MRTの経時変化

の場合に比して約40%低い値を示した。また、夜間20時以降翌朝5時までの間は両者の間に温度差はほとんど見られず、温度も25~27で安定している。以上の結果、グリーンカーテンの設置により、ピーク時にはMRTが40%低減し、屋外での放射環境が大きく改善されることが定量的に評価できた。

(2) WBGTによる評価

次に建物外部空間での放射環境も考慮して温熱環境を評価する指標としてWBGT値の算出を試みた。表1に示すとおり1993年に日本体育協会からWBGTを基準とした「熱中症予防のための運動指針」⁶⁾が提示されているが、この指針によるとWBGTが28以上になると熱中症の危険が高く「激しい運動は中止」とされ、31以上になると「運動は原則として中止」とされている。本研究では、計測した気温と湿度を基に、WBGT値を算出した。2013年8月16~18日についてWBGTの経時変化を表すと、図2に示すとおりである。ピーク時は9~10時の時間帯でG1棟(カーテンなし)では28.9~30.8を示したのに対して、G2棟(カーテンあり)では28.2~29.5となり、0.7~1.3低くなっていた。一方、夜間から早朝にかけては、逆にG1棟(カーテンなし)の方がG2棟(カーテンあり)よりも低くなる傾向が見られた。最低温度を記録した4~6時の時間帯では、前者が23.6~24.7に対して、後者が24.4~25.5となり、日中とは逆にG1棟(カーテンなし)の方が0.7~0.8低くなっていた。以上の結果、グリーンカーテンの設置により、日中のピーク時にWBGT値を1前後

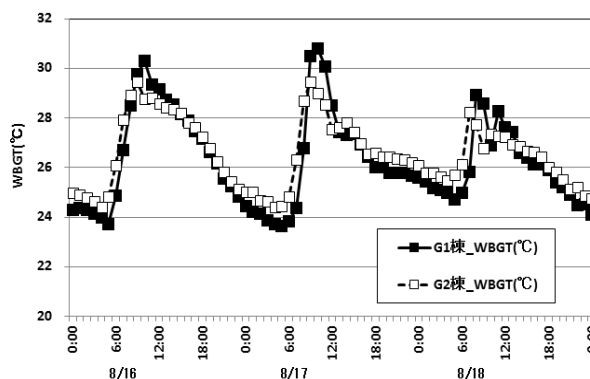


図2 WBGTの経時変化

表 1 熱中症予防のための運動指針

WBGT	運動指針	
31 以上	運動は原則中止	WBGT が 31 以上では、皮膚温より気温の方が高くなる。特別の場合以外は運動は中止する。
28 ~ 31	嚴重警戒	熱中症の危険が高いため、激しい運動や持久走など熱負担の大きい運動は避ける。
25 ~ 28	警戒	熱中症の危険が増すので、積極的に休息をとり、水分を補給する。
21 ~ 25	注意	熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。運動の合間に積極的に水を飲むようにする。
21 以下	ほぼ安全	通常は熱中症の危険性は小さいが、適宜水分の補給は必要である。

低減させるが、熱中症予防のための評価を 1 段階改善させるほどの効果は認められなかった。

(3) SET*による評価

SET*は「温熱感覚および放熱量が実在環境におけるものと同等になるような相対湿度 50%の標準環境の気温」と定義され、体感温度に近い屋外環境を評価する温熱指標として使用されている。SET*の算出に必要な測定項目は、気温、相対湿度、風速、グローブ温度の物理的条件の他に、人間の着衣量 (clo)と代謝量 (Met)が必要であり、具体的には式(3)により算出することができる。本研究では夏の軽装を想定し、既往の研究⁸⁾と文献⁹⁾を参考として、放射率 1.0、人体からの全熱放射量を算出する際の着衣量を 0.30 clo (半袖・半ズボン)、人体の代謝量を 1.0Met (椅子座位・読書)と仮定して、Gagge ら(1986)の方法を用いて求めることができる。

図 3 は、カーテンの有無によるバルコニー部での SET*の経時変化を示したものである。3 日間の計測日では、いずれも 10 時の時点でピークとなり、カーテンありの場合は、なしの場合と比較して 1 ~ 2 低減していた。一方、18 時頃から深夜 2 時頃にかけては、カーテンありの方がなしの場合よりも最大で 2 ~ 3 上回る傾向が見られた。気温と湿度については、今回の計測値からカーテンの有無による差異はほとんど見られなかった。また、風速については、カーテンありの場合には、なしの場合と比較して、約 6 割程減速していた。これ

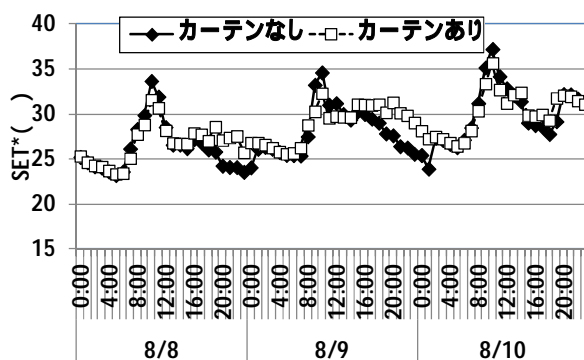


図 3 SET*の経時変化

より、日中のピーク時は入射日射量もピークとなり、カーテンありの場合には日射量が大幅に低減していることが SET*の低減に作用しているのに対して、夜間はカーテンの有無による気温と湿度に差異が認められないことから、カーテンの設置による風速の低減が SET*値にプラス側に寄与したものと考えられる。

(4) PMV による評価

PMV(Predicted Mean Vote) は、デンマーク工科大学の Fanger が提唱した温熱指標で、暑い~寒いまでの人間の温熱感覚を 7 分割し、+3 ~ -3 の数値を割り振ったものである。気温・相対湿度・平均放射温度・風速の物理要素に人間の着衣量・代謝量の 6 つの要素を組み合わせ、算出することができる。着衣量を SET*と同様に 0.30clo(夏服・半袖・半ズボン)、人体の代謝量を 1.0Met(椅子座位・読書)と仮定した。算出の結果を、図 4 に示す。PMV は人間の温熱環境の感じ方を 7 段階で示すものであり、「暑い」に相当する数値は +3 とされる。これより、カーテンありの場合には、なしの場合と比較して、9時から16時にかけて「暑い」と感じる時間を緩和する傾向が見られる一方で、夜間から深夜にかけては逆にカーテンなしの方が相対的に涼しく感じられる傾向が見られた。これは、カーテンていることによる通風障害が作用したものと考えらるの設置によりバルコニー内の風速値が大きく低減しれる。PMV 値の温冷感、中立値付近で対応性が良いとされ、平均放射温度も 10 ~ 40 での適用が有効とされていることから、今回の計測の結果から、屋外における暑熱環境下での適

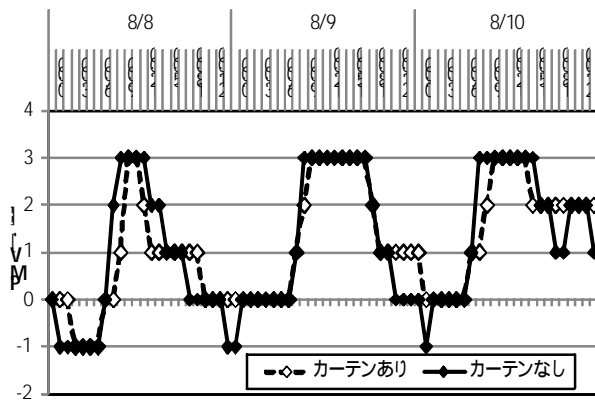


図4 PMVの経時変化

用には限界を有していると考えられる。

(5) 高層階での生育比較

東金キャンパス内の教育棟(H棟)の屋上部(6階)において、パッションフルーツ(トケイソウ科: *Passiflora edulis*)、リュウキュウアサガオ(ヒルガオ科: *Ipomoea congesta*)、ゴーヤ(ウリ科: *Momordica charantia* var. *pavel*)、の3種のつる性植物を用いて、生育状況について比較した。下の写真は、今年の7月上旬に5号ポットの苗を各プランターに2株ずつ植栽してから、約2か月が経過したときの状態を示している。写真1のゴーヤと写真2のパッションフルーツは、つるの節からでる巻きひげがネットに絡んで登攀していく「巻きひげ型」、写真3のリュウキュウアサガオは、つる全体がネットにらせん状に巻きつきながら登攀していく「巻つる型」のつる性植物で、いずれも最近のグリーンカーテンによく使用されている植物種である。

写真1より、苗の植え付けから約2か月が経過し、ゴーヤは上方にいくほど成長が旺盛で、一方、下方からは枯れ始めている。グリーンカーテンを設置した建物6階の高層階では、1-2階の低層階に比べると風の影響が強まることから、建物の向きが南東方向であるため、南からの風の影響を受けて、右(東)方向に生育している。これに対して同じ「巻きひげ型」でも、パッションフルーツでは、写真2に示すとおり、ゴーヤほど風の影響を受けていない。これは、パッションフルーツでは茎がゴーヤよりも太く、葉も肉厚であることにより風の影響をゴーヤに比べると受けにくかったためと

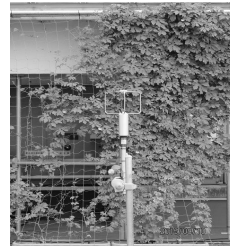


写真1 ゴーヤ



写真2 パッションフルーツ

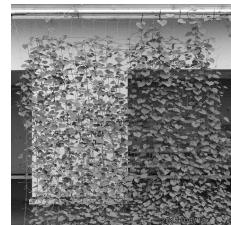


写真3 リュウキュウアサガオ

考えられる。ただし、暑熱期の生育のスピードが落ちるため、ネット全面の被覆には課題を有していると考えられる。これに対して、リュウキュウアサガオは、写真3に示すとおり、「巻つる型」の植物であり、植物の茎がネットに巻き付きながら登攀していくため、ネット面をほぼ均一に覆って生育している。ただし、葉の大きさがゴーヤに比べると小ぶりであり、ネット面に対する緑被率はゴーヤよりも低くなり、室内側への日射は透過性が高くなり、遮光性は劣る。

(6) POMS試験による心理的効果の評価

健常大学生(18-23歳)27名(男性11名、女性16名)を被験者として、POMS試験を実施した。被験者には予め実験内容を説明し、文書による同意を得た。ラベンダー精油刺激のみによる試験には16名が、ラベンダー精油刺激+グリーンカーテン下での試験には11名が被験者として参加した。「緊張-不安」、「抑うつ-落ち込み」、「怒り-敵意」、「活気」、「疲労」、「混乱」の6項目について、ラベンダー嗅覚刺激のみとラベンダー嗅覚刺激+グリーンカーテン視認の二つのケースについてT得点変化を比較したところ、いずれのケースも後者の方がT型得点が低くなり、心理的な癒し効果の傾向を示したが、有意な差を確認することはできなかった。血液や体液の採取を伴わない測定・評価方法としてのPOMS法は、第三者にアロマセラピー効果やグリーンカーテン効果を客観的事実として示す上で、有用であると考えられる。本試験の

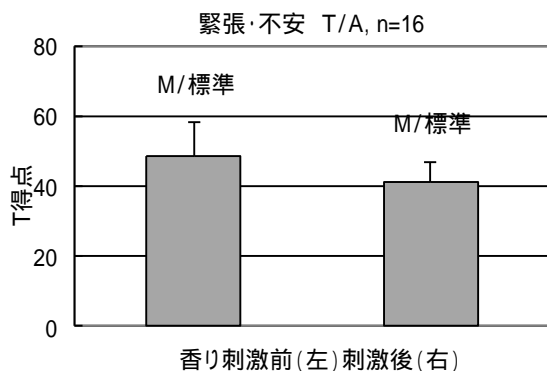


図5 香りの心理的效果

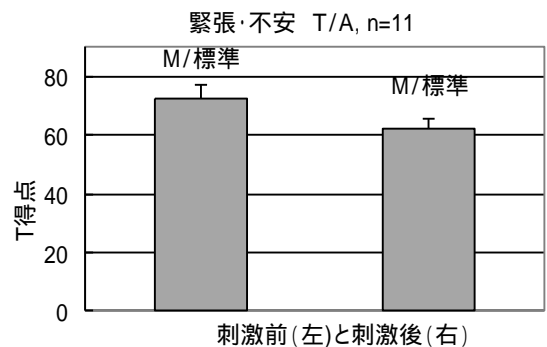


図6 香り + グリーンカーテンの心理的效果

結果のみから、ラベンダーオイルやグリーンカーテンによる鎮静作用を証明したとするのは早急に過ぎるが、種々の条件下でのデータの積み重ねは、嗅覚刺激並びにアロマセラピーやグリーンカーテンの効果・作用の認知と、その啓蒙上は有効と考えられる。

< 引用文献 >

- 1) 梅干野晁、山下富大、ツル植物によるベランダ植栽の日射遮蔽効果に関する実験研究. 日本建築学会建築環境工学論文集、第5号、1983、141-146.
- 2) 梅干野晁、山下富大、(1984) ツル植物によるスクリーンの日射遮蔽効果. 日本建築学会建築環境工学論文集、第6号、1984、140-145.
- 3) 成田健一、緑のカーテンが教室の温熱環境に及ぼす効果、環境情報科学論文集、21、2007、501-506.
- 4) 成田健一、緑のカーテンは周囲空気を冷却するか?、環境情報科学論文集、23、2009、167-172.
- 5) 国土交通省都市・地域整備局公園緑地課緑地環境推進室、緑による熱環境改善効果に関する調査について、2004、11pp.
- 6) 日本体育協会、熱中症予防のための運動指針、日本体育協会ホームページ
<http://www.japan-sports.or.jp/medicine/tabid/922/> 2013.4.16更新, 2014.9.1参照
- 7) 空気調和・衛生工学会編、第12版空気調和・衛生工学便覧、空気調和・衛生工学会、1995、pp. 467-469.
- 8) Gagge, A.P., Fobelets, A.P. and Berglund, L.G., A standard predictive index of human response to

- the thermal environment. American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, inc., Vol.92, part 2B, 1986, 709-731.
- 9) 山田宏之、各種温熱環境指数を用いた夏季緑陰の温熱環境評価. ランドスケープ研究、59巻、1996、65-68.
 - 10) 木下朋行、IT時代における計測制御技術の動向 (2) PMV制御による室内環境最適化制御、空気調和・衛生工学、80巻、2006、35-42.
 - 11) 横山和仁、POMS 手引と事例解説、金子書房、2005、105pp.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3件)

- 鈴木弘孝、加藤真司、藤田茂、表面温度と日射量から見たグリーンカーテンの温熱環境改善効果、ランドスケープ研究、査読有、Vol.79、No.5、2015、pp.537-542
- 鈴木弘孝、加藤真司、桑沢保夫、藤田茂、SET*、PMVを用いたバルコニー部における緑のカーテンの温熱環境改善効果、日本緑化工学会誌、査読有、Vol.41、No.1、2015、pp.175-180
- 鈴木弘孝、加藤真司、藤田茂、MRT、WBGTによるグリーンカーテンの温熱環境改善効果の評価、ランドスケープ研究、査読有、Vol.78、No.5、2015、pp.505-510

[学会発表](計 3件)

- 鈴木弘孝、表面温度と日射量から見たグリーンカーテンの温熱環境改善効果、日本造園学会、2016.5.29、信州大学
- 鈴木弘孝、SET*、PMVを用いたバルコニー部における緑のカーテンの温熱環境改善効果、日本緑化工学会、2015.9.27、日本大学
- 鈴木弘孝、MRT、WBGTによるグリーンカーテンの温熱環境改善効果の評価、日本造園学会、2015.5.23、東京大学

[その他]

ホームページ:<http://www.jiu.ac.jp/env/pages/topics/research/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木弘孝 (SUZUKI, Hirotaka)
 城西国際大学・環境社会学部環境社会学科・教授 研究者番号: 60370706

(2)研究分担者

(3)連携研究者

岩崎 寛 (IWASAKI, Hiroshi)
 千葉大学・大学院園芸学研究所・准教授 研究者番号: 70316040

川口 健夫 (KAWAGUCHI, Takeo)
 城西国際大学・環境社会学部環境社会学科・教授 研究者番号: 00201442

中村 智香 (NAKAMURA, Chika)
 城西国際大学・環境社会学部環境社会学科・助教 研究者番号: 80406769