

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年 5月20日現在

機関番号：33907

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00799

研究課題名(和文)人体に照射される紫外線の防御評価法の開発

研究課題名(英文)Development of evaluation method in UV protection for human body

研究代表者

渡邊 慎一 (Watanabe, Shinichi)

大同大学・工学部・教授

研究者番号：00340175

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：過度な紫外線照射は健康被害をもたらすことが指摘されている。従来、紫外線の遮蔽効果を評価するための紫外線防御指数PFは、水平面で測定された紫外線量から算出されてきた。本研究は、紫外線の遮蔽効果をより詳細に評価するため、建物陰や樹木下等を含む都市空間において、実測に基づき6方向(上下東西南北)のPFを算出した。水平面に照射する紫外線だけでなく、横方向から側面に照射する紫外線を評価に含めることの重要性を明らかにした。さらに、24個のUVセンサを取り付けたマネキンによる実測から、「衣服+アームカバー+日傘」の組み合わせが最もUV遮蔽効果が高く、UV遮蔽率は最大で60.3%であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、庇などによる紫外線の遮蔽効果を評価する際、水平面で測定された紫外線量のみを用いて紫外線防御指数PFを算出し、評価に用いてきた。本研究は、水平面のみによる評価を6方向(上下東西南北)各面の評価に拡張した点が学術的に意義がある。これにより、水平面に照射する紫外線だけでなく、横方向から側面に照射する紫外線および地表面で反射した紫外線を含めて評価することが可能になる。さらに、より詳細な紫外線評価として、マネキン多点UV測定を提案し、様々なUV防御アイテムのUV遮蔽率を明らかにした。この研究成果は、過度な紫外線照射の防止の推進に資するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Excessive ultraviolet radiation causes health problems. Conventionally, the UV protection factor (PF) used to evaluate the UV shading has been calculated from the UV radiation measured on the horizontal plane. In this research, in order to evaluate UV shading for human body in detail, UV protection factors in 6 directions (upper, lower, east, west, north and south) was calculated based on the measurement in urban space including building shade, tree shade, and so forth. The importance of including the lateral UV radiation received on the side planes as well as the horizontal plane in the assessment was emphasized. Furthermore, the measurement using a manikin equipped with 24 UV sensors showed that the combination of "one piece + arm cover + parasol" had the highest UV shading rate of 60.3%.

研究分野：建築環境工学

キーワード：紫外線 遮蔽 6方向 マネキン 日傘

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

WHOによると、全世界で1年間に約6万人が過度な紫外線の照射が原因で死亡していると報告されている。日本においては、国立がん研究センターによると、2015年に皮膚がんが死亡した人数は、全国で1,505人であり、その数は年々増加している。このような状況において、環境省は「紫外線環境保健マニュアル」を発刊し、紫外線に関する情報を提供すると共に、過度な紫外線の照射を避けることを推奨している。その中で紫外線を防御する様々な方策が示されているが、どの対策がどの程度、紫外線を防御できるのか、定量的には示されていない。

これまで日除け等のUV防御効果は、日除け構造物下の水平面で測定された紫外線量 UV_{shade} と日向の水平面で測定された紫外線量 UV_{sun} の比である紫外線防御指数(Protection Factor: PF)を用いて評価されてきた(式1)。一般に、オーストラリアにおいては、PF値が15以上とすることが求められている。

$$PF = \frac{UV_{sun}}{UV_{shade}} \quad (式1)$$

しかし、紫外線は日射領域と比べて拡散成分が多いことが指摘されている。すなわち、横方向からの紫外線が多い特徴がある。したがって、水平面のみで測定された紫外線量に基づいた紫外線防御指数PFの評価では不十分であり、横方向から照射する成分も考慮した紫外線の評価法を確立する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は以下の4つの目的を有している。(1) 従来の水平面紫外線量に基づく評価法による日除け構造物(オーニング、テントおよび樹木)の紫外線遮蔽効果を明らかにする。(2) 複数のUVセンサを取り付けたマネキンにより各部位に照射する紫外線量を明らかにすると共に6方向UV測定法の妥当性を検証する。(3) 6方向UV測定に基づき都市空間および特殊環境として雪面における紫外線環境の評価を行う。(4) マネキン多点UV測定によって日傘や帽子等の紫外線防御アイテムのUV遮蔽効果を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 日除け構造物による紫外線遮蔽効果の実測

① オーニングによる紫外線遮蔽効果

2017年8月5日および6日に、埼玉県上尾市に所在するA幼稚園に設置されたオーニングを対象として、紫外線量を実測した(図1)。オーニングの出幅は2.00mであった。オーニング生地はフッ素加工キャンバス(基布: ポリエステル100%, 厚さ: 0.39mm, 重量: 430g/m², 色: サーモン, 透光率: 5%)であった。測定は、「オーニング下」(天空率: 5.7%)、「オーニングなし」(36.2%)、および日向の「グラウンド」(92.8%)の3点で実施した。水平面紫外線および熱環境の測定は、各測定器を地上60cmとなるよう三脚に取り付け、各測定点に設置し実施した(図2)。

② テントおよび樹木による紫外線遮蔽効果

2017年8月14日および17日に、大同大学の滝春グラウンドにて実測を行った。天空に開放されたグラウンドにパイプテント(幅7.05m×奥行5.30m)を妻側が南面するように設置した。また、測定対象とした樹木は、グラウンド隅に植えられた単木樹であり、樹高が約7m・葉張りが約20mのエノキである(図3)。「日向」(天空率: 92.4%)・「テント下」(6.4%)・「樹陰」(21.6%)の3点で水平面紫外線量および熱環境を測定した。



図1 オーニング測定対象建物



図2 測定器設置状況



図3 測定対象のテント及び樹木

(2) マネキンによる人体各部位に照射する紫外線量の測定と6方向簡易測定法の開発

測定は、2015年8月25日・27日・9月4日の11:00~13:00に、名古屋市南区に所在する大同大学白水校舎およびその周辺の7か所で実施した。測定点は、天空率(9.0~97.1%)および地表面素材が異なる地点を選定した。各測定地点に、41個のUVセンサ(TR-74Ui, T&D)を取り付けたマネキン(女性型, 身長157.5cm, 黒色, ジャージー素材, ディスプランコーポレーション, 図4)および一辺12cmの立方体の上下東西南北6方向にUVセンサを取り付けた測定装置(図5)を設置し、同時測定を行った(図6)。各測定地点において、マネキン正面が南面するように設置し、これを方位角0°とした。この状態で30秒間測定した後、マネキンの方位角を30°回転させた。これを0°~330°まで繰り返した。

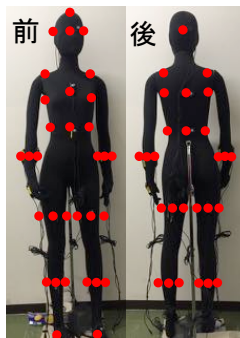


図 4 UV センサ取付位置



図 5 6 方向 UV 測定器



図 6 測定器設置状況

(3) 6 方向 UV 測定に基づく紫外線評価

①都市空間における 6 方向 UV 測定

2016 年 8 月 11 日に大同大学 滝春校舎の中庭(地点 A)にて、6 方向の紅斑紫外線量を実測した。地点 A の地表面は芝生であった。また、2016 年 11 月 16 日に、大同大学 白水校舎およびその周辺の 7 地点(地点 B~H)において、移動観測を行った。各地点における測定時間は 5 分間とした。各測定点の天空率は、地点 B(屋上)が 97.9%で最も大きく、地点 H(樹陰)が 4.8%で最も小さかった。また、地表面仕上げも各地点によって異なる。6 方向(上下東西南北)の紅斑紫外線量は、Biologically Weighted UV-B Detector (PMA2101, Solar Light)を、測定用に制作した金属フレームの上下東西南北の各面に取り付け測定した。

②各種日除け構造物下における 6 方向 UV 測定

2018 年 8 月 29 日、30 日、9 月 3 日、19 日に大同大学キャンパス内の 7 箇所の日除け構造物下および近傍の日向において、6 方向 UV 測定を実施した(図 7)。日除け構造物下における天空率は 0%~27.2%に分布し、近傍の日向における天空率は 17.7%~53.4%に分布していた。

③雪面における 6 方向 UV 測定

測定は 2019 年 2 月 11 日および 12 日に、新穂高温泉 中尾高原 中尾イベント広場にて開催された「中尾かまくらまつり」会場において実施した(図 8)。測定期間中、会場は雪で覆われ、5 基のかまくらが設置されていた。会場中央の広場の屋外および 2 基のかまくら内の 3 点で 6 方向の紫外線量を測定した。測定高さは地上 1.1m とした。



図 7 庇下における測定風景

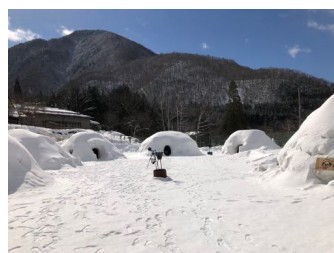


図 8 雪面における測定風景

(4) マネキン多点 UV 測定による紫外線防御アイテムの UV 遮蔽効果の定量化

測定は 2017 年 8 月 27 日の 10:30~16:20 および 8 月 28 日 10:00~16:20 に大同大学 滝春グラウンドにて実施した。天空に開放されたグラウンドにマネキン 2 体を東西方向に 10m 離して設置した。実験に用いたマネキンは女性型で、2 体は同一サイズである。1 体のマネキンに紫外線防御アイテムの衣服(ワンピース)・帽子・アームカバー・日傘を単独あるいは組合せて装着し、マネキン各部位 24 点に照射する紫外線量を測定した。紫外線防御アイテムの条件は、図 9 に示す 6 条件とした。比較のため、別の 1 体のマネキンは裸体状態で紫外線量を連続測定した。



条件① 着衣のみ
条件② 着衣+帽子
条件③ 着衣+帽子+アームカバー
条件④ 着衣+アームカバー
条件⑤ 着衣+アームカバー+日傘
条件⑥ 着衣+日傘

図 9 紫外線防御アイテム条件

4. 研究成果

(1)日除け構造物による紫外線遮蔽効果の実測

①オーニングによる紫外線遮蔽効果

図 10 に日射量と UV Index との関係を示す。日射量が増えるにしたがって、「グラウンド」および「オーニングなし」の UV Index が大きくなる傾向が示された。一方、「オーニング下」の UV Index は日射量に依らずほぼ一定で、その平均値は 0.1 であった。WHO によれば、UV Index が 3 未満では、紫外線に対して防御は必要がないとしている。したがって、水平面紫外線量に基づいた評価では、オーニングを展開することによって、紫外線に対する防御が必要ない環境を提供していることが示された。

②テントおよび樹木による紫外線遮蔽効果

図 11 に日射量と UV Index との関係を示す。日向において、日射量の増加にしたがって UV Index

が上昇したが、「テント下」および「樹陰」では日射量に依らずほぼ一定値となる傾向が示された。日射量 $1,000\text{W/m}^2$ における UV Index は、「日向」が 10.5、「テント下」が 0.1、「樹陰」が 0.2 であった。このことから、水平面紫外線量に基づいた評価では、テントおよび樹木によって紫外線環境は大きく改善されることが示された。

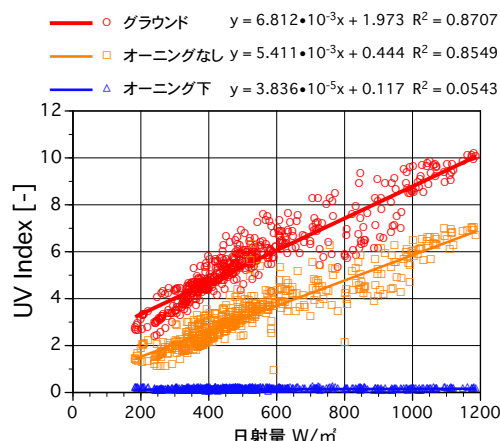


図 10 日射量と UV Index との関係(オーニング)

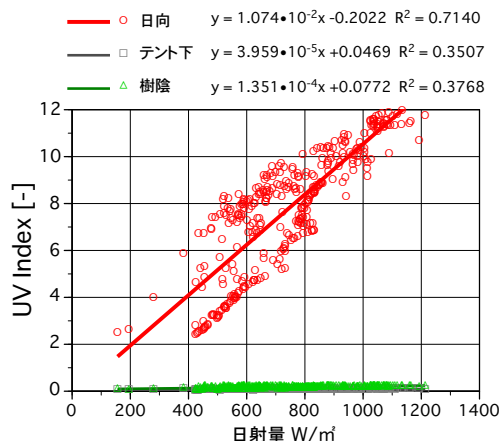


図 11 日射量と UV Index との関係(テント及び樹木)

(2) マネキンによる人体各部位に照射する紫外線量の測定と 6 方向簡易測定法の開発

図 12 にマネキン多点 UV 測定から得られた全身に照射する平均紫外線強度と 6 方向 UV 測定から得られた平均紫外線強度との関係を示す。回帰直線に着目すると、回帰式の傾きが 1 に近く、切片がほぼ 0 であることから、両者はほぼ一対一で対応することが示された。この結果から、6 方向 UV 測定により、立位人体全身に照射される紫外線強度を高い精度で推定できることが示された。

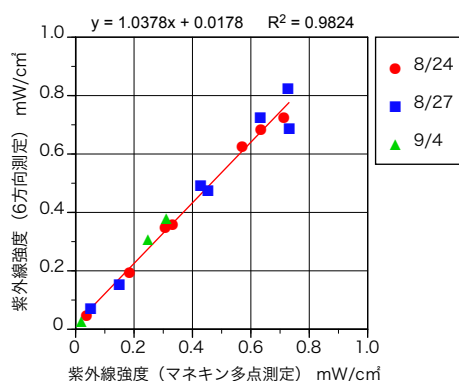


図 12 マネキン測定と 6 方向測定による全身 UV 強度の関係

(3) 6 方向 UV 測定に基づく紫外線評価

① 都市空間における 6 方向 UV 測定

図 13 に地点 B~H における 6 方向の紅斑紫外線量の比較を示す。天空率の大きい「B:屋上」・「F:グラウンド」・「G:草地」では、上面の紅斑紫外線量が多い。一方、直達成分が遮蔽された「C:建物陰」および「H:樹陰」では、上面の紅斑紫外線量が小さくなる傾向が示された。天空に開放された「F:グラウンド」を基準にすると、「C:建物陰」の上面の紅斑紫外線量は約 1/4 に低下し、「H:樹陰」では約 1/16 に低下した。

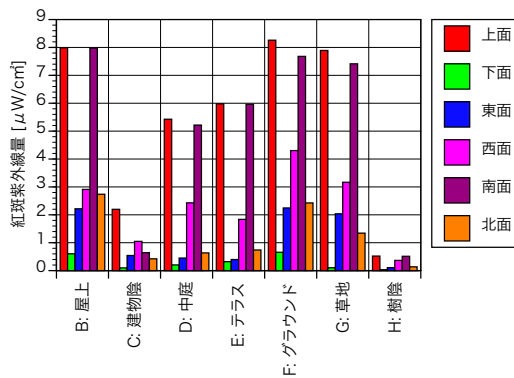


図 13 各地点における 6 方向の紅斑紫外線量の比較 (2016/11/16)

図 14 に紫外線の直達成分が遮蔽された「C:建物陰」および「H:樹陰」における紫外線防御指数 PF を示す。「C:建物陰」では、南面の PF が最も大きく 11.9 であった。これは、測定点が建物北側であったため、南からの紫外線拡散成分の多くを建物が遮ったためと考えられる。しかし、PF は 15 には達していなかった。南面以外の PF は 3.8~6.8 であった。「H:樹陰」では、西面の PF が 11.7、南面が 14.9 であり、それ以外は基準値 15 以上であった。このように、各面によって PF が異なることが明らかとなった。したがって、6 方向の PF を算出することによって、従来の水平面のみ PF よりも、詳細に紫外線環境を評価できることを示した。

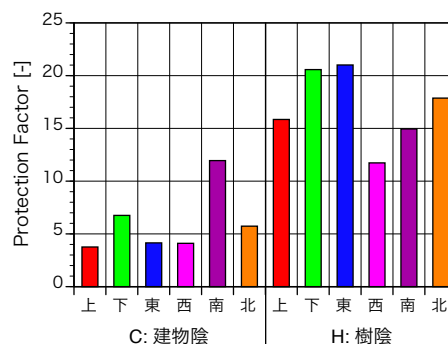


図 14 建物陰および樹陰における PF

② 各種日除け構造物下における 6 方向 UV 測定

図 15 に 2018 年 9 月 19 日 10:00 における天空率と UV Index との関係を示す。「日向」および「日除け下」とともに天空率が大きくなるに従って、UV Index が大きくなる傾向が示された。「日向」と「日除け下」の UV Index の間に大きな差が認められる。これは、「日除け下」では紫外線の直達成分

が遮蔽されたためであると考えられる。

③雪面における6方向UV測定

図16に2019年2月12日の雪面における6方向のUV Indexの推移を示す。上面のUV Indexは12:27に最大値3.82となった。11:30~12:30の1時間の平均値は、上面が3.36、下面が2.51であり、紫外線の反射率は74.8%であった。芝地の紫外線反射率は1.0%と報告されており、雪面は紫外線の反射率が極めて大きいことが示された。また、11:30~12:30の南面UV Indexの平均は3.93であり、上面よりも大きな値となった。この結果より、従来の水平面上向のみの紫外線量から算出される紫外線防御指数PFだけでは、横方向からの紫外線を適切に評価できないことが明らかとなった。特に、雪面のような紫外線反射率が高い環境では、横方向のみならず、地表面による反射成分も把握することが極めて重要であることが示された。

(4) マネキン多点UV測定による紫外線防御アイテムのUV遮蔽効果の定量化

図17に裸体とUV防御アイテム装着時の各部位におけるUV Indexの比較を示す。一例として、8月27日10:30のデータを示す。条件①では、衣服で覆われた腹前・背中・大腿のUV Indexが裸体よりも大きく減少した。腹前ではUV Indexが94.3%、背中では86.1%低減した。条件⑤では、衣服によるUV遮蔽効果と共に、日傘の使用により頭頂および顔面に照射する紫外線が大きく低減した。紫外線遮蔽率は頭頂で94.1%、顔面で79.0%であった。さらに日傘は頭部以外にも肩や胸など広範囲に紫外線を低下させる効果が見て取れる。

図18に顔面における紫外線照射率を示す。紫外線照射率(Exposure Rate, ER)は、ある部位のUV Indexの水平面UV Indexに対する比で示される。照射率100%は、水平面と等しい紫外線量が照射することを示し、100%よりも小さいと照射する紫外線量も少ないことを示している。裸体マネキンの顔面照射率ERは、12:00に最も小さくなり、16:00に向かって大きくなる傾向が示された。これは、太陽高度が高いと顔面に照射する紫外線量が少なく、夕方になるに従って太陽高度が低くなり、紫外線が水平方向から照射するため、見付面積が大きくなり照射する紫外線量が多くなったと考えられる。

一方、UV防御アイテムを装着したマネキンの顔面照射率ERは、帽子を着用した条件②・③および日傘を使用した条件⑤・⑥では、10:30~14:00の時間は10~20%程度で推移した。しかし、16:00において急激にERが上昇した。これは、夕方では太陽高度が低くなり、帽子および日傘では水平方向からの紫外線を防ぐことができなかったためであると推察される。

図19にUV防御アイテムによる全身UV遮蔽率を示す。条件⑤「衣服+アームカバー+日傘」のUV遮蔽率が最も高く、最高値は14:00における60.3%であった。10:30~14:00における各条件の全身の紫外線遮蔽率の平均は、条件①が18.4%、条件②が41.3%、条件③が50.8%、条件④が28.4%、条件⑤が58.6%、条件⑥が51.1%であった。

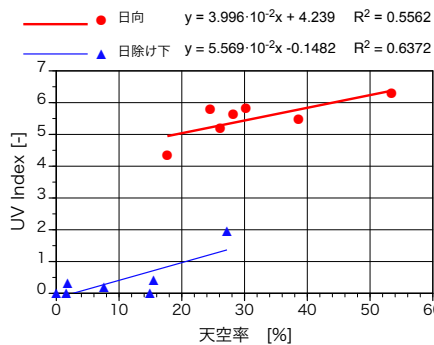


図15 天空率とUV Index との関係(2018/9/19 10:00)

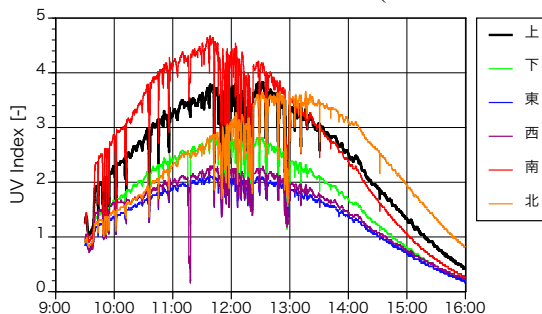


図16 6方向のUV Indexの推移(2019/2/12)

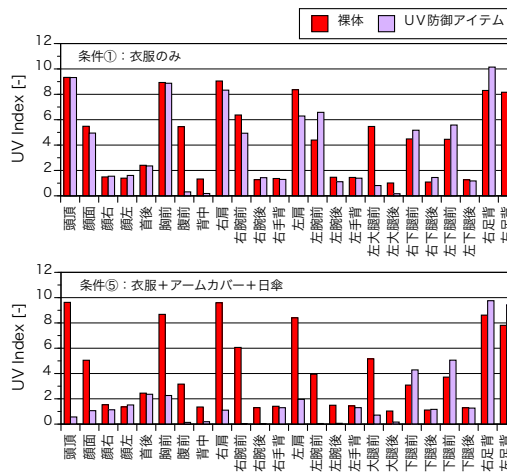


図17 裸体とUV防御アイテム装着時の各部位UV Indexの比較 (2017/8/27 10:30)

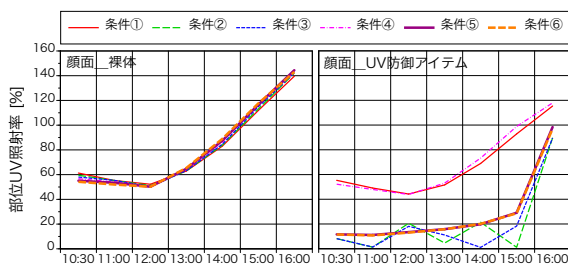


図18 顔面におけるUV照射率

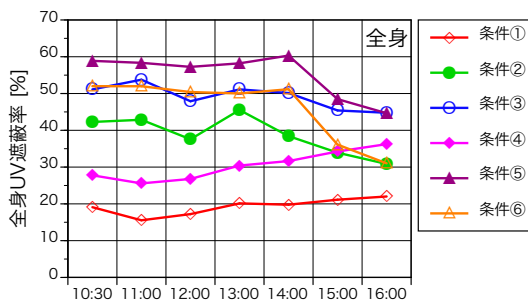


図19 UV防御アイテムによる全身UV遮蔽率

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ①横田知樹, 近藤亮磨, 渡邊慎一, 森川博之, 岩井将行: UV-Cube:屋外作業員のための紅斑紫外線量6方位同時計測システム, 情報処理学会論文誌, 59(10), pp. 1794-1801, 2018, 査読有.
https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/index.php?active_action=repository_view_main_item_detail&page_id=13&block_id=8&item_id=191581&item_no=1
- ②渡邊慎一: オーニングによる暑熱緩和および紫外線遮蔽効果の実証的研究, 環境情報科学学術研究論文集, 32, pp. 263-268, 2018, 査読有.
https://doi.org/10.11492/ceispapers.ceis32.0_263
- ③渡邊慎一, 稲垣昌紘, 石井仁: 屋外空間における 6 方向の紅斑紫外線量の実測, 大同大学紀要, 第 53 巻, pp. 53-60, 2018, 査読なし.
https://daido.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=89&item_no=1&page_id=13&block_id=78

[学会発表] (計 10 件)

- ①渡邊慎一, 武藤将史: 紫外線防御アイテムによる人体各部位に照射する紫外線の遮蔽効果, 第 42 回 人間-生活環境系シンポジウム報告集, pp. 107-110, 2018, 大阪.
- ②渡邊慎一, 石井仁, 橋本剛: 加計呂麻島における夏季の UV インデックスの実測, 日本生気象学会雑誌, 55(3), p. S73, 2018, 京都.
- ③渡邊慎一: オーニングによる暑熱緩和および紫外線遮蔽効果, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 56 号, pp. 405-408, 2018, 名古屋.
- ④武藤将史, 渡邊慎一: 屋外におけるマネキンを用いた紫外線防御アイテムの遮蔽効果の測定, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 56 号, pp. 401-404, 2018, 名古屋.
- ⑤山田智之, 渡邊慎一: 夏季におけるパイプテントおよび樹木による暑熱緩和および紫外線遮蔽効果, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 56 号, pp. 397-400, 2018, 名古屋.
- ⑥渡邊慎一, 石井仁: 屋外空間における紫外線の直達成分と拡散成分の実測, 第 41 回 人間-生活環境系シンポジウム報告集, pp.175-178, 2017, 上田.
- ⑦横田知樹, 近藤亮磨, 渡邊慎一, 岩井将行: UV-Cube:複数方位からの紅斑紫外線量センシングシステム, 信学技報, Vol. 117, No. 310, pp. 179-183, 2017, 鶴岡.
- ⑧渡邊慎一, 石井仁: 屋外空間における 6 方向の紅斑紫外線量の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.677-678, 2017, 広島.
- ⑨渡邊慎一, 石井仁: 日傘による人体各部位に照射する紫外線強度の低減効果, 日本生気象学会雑誌, 53(3), p.S68, 2016, 札幌.
- ⑩岩本拓磨, 渡邊慎一: 立位人体各部位に照射される紫外線強度の測定と簡易測定法の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 885-886, 2016, 福岡.

6. 研究組織

(1) 連携研究者

研究分担者氏名: 石井 仁
ローマ字氏名: Ishii Jin
所属研究機関名: 名城大学
部局名: 理工学部
職名: 教授
研究者番号 (8 桁): 70321479

(2) 連携研究者

研究分担者氏名: 長野 和雄
ローマ字氏名: Nagano Kazuo
所属研究機関名: 京都府立大学
部局名: 生命環境科学研究科
職名: 准教授
研究者番号 (8 桁): 90322297

(3) 研究協力者

研究分担者氏名: 岩井 将行
ローマ字氏名: Iwai Masayuki
所属研究機関名: 東京電機大学
部局名: 未来科学部
職名: 准教授
研究者番号 (8 桁): 30458971

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。