

窓用着脱式調光シートの開発と省エネルギー効果

Development of Reversible Sunlight Regulating Sheet for Windows
and their Energy Conservation Effectiveness本田 雄一
Yuichi HONDA

要 旨

近年、ヒートアイランド現象によって引き起こされる都市公害や災害が大きな問題となってきた^{1),2)}。ヒートアイランド現象の緩和には、街に滞留する熱を逃がすことや、熱の発生源を減らす必要がある³⁾。そこで、建物の大きなエネルギーロスの原因となっている窓について^{4),5)}、調光と断熱を改善することで冷暖房効率を高め、不必要な排熱と冷暖房コストの削減が可能な、窓用着脱式調光シートを開発した^{6),7)}。

この装置の省エネルギー効果を室温の変動抑制効果で比較したところ、夏季においては市販の遮光フィルムに近い室温の上昇抑制効果があるのに対し、冬季においては遮光フィルムのような極端な室温低下がなく、通年での省エネルギー効果が非常に高いと考えられた。さらに、空気二重層による断熱効果が見られた。本装置は、既存の製品では実現できなかった、夏季の太陽光の再帰反射による遮光性と、冬季の採光性、窓面の断熱性を有しており、建物の省エネルギーとヒートアイランド現象低減に高い効果が期待できると考えられた。

Abstract

Urban pollution and disasters caused by the heat island effect continue to pose serious problems year on year. With the aim of mitigating the urban heat island effect by dissipating accumulated urban heat or reducing heat sources, I invented reversible sunlight regulating sheet which can improve light regulation and thermal insulation of windows whilst also reducing energy loss.

By comparing fluctuation from room temperature when the equipment was installed or not, the energy saving effectiveness of the equipment was deduced. Although the invented sheet was similarly effective to commercially available window shading films in terms of temperature control during the summer, and it was more effective than commercially available film for preventing temperature decline in the winter. This insulator effect seemed to be due to an air bilayer between the sheet and window glass.

This equipment had the observed effect of regulating sunlight by a process of retroreflection in summer, whilst effectively capturing sunlight in winter to insulate the window surface. This effect has not been matched in other available products. Therefore, our equipment is expected to be highly effective in energy saving for buildings and the reduction of the urban heat island effect.

キーワード：窓用着脱式調光シート ヒートアイランド現象 再帰反射 断熱 空気二重層

I はじめに

ヒートアイランド現象は都市部における気温、特に夜温が高くなる現象で、その悪影響は熱中症や冷房効率の低下による電力需給の逼迫など、熱による直接的なものだけでなく、光化学オキシダントの高濃度化やPM_{2.5}を含むSPMの生成の助長、生態系のかく乱など多岐にわたっている^{1),2)}。瀬戸内地域は光化学オキシダント濃度が上

昇しやすいリスクがあるため、本県でも対策が必要である⁸⁾。

ヒートアイランド現象を低減するためには、都市地域での熱の発生を抑制する方法、地熱や打ち水などで直接冷却する方法、熱が留まらない都市構造にするなどの方法が考えられる。今回は都市地域での熱の発生を抑制する方法として、建物の省エネルギーに関する装置を考案

し、その効果を検討した。

空調による冷熱の50~70%が、窓などの建物の開口部から漏洩しており^{3),4)}、窓の断熱を改善することでエネルギー効率の大幅な改善が見込まれる。窓の断熱には二重窓や遮光・反射フィルムなどが一般的だが、コストの問題や冬季を含めた通年でエネルギー効率が悪い等の問題⁹⁾があり、導入メリットが小さい。また、太陽の直射光を鏡面によって地面に向かって反射すると、街路などの環境を悪化させるため、ヒートアイランド対策としては空に向かって反射する再帰反射でなければならない⁹⁾。

そこで、設置が簡単で、季節によって太陽の直射光を再帰反射で調整でき、窓ガラス面に空気の断熱層を形成し、少ない資材で生産できる調光装置を考案し⁶⁾、その効果について調査した。

II 材料および方法

1 窓用着脱式調光シート

窓用着脱式調光シート（以下、調光シートと記す。）の

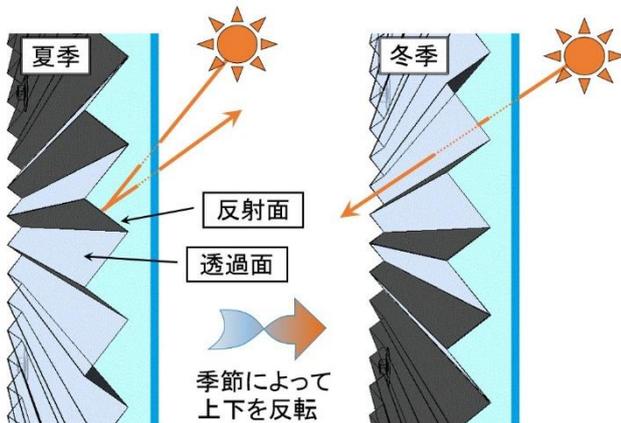


図1 窓用着脱式調光シートの構造と調光の仕組み

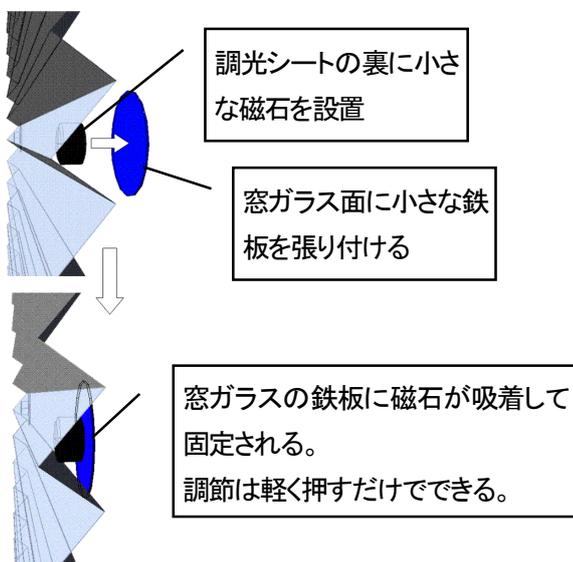


図2 調光シートの着脱機構の例

構造と原理を図1に示す。厚さ0.8mmの透明なPET樹脂板に12.4mm間隔で、反射面となる幅10.4mmのアルミテープを貼り付け、この間隔にあわせて90°の角度で波型に折り曲げた。

この調光シートは、図2に示すような磁石等を利用した着脱可能な機構で窓に設置して使用する。夏季は反射面が太陽に向くように設置し、太陽からの直射光を空に向かって反射させる。冬季には透過面が太陽に向くように上下を反転して設置することで、直射光が室内に取り込めるようになっている。

また、調光シートの普及性を評価するため、市販の日射遮光フィルム（T社製 アルミ蒸着フィルム 74%反射タイプ：以下、遮光フィルムと記す。）と省エネルギー効果の比較を行った。

2 省エネルギー効果比較装置

省エネルギー効果の比較には、日影らの方法⁽¹¹⁾を参考としたが、今回は太陽からの直射光を遮光する効果を比較するため、窓面は垂直に配置した。

装置の概要を図3に示す。市販の2段A4ファイルボックス（内側縦33×横33×奥行29cm×2室）の表面に、断熱のためのポリエチレン製エアークャップ緩衝材を貼り付け、さらにその上にアルミ蒸着発泡ポリエチレン（厚さ1mm）を張り付けた。内面はエアークャップ緩衝材を張り付けたうえに、光の反射を抑えるために黒色のポリエステル製フェルトを張り付けた。開口部分には厚さ1mmの透明PET樹脂板を取り付けて窓とした。この窓に調光シートや市販の遮光フィルムなどの調光・遮光素材を張り付けて室温の変化を比較し、室温上昇低減効果の程度を評価した。

室温の測定には、エスペックミック株式会社製サーモレコーダーRT-12を用い、2チャンネルあるセンサーのそれぞれ

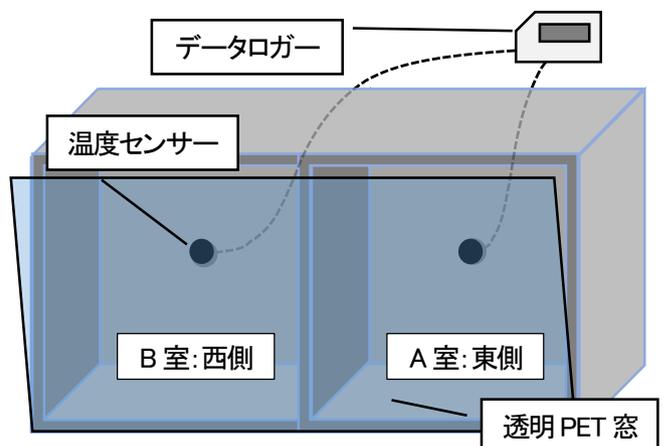


図3 省エネルギー効果比較装置の構造

れを2室の奥側壁面中央に設置し、10分間隔で気温の変化を記録した。

Ⅲ 結果

1 A、B各室の温度特性

作成した効果比較装置のA、B各室の温度特性を把握しておくため、窓面に調光素材を付けずに測定した温度変化を図4に示す。測定値は平成26年8月25日から27日の平均値である。

気温が上昇する午前中を中心に、東側にあるA室の室温が0.6~1.5℃程度高くなりやすかった。夏季における比較では、室温の上昇を抑える効果を比較するため、A室が不利になる。このため、調光シートはA室に設置して比較することとした。



図4 調光素材がない状態でのA、B室の気温の比較

る遮光の状態を図6に示す。また、この状態で測定した、夏季におけるそれぞれの室温の変化を図7に示す。値は平成27年7月29日から8月5日の平均値である。

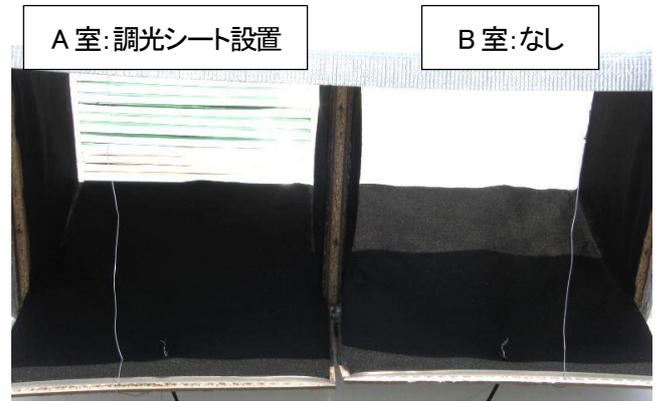


図6 調光シートによる室内の遮光の状態

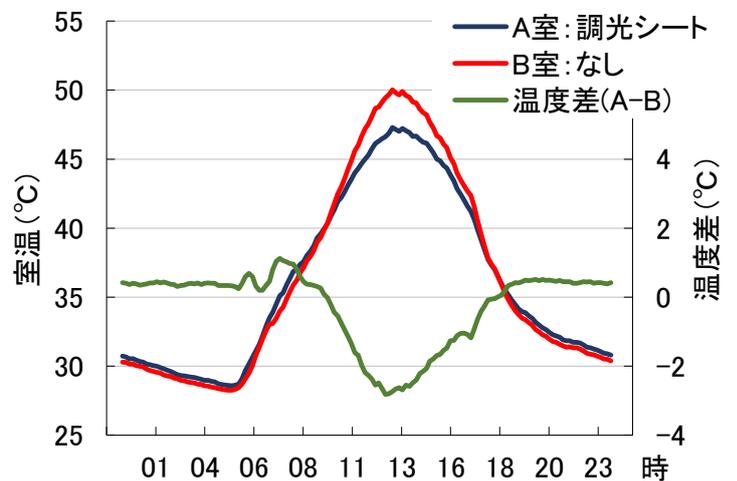


図7 夏季における調光シートの室温抑制効果

2 夏季における省エネルギー効果の比較

調光シートを設置した効果比較装置の写真を図5に、太陽が南中したときに室内側から見た、調光シートによ



図5 A室に調光シートを設置した効果比較装置

調光シートの設計目的どおり、太陽光は空に向かって反射されており、地面に反射光は映っていなかった。図5の写真では、太陽の直射光の角度と調光シートの反射面の角度から、空の方向であるカメラ側に向かって光が反射しているため、明るく輝いて見えており、反射率が非常に高いことを示していた。室内側から窓周辺を見ると、B室は太陽の直射光が室内に差し込んでいるのに対し、A室は調光シートによって直射光が遮られていた。しかし、屋外周囲からの反射光は透過面から入ってくるため窓面は明るく、暗室のようになることはなかった。

室温の変化について、太陽が装置の南側となる8:10頃から16:20頃までの日中平均室温は、調光シートを設置したA室で43.4℃、設置なしのB室では44.8℃となった。また、日中の温度差が最大となったのは13時頃で、調光シートを設置したA室で47.3℃、設置なしのB室で

50.0℃であった。調光シートによって、日中の平均で1.3℃、最大値で2.7℃、室温の上昇抑制効果があった。

3 冬季の遮光による影響

調光シートの上下を反転し、透過面が太陽側になるように設置したときの、室内側から見た窓周辺の状態を図8に示す。また、この状態で測定した、冬季におけるそれぞれの室温の変化を図9に示す。調査日は平成27年1月28、29日で、28日は晴時々曇り、29日は曇りの天候での室温の変化を示している。

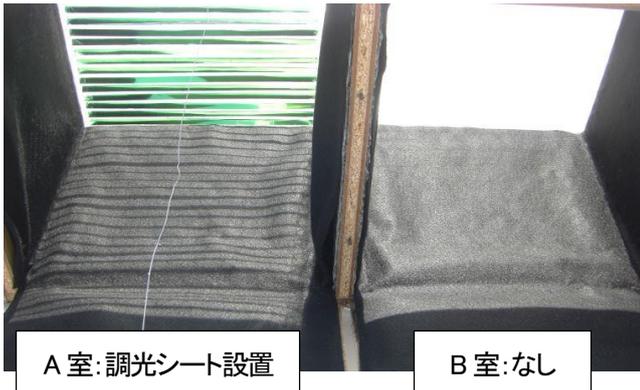


図8 冬季における採光の状態

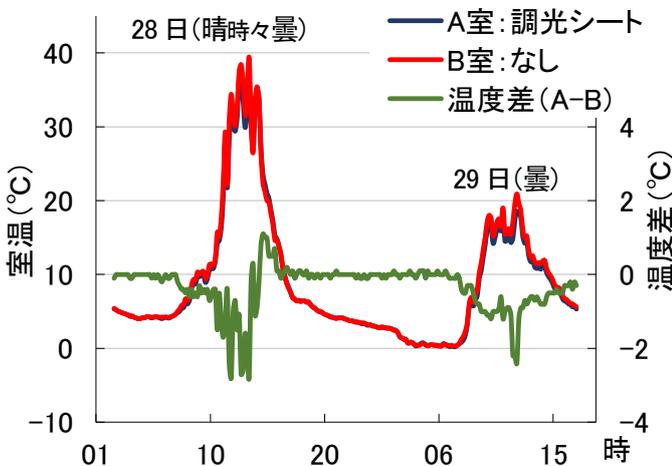


図9 冬季の室温に対する調光シートの影響

今回の調査では、比較装置の窓が小さいため透明なビニールテープで調光シートを固定したが、市販する場合は磁石や剥離できる粘着剤で固定するため、非常に簡単な操作で上下の反転が可能である。

調光シートが完全に透明ではなく、反射面の厚さによる影ができることから、設置なしのB室に比べてごく僅かに暗くなるが、窓辺の採光状態は良好であった。

こうした影の影響と思われるが、日の出から日の入りまでの室温の平均は、調光シートを設置したA室で

17.3℃、設置なしのB室で17.8℃となり、調光シートの影響で0.5℃程度低下していた。温度差が大きくなるのは11時から13時頃で、最大2.8℃低くなったが、ピークの中心は気温が上昇傾向にある13時以前に多く、外気温が大きく低下しはじめる15時以降は、逆に調光シートを設置したA室の室温が0.5~1℃高く維持され、結果として日中の平均気温の差が小さくなった。

曇りの日は日射が弱く気温が低いことから、室温が上がりやすく、調光シートによる遮光の影響が出たA室の温度は一日を通してB室より低くなった。しかし、その差は日中の平均で0.7℃程度であった。

4 市販の遮光フィルムとの比較

市販の遮光フィルムをB室に張り付け、A室の調光シートを設置した場合との室温の変化を比較した。

夏季における調光シートと遮光フィルムの省エネルギー効果の比較を図10に、冬季における比較を図11に示す。なお、夏季のグラフは平成27年8月7日から11日の、冬季は平成27年2月7日から10日の平均である。

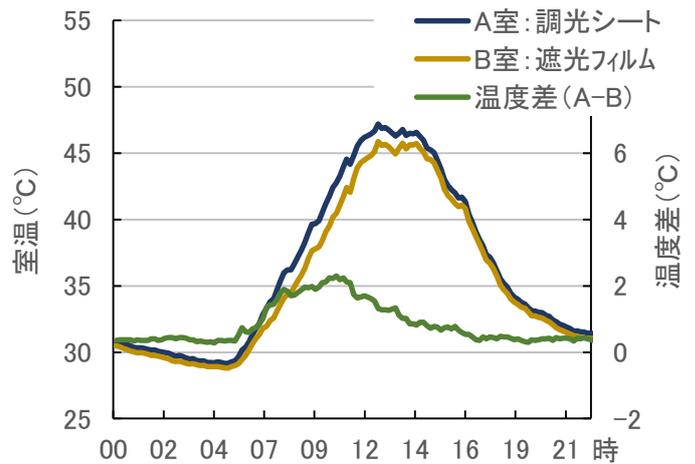


図10 夏季における遮光フィルムとの効果比較

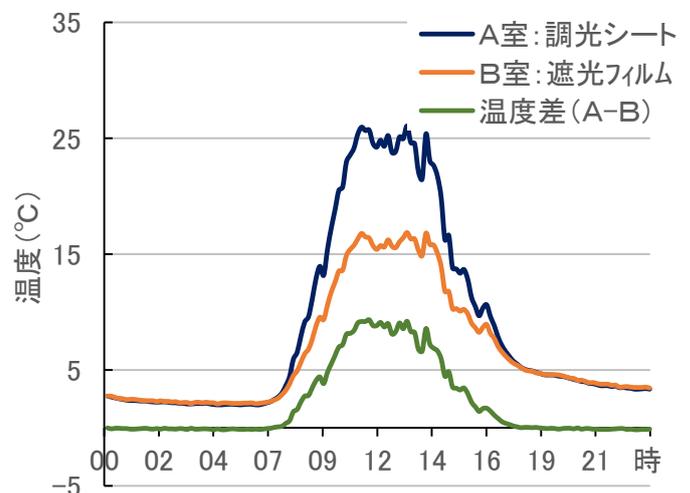


図11 冬季における遮光フィルムとの効果比較

また、冬季に室内側から見た窓周辺の採光の状態を図12に示す。

遮光フィルムは全ての方向からの光を反射するためか、調光シートよりも室温を低く抑えられており、太陽が装置の南側となる日中の平均室温は調光シートのA室で43.9℃、遮光フィルムのB室では42.5℃となり、1.4℃低くなった。2室の温度差は最大2.3℃となったが、そのピークは気温が急激に上昇している10時頃で、13時以降の温度差は1℃以下であった、この温度差は深夜においても続いていた。

夏季においては効果的だった遮光フィルムであるが、冬季では調光シートに比べて室内はかなり暗くなり、B室の温度上昇は著しく阻害され、日中の平均室温は11.0℃にとどまった。これに対し、調光シートのA室では15.9℃まで上昇し、その差は-4.9℃となった。温度差のピークは10時頃から14時頃までと長く、最大-9.3℃となった。

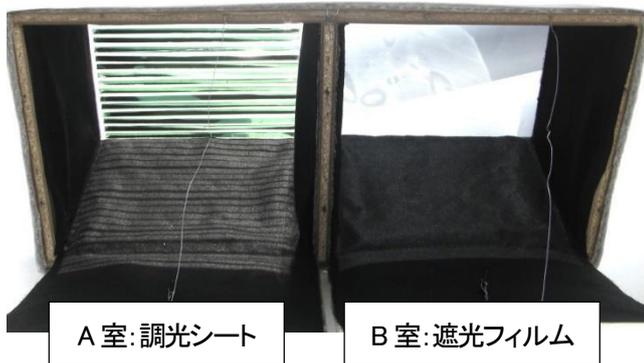


図12 調光シートと遮光フィルムの採光状態の比較

IV 考察

1 夏季における省エネルギー効果の比較

調光シートによる室温上昇抑制効果は、市販の遮光フィルムには僅かに劣るものの、何もしていない窓に比べれば、日中の平均値で1.3℃温度上昇を抑制でき、大きな効果が得られた。冷房の設定温度を1℃高めるだけで、消費量を約13%削減できる場合もあることから¹²⁾、夏季における高い省エネルギー効果が期待できる。さらに、遮光フィルムは太陽の直射光を地面に反射するのに対し、調光シートは空に向かって再帰反射しており、建物周辺の熱環境を悪化させる可能性は非常に低いと考えられた。

夏季においては、太陽が沈んだ後でも調光シートを設置したA室の室温が僅かに高い状態が続くが、この現象は調光シートを付けない場合や、冬季の夜間には見られ

ない。調光シートを窓に設置すると、窓面とシート間に空気層ができ、これが断熱材として働いていると考えられる。夏季においては日中の熱によって、装置周辺のコンクリートが暖められており、この熱が装置の底面や背面から伝わり、夜間も室内を温め続けているものと思われる。暖められた室内の空気は、壁面や主に窓から外に逃げていくが、調光シートを設置した窓は何もない状態より断熱性が高く、熱が逃げにくいのではないかとと思われる。今回の調査ではエアコンの影響を考慮していないため、深夜に部屋が温まるマイナスの作用として現れているが、エアコンによって室内が冷やされている場合は、室内の冷気を留める効果が期待できる。市販の遮光フィルムでは、こうした断熱効果は期待できないため、断熱効果を含めた比較では、調光シートの省エネルギー効果は高いのではないかと予想された。

2 冬季の遮光による影響

調光シートのA室の温度が設置なしのB室より低くなったのは、調光シートが完全に透明でないことと、反射面によって太陽の直射光が僅かに遮られることが原因と考えられる。しかし、太陽光の74%を反射し、室内がかなり暗くなる遮光フィルムに比べれば採光状態は良好で、室温低下の程度も小さいと考えられた。

また、外気温が急激に低下する夕方には調光シートを設置した部屋の方が室温の低下が遅れる傾向が見られた。これは、正午頃までの太陽光で暖められた室内の熱エネルギーが、調光シートの断熱効果により窓から逃げるのが防がれているためではないかと思われる。

今回の冬季の調査では、調光シートや遮光フィルムによる影響が目立つため、一見、冬季は調光素材を取り外したほうがよいように思われるが、遮光フィルムは再貼り付けや剥がした後の管理が難しく、実際的ではない。一方、調光シートは着脱が容易なことから、外しておくことも可能である。しかし、調光シートには断熱効果が期待できるため、窓から暖房の熱エネルギーが漏洩することを防ぐ効果があると予想される。

以上のことから、本装置は既存の製品では実現できなかった夏季の再帰反射性と、冬季の採光性、窓面の断熱性を有しており、建物の省エネルギーに高い効果が期待できると考えられた。

今回の調査では実験の規模が小さかったため、室内に空調設備を設置した場合の省エネルギー効果までは評価できなかった。今後、既存の建物の窓に設置できる規模

での試作品の作成と、それを用いて冷暖房を併用した場合の省エネルギー効果の比較が必要である。

文献

- 1) 環境省：ヒートアイランド対策マニュアル，参考資料1，p141，(2012)
- 2) 飯田信行，大原利眞：関東地域における光化学オキシダント等の挙動解明に関する研究－ヒートアイランドが発生したときの影響－，神奈川県環境科学センター研究報告，30，60-65，(2007)
- 3) 日本ヒートアイランド学会：ヒートアイランドの事典，86-93，朝倉書店（東京都），(2015)
- 4) 財団法人省エネルギーセンター：地球と私たちのためのかしこい住まい方ガイド，13-18，(2005)
- 5) 資源エネルギー庁：住宅による省エネ，
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/，(2014)
- 6) 本田雄一：窓用着脱式調光シート，意匠登録，登録第1463889号，(2013)
- 7) 本田雄一：窓用着脱式調光シートの開発と省エネ効果，日本ヒートアイランド学会第10回全国大会講演要旨集，139，(2015)
- 8) 本田雄一：炭化水素類の濃度と光化学オキシダント濃度上昇との関係について（Ⅱ），香川県環境保健研究センター所報，12，43-47，(2013)
- 9) 山本健太郎，井上隆，一之瀬雅之，長浜勉，下泰蔵：建物開口部の再帰反射化による屋外熱環境の改善，日本ヒートアイランド学会第10回全国大会講演要旨集，40-43，(2015)
- 10) 環境省：ヒートアイランド対策ガイドライン第3章，90，(2009)
- 11) 日影達夫，松浪有高，岡田嘉寿雄，清水利文：遮光フィルム等による省エネルギー効果の検証，名古屋大学工学部・工学研究科技術部 技報，Vol6，2，(2004)
- 12) 環境省：オフィスでできる節電アクション，
<https://funtoshare.env.go.jp/setsuden/office/saving01.html>