建物周辺放射環境を考慮した開口部の遮熱対策に関する研究

－近赤外域における再帰反射特性を有する遮熱フィルムの提案と効果検討－

IMPROVEMENT OF OUTDOOR RADIATIVE ENVIRONMENT
BY HIGH-REFLECTIVE FACADE

－ Effect of heat-shielding film with retro-reflective property in near infrared band －

藤田 渉*, 井上 隆**, 一ノ瀬 雅之***, 長浜 勉****, 高草 智*****

Sho FUJITA, Takashi INOUE, Masayuki ICHINOSE,
Tsutomu NAGAHAMA and Satoshi TAKAKUSA

This paper presents the effect of 'retro-reflection film' improving not only indoor but also outdoor radiative environment. Solar heat shielding against solar radiation over the entire building envelope is one of the most effective measures for achieving air conditioning energy savings. On the other hand, solar radiation from the mirror reflection of a heat-shielded building envelope by Low-E glass for example, deteriorates the street radiative environment. These facts indicate that retro-reflection is an effective method to improve the current situation. We propose a newly developed heat-shielding film, which possesses a retro-reflective property and a wavelength-selection property, while having the same degree of transparency as usual glass. The proposed film embodies an innovative heat-shielding technique that makes it possible to effectively return solar radiation toward the sky, while minimizing the secondary effects to other buildings, to the ground, and so on. In order to verify these effects, several aspects of quantitative evaluation are demonstrated.

Keywords : Solar shielding, Spectral environment, Retro-reflection, Heat shield film, Near infrared band

日射遮蔽, 分光放射環境, 再帰反射, 遮熱フィルム, 近赤外領域

1. はじめに

地球温暖化対策として, 温室効果ガスの削減が喫緊の課題であり, 建築分野は CO₂ 排出量削減の最も大きな可能性を有するとされている¹⁾。建物のハードからソフト面に至るまで数多くの省エネ手法が確立され, その効果が実証されており, 日射の近赤外域を含め反射率を高める「建物外皮の高反射率化」は, 冷房が空調負荷の大部分を占める日本のオフィスビルにおいて, 建物の処理熱量の多くを占めるペリメータ負荷を削減することができる根本的かつ効率的な省エネ手法である。建物の屋根や壁面等の非開口部については高反射率塗料の塗布, 開口部については高反射ガラスや遮熱フィルム, 高性能窓システムの導入が代表的な外皮の遮熱化手法として挙げられ, 既往の研究結果²⁾³⁾⁴⁾から各種遮熱化手法の導入による熱性能の向上効果, 省エネ効果が明らかとなりつつある。

一方, 建物外皮の反射指向特性に着目すると, 一般的に塗装表面では均等拡散反射特性, ガラス表面は鏡面反射特性を有するとされている⁵⁾⁶⁾。これにより, 非開口部での拡散反射の一部は天空方向へ返すことができるが, 開口部における反射は近傍の街路や近隣の建物に照射する。ゆえに, 開口部の高反射率化は建物近傍への反射日射

図1 建物外皮における反射模式図

量を増加させ, 屋外放射環境を悪化させる懸念がある (図1)。

近年の開口部の傾向としては, 窓本来のあり方として透視性が求められ, 波長選択性を有する Low-E 複層ガラス等の高反射ガラスが普及しつつある⁷⁾。また, 建物外皮構成の変遷に着目すると開口率は増加傾向にあり, それに伴い日射に起因する熱流入の抑制を目的と

* (株)清水建設 修士(工学)
(当時 東京理科大学大学院 大学院生)

** 東京理科大学 教授・工博

*** 首都大学東京 准教授・博士(工学)

**** (株)デクセリアルズ 修士(工学)

***** (株)日本ファシリティ・ソリューション 工修

Shimizu Corp., M. Eng.

Prof., Tokyo University of Science, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng.

Dexerials Corp., M. Eng.

Japan Facility Solutions, Inc., M. Eng.

した開口部の高反射率化が進んでいる。⁸⁾⁹⁾

建物の省エネ化実現には、外皮の遮熱化は必須であるが、Low-E 複層ガラスなど近赤外域における反射率が高い開口部では、屋外への反射日射量が増大し、建物近傍に与える熱的影響も大きいと考えられる。このように、開口部については、建物内の快適性・省エネ効果と屋外放射環境への影響はトレードオフの関係にあり、適用には多面的な配慮が重要となる。

屋外放射環境の実態評価に関して、足永¹⁰⁾は全球トラパース計測から屋外空間における短波・長波の放射強度の連続的分布を示している。鄭ら¹¹⁾は、空間構成の異なる2地点における環境評価指標の算出結果と人体の生理反応との相関から、屋外放射環境が人体に及ぼす影響について明らかにしている。また筆者らは、屋外・半屋外空間における分光放射量の計測から都市キャノピー構成面にて透過・反射する日射の波長特性の実態を明らかにし、¹²⁾ 更にはガラスの分光反射特性に着目し、実街区における建物開口部からの反射日射を捉え、開口部の遮熱化が屋外放射環境へ与える影響について定量的に示した。¹³⁾¹⁴⁾

以上のような、建築物が建物近傍へ及ぼす影響に対して、屋外放射環境を改善する手法として、西岡ら¹⁵⁾¹⁶⁾は再帰反射体を建築部材へ応用し非開口部への適用効果の検討を行い、建物外皮への再帰反射特性の適用有効性を示している。しかしながら、表面の鏡面反射という反射指向性から特に策を講じるべき開口部における、屋外への放射量抑制手法の検討は例を見ない。

本研究では、建物開口部の高反射化に着目し、高反射ガラスの適用が建物の近傍に与える熱的影響を踏まえた上で、屋内外双方の放射環境を改善する対応策として、日射の近赤外域成分について再帰反射特性を有する遮熱フィルムを提案・開発する。そして、種々の性能評価を通して、その導入有効性について明らかにすることを目的とする。

2. 開口部の高反射率化による屋外放射環境への影響

筆者らは既往研究¹³⁾¹⁴⁾にて、都内オフィス街における実測調査を通し、開口部の高反射率化が屋外放射環境へ与える影響について評価・検討を行った。この検討においては、350–2500nmの波長スペクトルを連続的に一括して計測することができる分光放射計(ASD/Field Spec Pro Full Range JR)を用い、建物開口部からの反射日射量を含む建物近傍における分光放射量を計測した。^{注1)} 測定場所は代表的なオフィス街の丸の内とし、計測対象として、一般的な透明単板ガラスや高透過複層ガラスを採用した建物近傍3点、波長選択性を有する高反射ガラスであるLow-E複層ガラスを採用した建物近傍5点の計8地点において、各開口部からの反射日射量を捉え、ガラス仕様による分光反射特性を比較した。

計測した日射量の内、近赤外域(780-2100nm)のエネルギーが占める割合を近赤外比率として算出し、ガラス仕様毎の違いについて検証した。波長選択性を持たない透明単板ガラスおよび高透過複層ガラス導入建物の近傍では、近赤外比率は約40%となり、全日射量と同程度の値を示した。一方、Low-E複層ガラス導入建物の近傍日射量の近赤外比率は、5棟全ての建物近傍で50%以上となり、中には60%を越える高い値を示した地点も確認された。

実測対象地点の内、Low-E複層ガラスおよび高透過複層ガラスを採用した建物2棟の近傍における放射量の内訳を図2に示す。両計測地点の天空率おおよそ等しく、天空からの拡散日射量に大きな差は見られない。また、建物からの拡

散反射日射量についても、両建物近傍で全波長域において同程度である。しかし、建物開口部からの直達反射日射量については、紫外・可視光域では大きな差は見られないものの、近赤外域ではLow-E複層ガラスからの反射日射量は、高透過複層ガラスに対して非常に大きな値を示しており、その近赤外比率も70%と極めて高い。Low-E複層ガラスからの直達反射日射量の全波長域における積算値は、高透過複層ガラスの約2.3倍であるが、近赤外域のみに着目するとその値は約4.5倍となる。

このように、一般的な透明単板ガラスや高透過複層ガラスに対して、Low-E複層ガラスなどの波長選択性を有する高反射ガラスの開口部への導入により、近赤外域の反射日射量が増大し、近傍路路へ照射することにより、建物近傍の屋外放射環境を悪化させることが示された。

屋内外双方の放射環境を良好に保つためには、近赤外域における下方反射日射量を抑えつつ、室内への熱流入を抑制することのできる開口部の遮熱化手法の検討が重要と考えられる。

図2 各ガラス仕様の建物近傍における分光放射量

3. 日射の近赤外域成分を再帰反射するフィルムの概要

以上の問題の対応策として、建物周辺における屋外放射環境への影響を考慮した遮熱フィルムを提案・開発した。図3に再帰反射フィルムの設計コンセプトを示す。Low-E複層ガラスなどの従来型の高反射ガラスや熱線反射型の遮熱フィルムでは、開口部へ照射する近赤外域日射の多くをガラス面で鏡面反射さ

図3 再帰反射フィルム概要

せることにより、室内への熱流入を抑制し、室内環境を良好に保つことができる一方で、その鏡面反射成分が建物近傍の街路や近隣建物へ照射し、屋外放射環境を悪化させていた。ここで、提案・開発した再帰反射フィルムでは、開口部への入射日射のうち近赤外域成分のみを独自のフィルム構造内において1～2回反射させることにより、可視域では窓に求められる透明性を確保しつつ、従来鏡面反射させていた近赤外域日射を天空方向へ返すことが可能となる^{注2)}。このような手法により、室内への熱流入を抑制するとともに、建物近傍街路への反射日射量を最小限に抑えることで、屋内外双方の放射環境を改善することを目的としている。なお、三次元的な再帰反射構造では入射日射を再帰反射させるにあたり、構造内において3回の反射を要する。これに伴い、フィルムにおける吸収が増大する。ここではフィルムにおける日射の吸収を抑制するため、二次元的な再帰反射性を対象としている。

4. 再帰反射フィルムの光学特性

再帰反射フィルムを添付した透明単板ガラス（以下、FL+再帰反射フィルム）の分光特性を検証するため、図4に示す積分球（Labsphere RT-060-SF/IG）および分光放射計を用い、半球分光透過・反射率の計測を実施した。光源はハロゲンランプを使用し、積分球に設置した試験体への光源入射角は、透過率計測：0°、反射率計測：9°とした。図5にFL+再帰反射フィルム、透明単板ガラス、Low-E複層ガラスそれぞれの分光特性を示す。分光透過率については、透明単板ガラスに再帰反射フィルムを貼付することにより、可視光域の透過率を保ちつつ、近赤外域の侵入を抑制することができている。いずれの波長帯についても、Low-E複層ガラスと同程度の透過率を示し、波長選択性を有していることが確認できる。分光反射率については、透過率同様、波長選択性を確認することができるが、近赤外域においてLow-E複層ガラスに対し低い値を示している。これは再帰反射成分が光源の入射方向に再帰し、積分球内で反射を捉える事ができないためである。

また、図6に再帰反射フィルムにおける反射率の入射角特性の設計値を示す。ここでは、入射プロファイル角^{注3)}毎の上方反射率、下方反射率^{注4)}について、それぞれ紫外・可視光域（UV+V:350-780nm）および近赤外域（NIR:780-2100nm）の2波長帯、計4つに分けて表している。高い太陽入射プロファイル角において、近赤外域の上方反射率が向上するよう設計されており、夏期において特に高い性能を発揮する。下方反射率については、紫外・可視光域、近赤外域共に低い値に抑えることで、建物近傍街路における放射環境を良好に保つことを意図している。フィルムの構造上0°付近の入射プロファイル角では、近赤外域における下方反射率が比較的高い値を示すが、日の出および日没時の日射量は日中に対し大幅に低下するため、この特性が建物近傍に与える影響も小さいと考えられる。

5. 導入による室内温熱環境の改善効果

5. 1 窓面熱負荷 再帰反射フィルム導入による室内側への熱的效果を検証するため、図7に示す各種ガラスを東京理科大学2号館4階の西向きの教室に並べ、比較実験を行った。再帰反射フィルムは、透明単板ガラス(5mm)に一般的な遮熱フィルム同様、室内側より添付した（以下、FL+再帰反射フィルム）。比較対象は、透明単板ガラス(5mm)、遮熱型Low-E複層ガラス(5+A6+5mm)（以下、Low-E複層ガラス）、そして、高い遮熱性能を有する市販フィルムを透明単板ガラス(5mm)に貼付したもの（以下、FL+フィルムN）とした。いずれのガラスについても可視光域の日射を透過させる透視性の確保された仕様となっている。室内は空調を行い、室温を終日一定に保ち実測を行った。まず、これらの窓仕様について、図8に示す5面の熱流計で構成された

図4 光学特性の計測手法（反射率測定時）

図5 分光特性

図6 入射角特性

図7 比較対象ガラス

図8 日射熱取得率計測装置

(a) 時刻推移（西方位 2011/12/12） (b) ガラス仕様毎の比較

図9 再帰反射フィルムの日射熱取得率

日射熱取得率計測装置を用いて日射熱取得量を計測した¹⁷⁾ 図9(a)にFL+再帰反射フィルムの日射熱取得率の時刻推移を示す。日射熱取得量は鉛直面日射量に対し、低い値で抑えられている。日射熱取得率も安定した推移を示し、その平均値は窓単体で0.6程度の値を得た。また、図9(b)に同様の手法で得た各ガラス仕様の日射熱取得率の実測値の分布を示す。透明単板ガラスに再帰反射フィルムを貼付することにより、日射熱取得率は0.2程度低下し、日射遮蔽性能の向上が確認できる。また、FL+フィルムNと比較しても、ほぼ同程度の性能が発揮されていることがわかる。Low-E 複層ガラスの日射熱取得率は、約0.4とフィルムに対し低い値を示しているが、これはLow-E 複層ガラスのみ2枚のガラス間に中空層を設けた構成となっているためであり、再帰反射フィルムについても複層化により中空層を設けることで、その断熱効果と外側ガラスからの長波長放射を遮断する効果により、室内への熱流入を抑制し、同程度の熱性能を得ることができると期待される。

5. 2 窓近傍における室内温熱環境 窓近傍の温熱環境への影響を把握するため、各ガラス仕様に室内側より白色ブラインドを設置し、ブラインドスラットの表面温度の推移を捉えた。

図10に晴天代表日の日射ピーク時における窓面の熱画像を示す。透明単板ガラスに設置されたブラインドのスラット温度は、窓中央部において36.6℃の値を示している。一方、FL+再帰反射フィルムに設置されたブラインドスラットの表面温度は32.1℃と透明単板ガラスに対し低く、Low-E 複層ガラスと比較しても大きな差は見られず、開口部の遮熱対策としての効果が確認できる。

また、図11に熱電対で捉えた各ブラインドスラット表面温度の時刻推移を示す。終日、透明単板ガラスに設置されたブラインドスラット温度が最も高く、それに対し再帰反射フィルムおよびLow-E 複層ガラスは約4~5℃程度低い値を推移している。

透明単板ガラスへの再帰反射フィルムの導入により、室内側窓近傍の温熱環境が大幅に改善されていることがわかる。

6. 導入による屋外放射環境の改善効果

6. 1 屋外側への反射日射量 再帰反射フィルムの屋外側への熱的効果を検証するため、図12(a)に示すように各ガラスサッシ(透明単板ガラス、FL+再帰反射フィルム、Low-E 複層ガラス)を東京理科大学2号館屋上に鉛直西向きに設置し、晴天代表日に実際に各ガラスへ日射を照射させ、分光放射計を用いて分光透過・反射日射量を計測した。図12(c)に示すように、各ガラスサッシの室内側にあたる面には、表面に黒体処理を施した反射率の極めて低い日射遮蔽板、また、サッシ前方床面にも同様の処理を施した黒体板を設置し、室内側からの透過成分および地物反射成分を最小限に抑え、ガラス自体の性能を捉えることができるよう配慮した。日射遮蔽板の一部には分光放射計の受光部を入れる穴が設けてあり、そこから透過日射量を計測することができる。反射日射量については、分光放射計受光部を三脚に取り付け、ガラス面に対し平行に設置し計測を行った。反射日射量計測については、図12(b)に示す通り、分光放射計の受光部(開口角180°)に、表面に黒体処理を施した遮蔽四分球を装着することにより、ガラス面からの反射日射量を上方・下方反射日射量に分離して捉えた^{注5)}なお、上方・下方反射日射量の和は、遮蔽四分球を外して計測した全反射日射量とほぼ等しい値を示し、その高い精度を確認している。

図13に計測結果を示す。FL+再帰反射フィルムおよびLow-E 複層ガラスの透過日射量は、透明単板ガラスに対し約1/2の値を示している。特に可視光域の透過量を保ちつつ、近赤外域日射の流入が抑えられていることが確認できる。一方、屋外側については、FL+再帰反射フィルムの下方反射日射量は、Low-E 複層ガラスに対し約1/4と非常に小さく抑えられており、透明単板ガラスと同

図10 各窓面の熱画像(2012/4/18 15:30 西方位)

図11 各窓併用内ブラインドの温度推移(2012/4/6 西方位)

図12 透過・反射日射量の計測手法

図13 透過・反射日射量(2012/10/16 12:50 西方位)

図14 波長帯別反射日射の可視化(2012/12/5 12:50 南方位)

程度の値を示している。再帰反射フィルムの特性により生じる上方反射日射量は、下方反射日射量よりも多く、その大部分を近赤外域日射が占めている。

以上の検討により、下方反射日射量を抑えつつ、室内への熱流入を抑制する再帰反射フィルムの熱的性能を明らかにした。

6. 2 屋外放射環境 再帰反射フィルムの導入による、建物近傍の放射環境改善効果について評価・検討を行う。東京理科大学 南方位の開口部（透明単板ガラス）に、従来型遮熱フィルムおよび再帰反射フィルムをそれぞれ貼付した。比較対象の遮熱フィルムは、全波長域において反射率の高いフィルム A、また、再帰反射フィルムに近い分光透過特性を有する前述の遮熱フィルム N を選定し、導入した（以下、FL+フィルム A、FL+フィルム N）。まず、波長帯ごとの下方反射日射の影響を視覚的に捉えるため、近赤外域においても撮影可能なデジタルカメラ（YASHICA/EZ Digital F537IR）を用いて、各ガラス仕様における照り返しの可視画像および近赤外画像を撮影した。図 14 の通り (a) の可視画像では、可視光域においても反射率の高い FL+フィルム A の照り返しが地面に明瞭に映っており、その他のガラス仕様による差異は見られない。一方 (b) の近赤外画像では、FL+フィルム A および FL+フィルム N の照り返しが確認できるが、FL+再帰反射フィルムでは透明単板ガラス同様、強い照り返しを確認することはできず、近赤外域における下方反射日射量が抑えられていることがわかる。

また、ガラス面からの下向き反射日射量による屋外放射環境への熱的影響を定量的に示すため、SAT 計を作成し相当外気温度を計測した。SAT 計は建材試験センター規格¹⁸⁾に基づき製作し、黒体処理を施した銅板と硬質ポリウレタンの間に T 型熱電対を埋め込み密着させた。これらを図 15 に示すように、各窓の屋外側正面に水平に設置し下方反射日射を照射させ、直達日射遮蔽球を用いて直達日射を遮蔽し計測を行った。図 16 に結果を示す。FL+再帰反射フィルム正面の相当外気温度は、FL+フィルム A に対し最大約 12℃、FL+フィルム N に対し約 4℃低い値を示すことから、一般的な遮熱フィルムに比べ、建物周辺の放射環境への熱的影響を大幅に緩和していることがわかる。

更に、ガラス面からの下向き反射日射量を加味した人体の温熱感を定量的かつ簡易的に示すため、郡らの既往研究¹⁹⁾によって示されている気温を基準とした空間構成面からの放射熱の影響を表す加熱効果量 $\angle COT$ の算出式を拡張し、短波長放射の影響を加味した $\angle COT_{window}$ により評価を行った（図 17(b)）。 $\angle COT_{window}$ はガラス面からの下方反射日射量による短波長成分と、ガラス表面温度による長波長成分から成り、ガラスが人体の温熱感へ与える影響について定量的に示す指標である。算出に必要なガラス面からの下方反射日射量については、分光放射計を用いて図 12(c) に示した同様の手法で計測を行い、ガラス表面温度については、サーモカメラを用いて計測し、算出式に代入した。図 17(a) に結果を示す。FL+再帰反射フィルムの $\angle COT_{window}$ は、内訳は若干異なるが FL と同程度の値を示している。また、フィルム毎の比較では、長波長成分による上昇量は大きく変わらないものの、ガラス表面からの下方反射日射による短波長成分に起因する上昇量は大きく異なり、FL+再帰反射フィルムの $\angle COT_{window}$ は、FL+フィルム A に対し約 6K、FL+フィルム N に対し約 2K 低い値を示し、屋外側ガラス近傍における人体の温熱感に対しても熱的影響が小さいことを定量的に示した。

7. まとめ

窓など開口部の高反射率化により、建物近傍街路等の放射環境が悪化している実態を踏まえ、室内のみならず屋外の放射環境を改善することを目的に、日射の近赤外域成分についてのみ再帰反射性を有する遮熱フィルムを提案・開発し、性能検証を行った。

具体的には、分光透過・反射率等のフィルムの光学特性、日射熱取得率や窓面温度の計測、分光透過日射量・上下反射日射量の計測、屋外窓近傍の相当外気温度や窓面からの照り返しを加味した作用温度上昇等の計測・算出を行い、再帰反射フィルムは開口部としての透視性を保ちつつ、窓面熱負荷の削減および室内側窓近傍の温熱環境を大幅に改善することができること、また、屋外側への下方反射日射量を一般的な高反射ガラスや遮熱フィルムに対して非常に小さく抑えることにより、建物周辺の放射環境への熱的影響の大幅な緩和が可能であることを示した。

図 15 相当外気温度の計測手法

図 16 相当外気温度の時刻推移 (2012/11/16 南方位)

図 17 $\angle COT_{window}$ の算出 (2012/8/16 11:50 南方位)

謝辞

本研究の実施に際しては、当時東京理科大学大学院生の坪井悠馬氏、高橋悠氏、笹原海里氏、七里彰俊氏、卒論生の伊東詩織氏、高島武大氏に協力を得た。記して謝意を表します。

注

注1) 建物近傍における分光放射量については、図 A-1 に示す通り計測を行った。まず、分光放射計受光部に遮蔽半球を取り付け、直達日射を遮蔽し、建物方向からの全日射量を捉えた。放射成分の分離については、上記の値から反射日射遮蔽球を用いて計測した建物方向からの拡散日射量を減ずることで、開口部からの反射日射量（直達成分）を得、また固定型分光放射計にて計測した水平面全天拡散日射量に計測点における天空率を乗じることで天空からの拡散日射量を得る。更に、建物方向からの拡散日射量から天空からの拡散日射量を減ずることで、建物からの反射日射量（拡散成分）を算出した。

図 A-1 建物近傍日射量の成分分離手法

注2) 再帰反射フィルムは図 A-2 に示す通り、微小なつづら折り構造の特殊金属膜で構成されており、ガラスに室内側より貼付する。FL+再帰反射フィルムに入射した日射は、ガラス表面ではガラス本来の鏡面反射特性により下方反射が生じる。再帰反射フィルム貼付面では、日射の入射プロファイル角が大きい場合は1回、小さい場合は2回の反射を経て、指向性を有する上方反射が生じる。

図 A-2 再帰反射フィルムの反射特性

注3) FL+再帰反射フィルムの光学特性は、ガラス表面への太陽入射プロファイル角に拠り、プロファイル角は以下の図 A-3 に示す通りに定義される。

図 A-3 入射プロファイル角

注4) FL+再帰反射フィルムへの入射日射は、指向性を有し上方および下方に反射する。また、上方反射率および下方反射率とは、図 A-4 に示す通り、それぞれガラス面への入射日射量に対する上方反射日射量、下方反射日射量の割合であり、本文図 6 においては、それぞれの反射率について紫外・可視光域(UV+V:350-780nm)および近赤外域(NIR:780-2100nm)の2波長帯、計4つに分け示している。

図 A-4 上方・下方反射率

注5) 試験体となる再帰反射フィルムは、前述の通り二次元的な再帰反射特性を有しているため、再帰反射は鉛直軸については上方反射、水平軸については鏡面反射の反射指向特性を有する。そのため、再帰反射（上方反射）の計測時に、試験体ガラスへの太陽入射方位角が0°付近でない限り、分光放射計や三脚等の計測機器が直達日射を遮ることにより生じる影が、計測結果に及ぼす影響は小さいと考えられる。

参考文献

- 1) IPCC: IPCC 第4次評価報告書 第3作業部会 ‘MITIGATION OF CLIMATE CHANGE’, p.11,2007
- 2) 松尾陽, 井上隆, 射場本忠彦ほか: 窓の熱的性能に関する研究, その1, その2, その4~その7, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.621-624,1983.9, pp.705-706,1984.10, pp.823-824,1985.10, pp.767-768,1986.8ほか
- 3) 一ノ瀬雅之, 井上隆, 長圭一郎, 堤裕樹: 開口部における近赤外域日射の遮蔽による省エネルギー効果, 日本建築学会環境系論文集 第648号, pp.221-226,2010.2
- 4) 近藤靖史, 小笠原岳, 大木泰祐, 有働邦広: 建物屋根面の日射反射性能向上によるヒートアイランド緩和効果, 日本建築学会環境系論文集 第629号, pp.923-929,2008.7
- 5) 松浦邦男, 上谷芳昭: 建築材料の偏光を用いた反射指向性の測定, 日本建築学会計画系論文集報告書, 第388号, pp.15-22,1988.6
- 6) 一ノ瀬雅之, 石野久彌, 郡公子, 永田明寛: 指向性を考慮した放射伝熱計算法, IBPSA-Japan 講演論文集, pp.27-33,2005.3
- 7) 内田敦子, 佐野武仁, 山口温: 日本の気候とガラス建築の形態分析に関する研究, その1~その5, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.505-508,1999.9, pp.413-416,2001.9, pp.1173-1174,2008.9
- 8) 伊藤浩士, 米田拓朗, 田辺新一: 東京のガラス建築におけるファサード熱設計手法の設計意図と熱性能, 日本建築学会環境系論文集, 第646号, pp.1347-1354, 2009.12
- 9) 金政秀, 伊藤浩士, 田辺新一: ガラス建築群の将来予測モデルによるファサード熱性能に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第646号, pp.1283-1289, 2009.12
- 10) 足永靖信: 屋外空間における短波および長波の放射強度の分布に関する実測, 日本建築学会計画系論文集, 第500号, pp.71-77,1997.10
- 11) 鄭相元, 堀越哲美, 梅村茂樹, 宮本征一, 水谷章夫: 都市の街路および開放空間における熱放射環境が人体に及ぼす影響, 日本建築学会計画系論文集, 第493号, pp.77-84,1997.3
- 12) 一ノ瀬雅之, 石野久彌, 郡公子: 都市屋外および半屋外空間における短波長分光放射環境の実測, 日本建築学会環境系論文集, 第592号, pp.9-14,2005.6
- 13) 坪井悠馬, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 長浜勉, 高橋悠, 藤田渉ほか: ファサードの遮熱化が都市環境に及ぼす熱的影響, その1~その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.655-658,2011.8, pp.97-98,2012.9
- 14) 坪井悠馬, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 長浜勉, 高橋悠, 藤田渉ほか: 波長選択性を有する再帰反射フィルムによる都市熱環境改善への効果, その1, その2, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1615-1618,2011.9, pp.765-768,2012.9
- 15) 西岡真稔, 井上智ら: 再帰反射体の基本性能に関する数値実験, 日本建築学会環境系論文集, 第630号, pp.1013-1019,2008.8
- 16) 西岡真稔, 井上智, 酒井憲司: 幾何学的分析に基づく再帰反射性能算定法, 日本建築学会環境系論文集, 第633号, pp.1249-1254,2008.11
- 17) 一ノ瀬雅之, 井上隆, 齊藤寛: 高性能窓システムの熱・光性能の現場測定法, 日本建築学会環境系論文集, 第641号, pp.845-851, 2009.7
- 18) 財団法人 建材試験センター: SAT 計による建物周壁の放射空気温度測定方法(JSMT J 6110), 2003.2
- 19) 郡公子, 石野久彌, 古川貴宏: アトリウム各面からの輻射熱の影響評価に関する実測研究, 日本建築学会環境系論文集, 第535号, pp.9-14, 2000.9
- 20) 宮本征一, 堀越哲美, 広川美子: 各種着衣条件下における立位姿勢の人体の投射面積率に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第513号, pp.47-52, 1998.11

(2013年4月10日原稿受理, 2013年10月31日採用決定)