

# ファサードの環境性能

建築のファサードは、その建物の顔であるとともに、そのあり様が出示する最も重要な部位である。この記事においては、ファサードの環境性能について筆者が関わってきた研究事例・データに基づきながら、建物の省エネルギー、都市環境への貢献という2つの側面について述べる。

一ノ瀬 雅之

筆者の研究における焦点を一言で表すと「現代都市における高層建築群の持続可能性」ということになる。都市の成り立ちは多種多様であるが、第二次ないし第三次産業を主とした集約化・高密度化の結果として高層建築群が成立しているというのが、ほとんどの現代都市の形態である。都市の形態自体を根本的に変えていく理想論も必要だが、私の研究の範疇は現状を踏まえた上で実現性の高い改善提案を目指している。

ここでは、主に都市の高層建築について上記の前提に立って、実態や展望について記したい。

## 高層建築の系譜と ファサードの環境性能の問題点

筆者は建築史には明るくないので異論のある方がいるかもしれないが、超高層建築の1つの重要な転換点はミース・ファン・デル・ローエによる20世紀の初頭のガラスの摩天楼であると考えている。現代の世界中の都市で見受けられる超高層建築は、技術的な進歩があるにせよ、いまだにこの形態を踏襲している。

ここで、当時の技術的背景として重要であったのは、構造(ファサードと構造体の分離)・構法(マリオン・カーテンウォール)の側面であり、環境性能はさほど考慮されなかったと想像される。

1995年当時の超高層建築の高さランキングは、1位シアーズタワー(現・ウィリス・タワー)(443m)、2位ワールドトレードセンター(417m)、3位エンパイーステートビル(381m)、4位クライスラービル(319m)である。それに対して、2013年では、1位ブルジュハリファ(828m)、3位台北101(492m)、4位上海環球金融中心(492m)、5位香港国際貿易中心(484m)、6位ペトロナスツインタワー(452m)である。この事実が顕著に示すように、高層・超高層建築は欧米からアジアを中心とした世界中の都市に近年において拡散している。しかしながら、ミースの時代からファサードの環境デザインはほとんど進化していないと筆者は考えている。経済性(および安全性?)を再優先する結果として平滑で単調なデザインとなり、その脆弱な環境性能を空調設備でカバーするという手法が定着している。

具体的に不足しているファサードの環境性能の1つとして挙げられるのは日射遮へい・自然光利用の両立であると考えている。欧米の寒冷地域を除けば、このような高層ビルは冷房負荷が卓越しており、その主要因の1つがファサードからの日射熱取得である。これに対する最も有効な手段はルーバー・庇などを建築外皮に設ける建築的手法による外部遮へいであるが、高層ビルでは風圧・

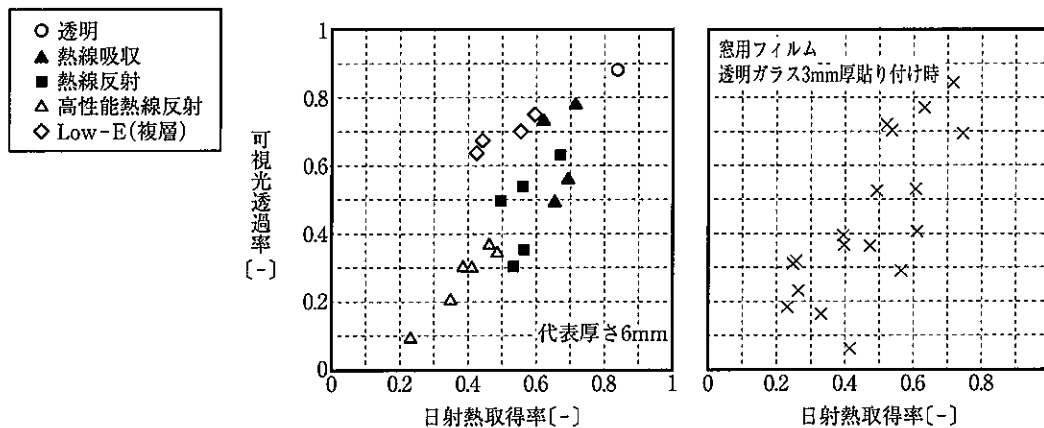


図1 市販されているガラス・窓用フィルム装着ガラスの熱・光性能<sup>1)</sup>

落雪・メンテナンス対策などもあるので、コスト上もなかなか簡単には導入できない。したがって、最も簡単で多く用いられている手法は反射性能の高いガラスを採用することである。しかし、ガラスの遮へい性能を上げるほど可視光の透明性は見込めなくなり、結果としてガラスを多用するファサードの目的が「外見だけ」ということになってしまう。このような建築が今の時代において許容されるとは考えられない。さらに、自然光を建物内に取り込めないことによって、冷房負荷の主要因の1つである内部照明発熱負荷を増大させる結果となる。この相反する課題にどのように対処するかが焦点である。

もう1点挙げられる焦点は、都市気候に対する影響である。建物単体の環境性能を突き詰めれば、望まれるファサードとは「自然光利用として有効な可視光を最大限室内へ取り込みながら、不要な日射熱を外部へ最大限反射する」ということになる。これを都市の高層建築群で実施すると、建物周辺への直射日光の照り返しや、場合によってはヒートアイランドを助長する結果となり得る。都市環境という公共に資する環境性能は、都市建築に求められる重要な焦点であると考えている。

## 2 ガラスの性能

### 2-1 可視光透過率・日射熱取得率

昼光利用効果に最も影響する要素はガラスであり、重要なポイントである。導入として、最も基本的と考えられる物理的特性について、簡潔に説明したい。図1に示しているのは、一般に市販されている板厚6mmのガラスおよび、板厚3mmの透明単板ガラスに各種窓用フィルムを貼り付けたガラスの公開されている性能をまとめたものである。図は、日射熱取得率(横軸)と可視光透過率(縦軸)の関係を示している。つまり、縦軸が卓越するほど、室内における昼光利用として有効となる可視光を、熱取得を伴わずに取り入れることが可能であることを示しており、昼光利用を前提とする際の目安となる。

ガラスとフィルムのいずれにおいても、可視光透過率と日射熱取得率には高い相関性が見られる。しかしながら、中には可視光透過率の比率が突出しているものもあり、最も顕著なのは遮熱型Low-Eガラス(外側ガラスに反射膜を有するタイプ)である。

### 2-2 太陽光の分光特性

前述したように可視光と日射熱性能を左右するものは、図2に示す太陽光の分光特性にある。太陽放射は電磁波であり、異なる性質を有する波長の異なるエネルギーの集合といえる。図2は晴天時における地球上に降り注ぐ波長別の太陽エネルギーであり、その波長の長さは300~4000nmにわたる。350~780nmの波長は人間の視覚で検知

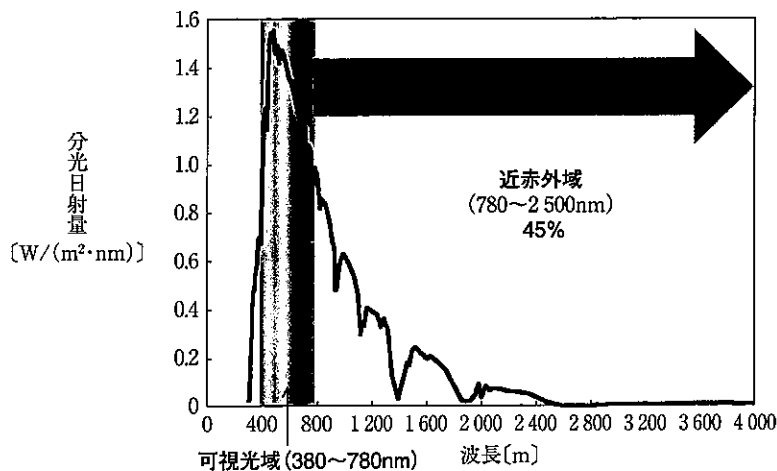


図2 太陽光の波長別日射量分布

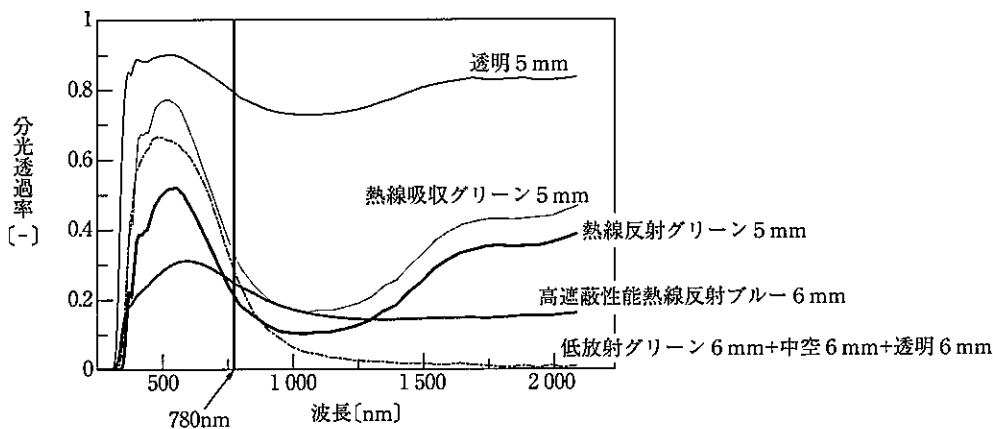


図3 代表的な市販ガラスの分光透過率<sup>2)</sup>

される可視光域、それより長い780~2500nmは熱的にのみ作用する近赤外域と呼ばれており、それぞれエネルギー量としては約半分ずつとなっている(ただし、可視光域の日射も近赤外域と同様に熱的作用を有する)。したがって、昼光利用に適したガラスとは780nmまでの透過率が高く、それ以降に対して透過率が低いガラスということになる。

図3は、代表的な市販ガラスの分光透過率を表したものである。分光透過率とは図2に示したような波長別の日射に対する波長ごとの透過率である。最も熱性能が低い透明ガラスを見ると、いずれの波長に対しても透過率が高くなっており、遮

熱性能の高い高性能熱線反射ガラスは透過率が全般的に低くなっている。その一方で、図1において昼光利用効果が高いと目されたLow-Eガラスを見ると、可視光域に対して局所的に透過率が高くなっていることがわかる。人間の可視光線に対する感度は550nm近辺(緑色の光)に対して高くなっており、結果として緑色がかったLow-Eガラスが最も性能値としては高いこととなる。



### 3 屋光利用の省エネルギー効果

#### 3-1 空調熱負荷基準で見た発光効率

これまで、基本的な物理特性について述べたが、

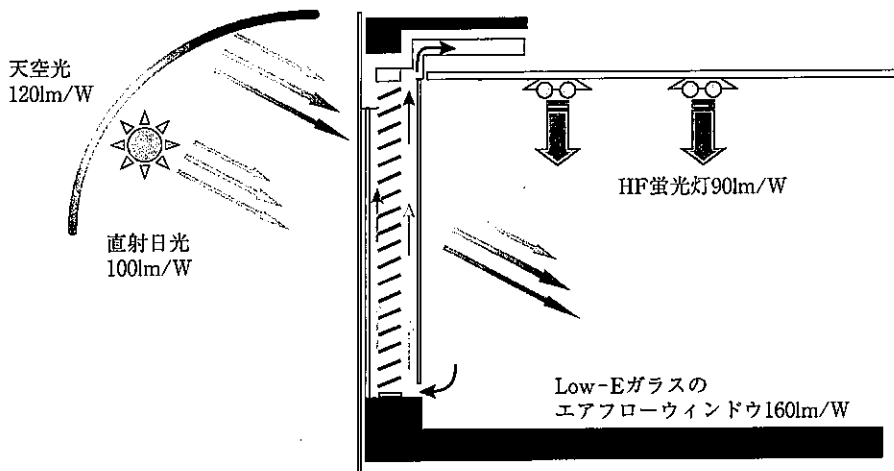


図4 昼光利用効果を測る発光効率

詳細な過程は参考文献などを参照いただくこととして、最も身近な形態であるエネルギーにアプローチしていきたい。前述したように、ファサードから光を取り込むことは熱の侵入を伴うこととなり、建物内部にとっては最終的には空調熱負荷となる。これを評価するために、発光効率の尺度で昼光利用を評価してみたい。

$$\text{発光効率}[\text{lm/W}] = \frac{\text{窓を透過した光束}[\text{lm}]}{\text{取得した日遮熱}[\text{W}]}$$

である。すなわち、この数値が高いほど、効率的な昼光利用がなされていると評価できる。図4に示すように、屋外の太陽光は約100lm/Wという数値であり、この数値が1つの基準といえる。筆者らの研究結果<sup>3)</sup>によると、最も性能が高いと目されるLow-Eガラスを採用したエアフローウィンドウでは、発光効率が160lm/Wまで達する。現状の一般的な人工光源では90lm/W程度であり、昼光利用のポテンシャルの高さが明らかである。ここで、LED光源単体では発光効率が150lm/Wに達するものも存在するが、照明器具として実装した実使用状況下における実績値としては研究データが現状では不足しており、望まれるところである。さらに、この発光効率はいくまで空調熱負荷基準での議論であり、人工照明は最終的に光源のための電力エネルギーも加算されることはいうまでもない。

### 3-2 ガラス建築のエネルギー評価

昼光利用の省エネルギー効果を評価するためには、照明電力と空調負荷を同時に評価する必要がある。ここでは、自然光・人工照明の照明計算と熱負荷計算を連成した年間シミュレーションによる検討例を紹介する。東京に建つ一般的なオフィスの使われ方や熱性能を有する建物として、窓は南方位・連続調光の全般照明を想定した。その他詳細については文献<sup>4)</sup>を参照願いたい。

図5は、複数のファサードの条件(ガラス種類・日射遮へい装置有無・自然光利用有無)を設定して、横軸に示すファサードに占める窓ガラス面積率(開口率と定義)と、縦軸に示す空調・照明一次エネルギー消費量の関係性にまとめた結果である。プロット1つひとつが年間8760時間の計算結果を表している。

最も開口率に対するエネルギー消費量の増大が大きい結果となったのは、透明単板ガラス・ブラインドなし・自然光利用なしという条件である。開口率に比例してエネルギー消費量が増大する。一般的に懸念されるようなガラス建築の状況である。次に、日射遮へい性能の高い高性能熱線反射ガラス(ブラインドなし・自然光利用あり)の傾向を見ると、開口率に対する感度は抑制されるものの、ほとんど昼光利用効果が得られないため増加傾向にあることには変わりがない。

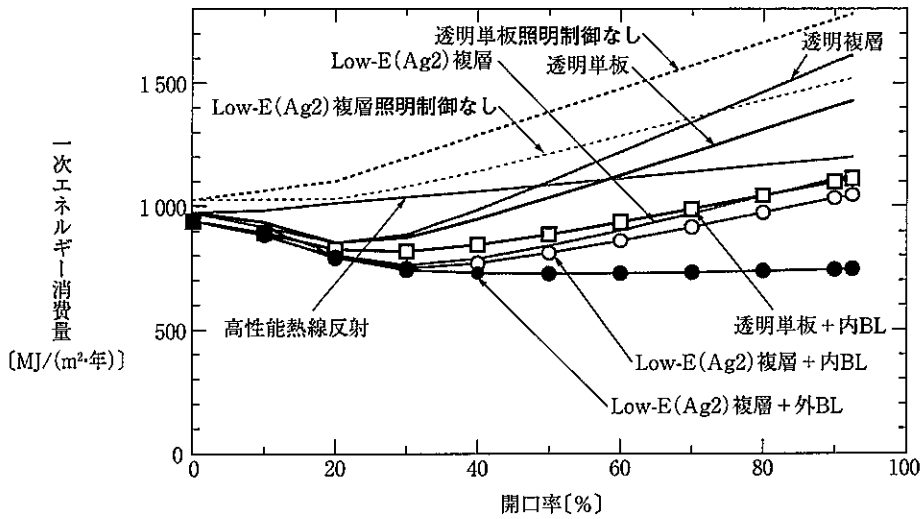


図5 東京のオフィスビルにおける開口率と年間エネルギー消費量の関係<sup>4)</sup>

対して、最も効果的な結果となったのは、Low-Eガラス・外部遮へいブラインド・自然光利用ありのケースである。ブラインドは自動制御ブラインド<sup>5)</sup>によって制御されている想定である。開口率40%くらいまでは昼光利用効果によってエネルギー消費量が減少していき、それ以降はほとんど増加しない様子が見られる。これはあくまでシミュレーションによる結果であるが、適切なガラスの選定・日射遮へい装置の実装を前提とした昼光利用によって、ガラス建築の省エネルギー性能は大幅に変化する可能性を有することが理解いただけるだろう。

## 4 都市への影響

### 4-1 省エネルギー性の高いファサードの副作用

ご存じの方もいると思うが、2013年の夏にイギリス・ロンドンの建設中のビルにおいて、ビルの照り返し日射が路上に駐車中の高級車ジャガーの車体をゆがませるといった事故が起こった。その熱放射は目玉焼き(Fried egg)を調理できるほどに強い、ということでSkyscraperから転じてFryscraperという不名誉な通称が付けられてしまった。日本でも一部で報道されたが(本件で筆

者は初めてTV出演することとなった)、海外では大きく取り上げられており、例えばシンガポールでは本件に端緒を發して新築のファサード反射率上限が全面的に20%上限に規制されることとなったほどである。

実は、私の学位論文の2005年当時における主テーマは高性能ファサードが都市街路環境に及ぼす影響についてであり、まさに合致したテーマであった。図6は東京都心部の街路において、南方位に全面ガラスファサードを有する、並列する二つの超高層ビルからの照り返し日射について、前述した分光日射量として測定した結果である。高透過ガラスは減多に用いられる仕様ではないが、透明ガラスと同様な性能を有しており、その反射日射はおおむね自然の日射量と同様の分光分布となっている。その一方で、前節において最も省エネルギー効果が高いと言及したLow-Eガラスからの反射日射は、不自然に近赤外域のエネルギーが高くなっていることが明らかである。高性能ファサードの副作用が存在することが定量的にも示されてしまった。

### 4-2 新しい可能性

一説には、すべてのビルの反射率を上昇させればトータルで都市のヒートアイランドが抑制できるとも言われるが、その代償として前述したよう

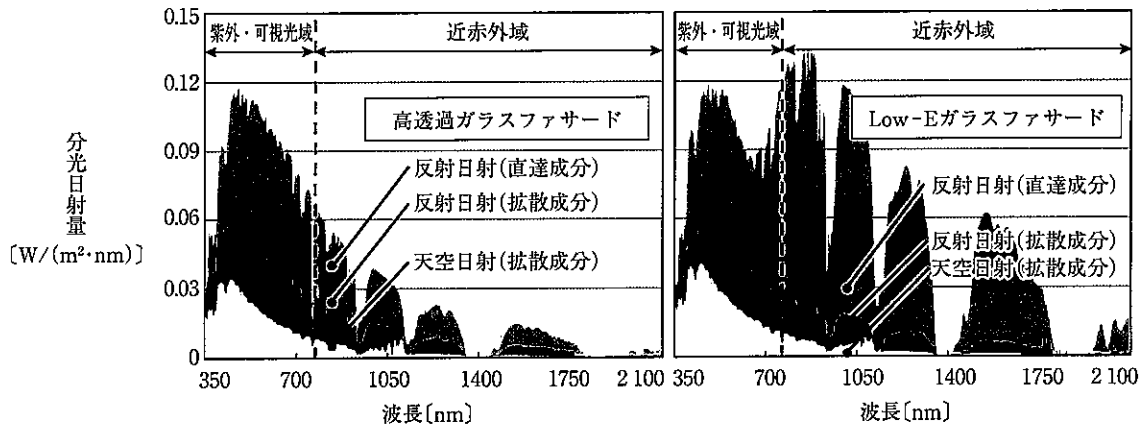


図6 東京都心部路上空間における照り返し日射の比較<sup>6)</sup>

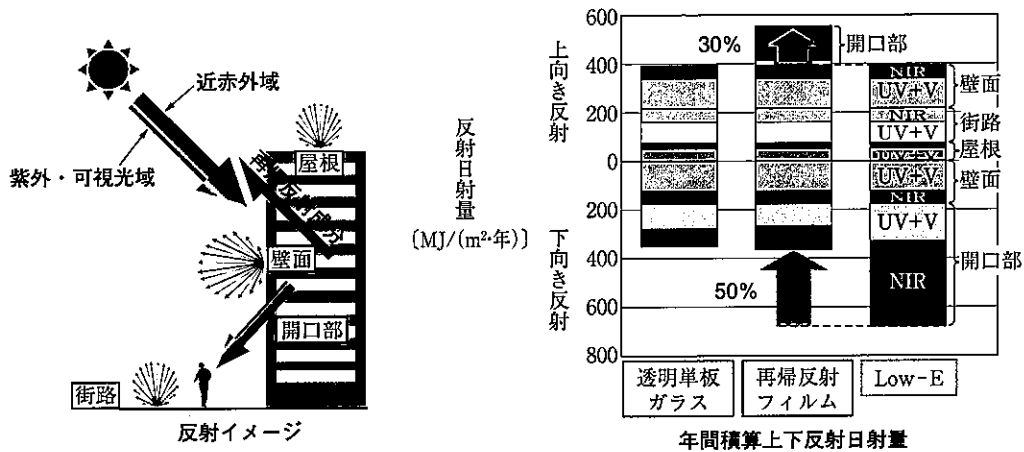


図7 再帰反射フィルムによる都市表面における日射収支改善効果<sup>7)</sup>

に地上の歩行者だけでなく、建物間でも相互に照り返しの影響を受けることになる。したがって、都市部に建つ高層ビルのファサードについて、本当の環境性能を考えると、建物単体の評価では不十分といえる。

このようなことを考えていたところに、渡りに船で日本の大手メーカーが開発した窓用の透明再帰反射フィルム実用化についての研究に関わる機会を得た。再帰反射自体は身近な機構であり、例えば自動車・自転車や道路標識の反射板に用いられている。すなわち、入射してきた方向に光が反射する機構である。詳細は論文<sup>6)</sup>を参照願うこととして、このような機構を透明な膜面で作成する技術は世界的に見ても特有で高度なものである。

さらに、このフィルムはLow-Eガラスと同様に、近赤外域の日射のみを選択的に反射することが可能であり、それに準じた昼光利用効果・省エネルギー性能を有している。

図7は、再帰反射フィルムのコンセプトと、仮に東京都心部の既存建物のガラスに全面的に採用した場合の試算結果を示している。比較ケースは透明単板ガラス・Low-Eガラス・透明単板ガラス貼付け再帰反射フィルムの3種類である。図中縦軸のゼロより下側は、上空から都市全体へ到達した日射がファサードを介して地表面方向へ向かう量を、ゼロより上側は同様に天空方向へ向かう量をそれぞれ表している。

省エネルギー性能の高いLow-Eガラスは、前

出の実測結果が示唆したように、建物の省エネルギー性能を高める結果として地表面方向への反射日射量が大幅に増大する結果となる。それに対して、再帰反射フィルムは同様の省エネルギー性能を確保しながら、地表面方向への反射日射量は透明単板ガラス同等に抑えている。結果的に、再帰反射効果によって、天空方向への反射日射量を3割も増大させている。都市全体の日射収支を3割も変更させるということのインパクトは甚大である。

\* \* \*

省エネルギーは建物運用コストの削減という実利を直接的に伴うため、その技術は近年において広範に普及しつつある。しかしながら、ファサードの環境性能を包括的・体系的に整理した検討資料は不足しており、実用的な体系化が求められるところであると認識している。

一方で、都市環境に対する性能については、我が国では世界的にも高度な研究が数多くなされてきたにも関わらず、このような公共に資する建築性能が実用化される機会は限定的である。このような公共に資する環境性能は、法的な規制ないし優遇処置といった施策で対応するべきであるが、あまり有効な施策は存在していないのが実情ではないだろうか。

欧米から始まったファサードに関する近代建築技術を、アジアの気候風土を背景に昇華させ、少

なくとも数十年は世界の中心となるであろう当該アジア地域における持続可能性に寄与していくことが、我が国の建築技術の役割であるとともに生き残る道であると考えている。

<参考文献>

- 1) 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年2月
- 2) 一ノ瀬雅之, 石野久彌, 永田明寛: 建材の日射透過および反射性能における分光感度特性, 日本建築学会環境系論文集, 第583号, pp.15-21, 2004年9月
- 3) 高瀬知章, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 伊東民雄ほか: 丸の内パークビルディング・三菱一号館の設備構築-省エネルギーかつ高品質な執務環境の実現と復元建物の美術館としての再生-, 空気調和・衛生工学, Vol.86, No.7, 空気調和・衛生工学会, pp.29-34, 2012年7月
- 4) 建築物における昼光利用照明と省エネルギー, 板硝子協会, 2007年3月
- 5) 一ノ瀬雅之, 井上隆, 田宮有見子: 気象の変動に追従するブラインドの自動制御手法, 日本建築学会環境系論文集, 第646号, pp.1339-1345, 2009年12月
- 6) 藤田渉, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 長浜勉, 高草智: 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-, 建築, 第696号, pp.167-172, 2014年2月
- 7) 高島 武大, 井上隆, 長浜 勉, 一ノ瀬 雅之, 藤田 渉, 笹原 海里, 七里 彰俊: 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3 再帰反射フィルムの実建物への貼付による効果検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.237-240, 2013年9月

(首都大学東京 都市環境科学研究科 建築学域  
准教授 [イチノセ マサユキ])