

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：平成 19 年度～20 年度

課題番号：19360262

研究課題名（和文） ガラス建築におけるブラインド制御の最適化

研究課題名（英文） Optimization of blind control at glass-facade buildings

研究代表者

井上 隆

東京理科大学 理工学部建築学科 教授

研究者番号：30151608

研究成果の概要：

詳細な気象データの測定結果に基づいた直射光の遮蔽と眺望性の確保を両立するための具体的な制御方法の検討を行った結果、制御時間間隔、閾値の判断方法、日没の判断方法、といったパラメータについての影響度を定量的に示した。

また、2次元色彩輝度計を用いてブラインド制御下の窓面から室内に導入される昼光の色温度の実測および被験者実験を行った結果、従来の輝度・照度といった物理量に加えて、色温度という質による評価軸が有効となりうることや、適切なブラインド制御に明色ブラインドを組み合わせることによって、外界の変化を室内に適切に伝えることが可能となることを示した。

さらに、熱・光を連成したシミュレーションによる数値解析から外界の変化を積極的に導入するブラインド・窓仕様がエネルギー面においても優位であることを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19 年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
20 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総 計	11,200,000	3,360,000	14,560,000

研究分野：

理工系／工学

科研費の分科・細目：

建築学／建築環境・設備

キーワード：

ガラス建築、ブラインド制御、日射遮蔽、昼光利用、
眺望性、演色性、気象データ、エネルギー

1. 研究開始当初の背景

最近はアトリウムのような特殊な建築に限らず、眺望性や意匠性の要求により、通常のオフィスビルや住宅に至るまでガラスを多用した所謂ガラス建築が増加傾向にある。開口部の拡大は室内環境に屋外的な要素を多くもたらして内部空間の環境を魅力的なものに高められるが、同時に過剰な熱授受によって空調エネルギーの浪費をもたらす側面もあり、省エネルギーの観点からは窓システムによる外乱の取捨選択機能の重要性が高まっている。

建築物の空調・環境計画においては特に熱的な性能向上に主眼を置き、高性能なガラスを複層化してさらに空気を通して排熱するといった先進的な窓システムが多数提案され実用化されている。ここで、これらのシステムの大半において直達日射の遮蔽を横型ブラインドによって行っており、太陽位置や日射強度に応じてスラット角を自動制御するシステムを導入するケースも見られる。しかしながら、既往のシステムでは直達日射を遮蔽することに主眼が置かれており、例えば日没時は日射強度が弱いにも関わらずスラ

ットが完全に閉じた状態が長時間連続する、雲が通り過ぎるなど日射強度の変動が大きい場合に長時間全閉のままといった状態が発生する。このような状況は、熱および光の量的な制御性が得られず、眺望・開放感・安心感など心理的な面を含めた快適性、プロダクティビティーにも影響が大きいと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、日射の熱および光束という量的な評価軸に、これまで殆ど考慮されていない日射の波長特性という質的な評価軸を加えることにより、従来の均質均一環境を追求する概念から一歩先んじて外乱の変動性を適切に室内へ伝えるという、より質の高い窓システムの制御手法を提案するものである。

3. 研究の方法

ブラインド制御が導入されている建物における実態を明らかにするため、東京都内にある事務所ビルを主な対象として、長期的な自動計測による気象観測・窓廻りの計測およびまた、本建物におけるブラインド操作に関する調査を行った。

都心ビルの屋上にて継続的に観測した直達日射・照度および天空日射・照度の1分値年間データに基づいた、具体的な制御方法の検討を、数値解析により行った。

ブラインド制御状態を各種変化させた場合の2次元色彩輝度計を用いた透過日射の計測と併せた被験者による印象評価申告実験を行い、物理計測要素と印象評価の相関性を検討した。2次元色彩輝度計は本来コンピュータディスプレイの校正に用いられるものであるが、昼光導入装置としての窓面の演色性を定量的に把握する新しい試みである。

以上の検討を総合的に評価するため、昼光利用効果を反映する調光照明計算と連成した熱負荷計算プログラムを作成し、窓仕様やブラインド制御による年間エネルギー消費量への影響などを定量的に検討した。

4. 研究成果

1. 気象の変化に追従する制御方法

自動制御状態においては、直射光が閾値以上の場合はスラット角度を直射光が室内へ透過しない角度（以下、「保護角」と表記）に維持し、直射光が閾値以下の場合にはスラット角度を水平またはブラインドを格納して開放する。これにより、日射遮蔽と昼光利用の両立を図ることが可能となる。

自動制御ブラインドの動作に影響する基本的な要素としては、直射光の検出方法、検出した直射光に対する動作閾値の設定、制御時間間隔といった項目が挙げられる。

そこで、通年の観測気象データに基づいて、

ブラインド制御の動作に影響を与える要素について感度解析を行い、ブラインド制御に必要な基本的な仕様を明らかにする。

1-1. 年間気象データの概要

解析には、都心部に建つ超高層のMビル屋上にて1分間隔で観測している法線面直射照度のデータのうち、欠測が殆どない2007年度のデータを用いた。図1は、日照時間帯における法線面直射照度の年間出現頻度を時刻別に示したものである。日中においても500lx以下が大きな割合を占めており、晴天と曇天の判定の精度が重要となることが示唆される。ここで、事務所ビルにおけるブラインド使用実態の調査結果によるとブラインド開閉操作の閾値は法線面透過日射量で10W/m²程度以上となっており、法線面直射照度で約1000~3000lx程度と推定されるが、この範囲において年間頻度に大差はない。

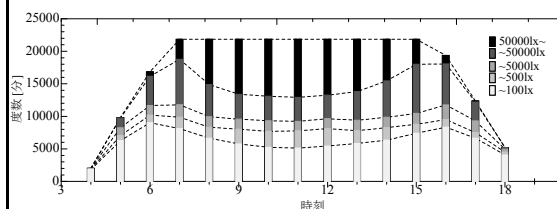


図1 日照時間帯における法線面直射照度の年間出現頻度(2007年)

1-2. 合致率による追従性評価

本研究では西方位におけるブラインド制御を検討対象として、遮蔽要求の有無に対する制御結果の一致・不一致という4通りの状態を合致率として年間評価を行うこととする。数千lx程度の直射光の検出は、日射と比較して時定数が小さく、高い感度で計測が可能な法線面直射照度によって判断し、最小時間間隔を1分とする。直射光有無の判定閾値は、既往の研究やMビルにおける運用実績に基づいて1500lxと設定した。

1-3. データ処理方法・判断時間間隔の影響

図2に直射照度の変動に対する、縦線ですす一定時間間隔で行われる制御時における、閾値の判断方法による違いを模式的に示す。検出データに対する閾値の判断方法としては、制御を行う直前の値を用いる「瞬時値」、制御時間間隔内で最大値を用いる「最大値」、平均値を用いる「平均値」が考えられ、制御時間間隔や閾値の判断方法が制御結果に大きく影響することが伺える。

図3に閾値判断方法および制御時間間隔による合致率および動作回数の変化を示す。図中の棒グラフ(縦軸左側)は、遮蔽要求有無に対する一致を正值、不一致を負値としている。負値は正值よりも拡大したスケールとしている。また、プロット折れ線(縦軸右側)は、太陽位置に応じてスラット角を被せていく保護角制御が解除・再開される回数を示して

いる。一致する率が高いほど直射光の変動に追従したことを示し、動作回数が多いほど動作騒音や視環境の急変など執務者に影響を及ぼす因子の目安となる。図3によると、制御時間間隔が短くなるとともに、「遮蔽要求なし・一致」が向上していく様子が明らかである。閾値判断方法を比較すると、全体の合致率としては瞬時値、平均値、最大値の順番となるが、瞬時値と比較して最大値では、「遮蔽要求あり」に値する合致率が優れている。従って、制御時間間隔を短くする場合は、瞬時値判断とすることが望ましいといえる。しかしながら、制御時間間隔が4分以下となると、合致率の上昇は殆ど見られない一方で、動作回数が急増する傾向となる。特に、瞬時値判断での動作回数が最も多くなる。一方で、建物内の通信インフラ等の状況で制御時間間隔を長くせざるを得ない場合や、日射遮蔽性能を重視する場合は、平均値あるいは最大値判断とすることがよいと考えられ、運用方針によって適切な設定方法は異なってくるのがわかる。

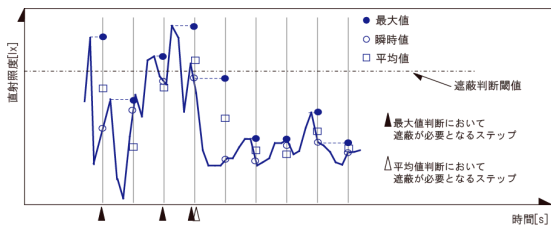


図2 気象の変動に対する閾値の判断方法

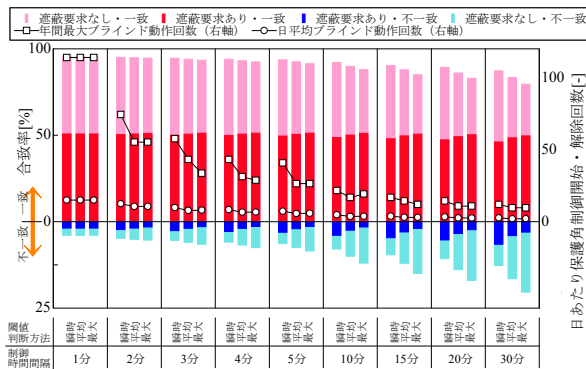


図3 閾値判断方法および制御時間間隔による合致率の比較

1-4. 巻き上げ制御および夕方開放制御

直射光が弱まる日没時間帯に、ブラインドを水平にするだけでなくブラインドを巻き上げて開放する制御について検討を行う。

日没前後の直射光が弱まる時間帯において、ブラインドを開放する制御について検討を行う。日没前後の時間帯における直射・天空照度の頻度分布を時間帯別に示した図4によると、太陽高度2度(日没前約10分)以降は、直射照度2000lx以下となる確率が96%以上となっており、ブラインドの開放が可能である。

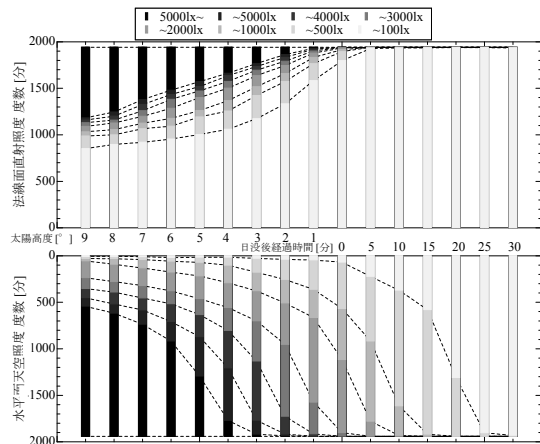


図4 日没前後時間帯における法線面直射照度・天空照度の出現頻度

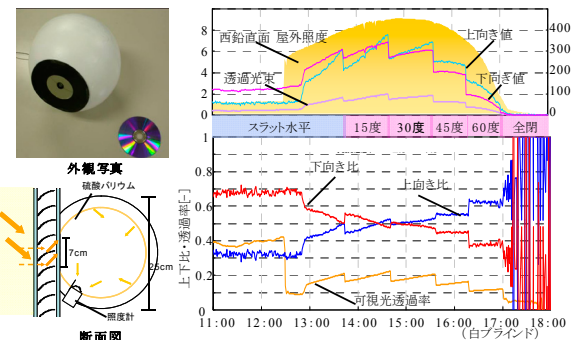
2. ブラインド制御による室内環境への影響

2-1. 実測概要

実測は、本学内の西方位に窓面を有する教室において実施した。対象室は建物周辺からの障害物の影響を受けない条件である。窓透過光の分光特性を評価するため、分光日射計 ASD Field Spec Pro および2次元色彩輝度計 Konica Minolta CA-2000を使用した。

2-2. 窓透過光の時刻変動特性

図5に積分球を応用した装置を用いて実測した、晴天日における白ブラインド併用窓面の透過光の量および指向性の時刻推移を示す。透過光は、スラット角が大きくなるほど量は減少し上向き光の割合は増える。また同じ角度においても、太陽高度が低下し日射がスラット表面に多く当たるほどその割合は増えることがわかった。



(a) 積分球型計測器

(b) 西方位 2008.9/24

図5 積分球型計測器およびブラインド自動制御下における窓面透過光の時刻変動

2-3. 昼光の色温度の空間分布と時刻変動

ブラインドを介した光が室内空間にどのように伝わっているのかを把握するため、図6に示すように直径10cmの白色発泡スチロールの白球を用いて、球面の輝度と色温度を2次元色彩輝度計により計測する。様々な方向からの光の同時測定を可能にするため、球による反射光を抽出する手法とした。白球は図7に示すように天井から30cm間隔で8個、窓面から50cm, 1m間隔で12列の計96個を、

配置した。背景の壁には暗幕を施し、室の幅及び壁面色による影響をなくした。

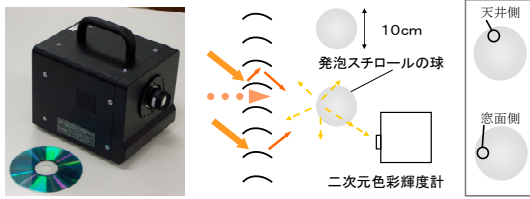


図6 二次元色彩輝度計 CA-2000 外観および白球による空間内色温度分布計測方法の概要

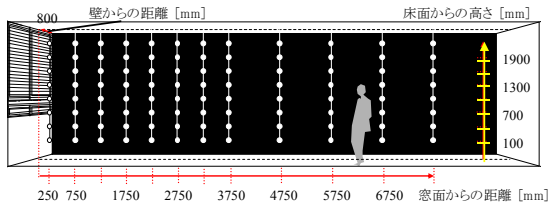
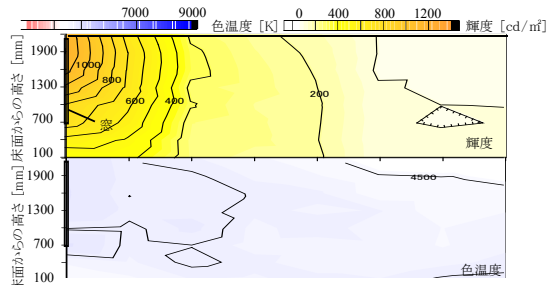
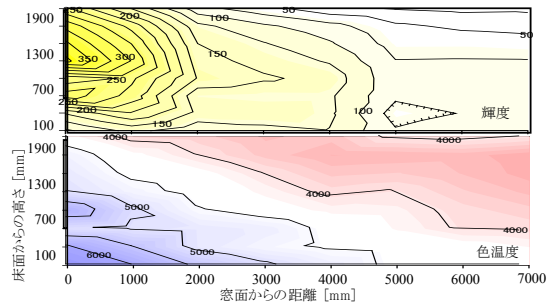


図7 室内への白球配置状況の断面図

図8に白ブラインド設置時の(a)保護角制御状態(15:00)および(b)ブラインドを巻き上げた状態(17:00)における輝度・色温度の空間分布を示す。図8(a)によると、輝度は窓面から離れる程低くなるのに対し、色温度は距離によらずほぼ一定の値である。図8(b)では、輝度は全体として低くなっているものの、日中同様窓面から離れる程低くなる傾向が把握できる。色温度については、窓面から離れる程低下している。これは、窓面に近い程直射光に比べて天空光の影響が大きい為である。また、窓際の上下分布から天井に近くなるほど色温度が低くなる傾向がでている。これは、夕方は太陽高度が低い為、庇の影響を受ける天空光よりも直射光が卓越したことによると考えられる。



(a) 15:00 スラット保護角



(b) 17:00 ブラインド巻き上げ

図8 白球窓側表面の輝度・色温度の空間分布(2007.10/6)

図9は、机上面照度を750lxと仮定し、不足している明るさを人工照明(昼白色)で補うと想定した場合の色温度の時刻推移を、人工照明と自然光のみの場合と併せて示したものである。白ブラインドでは、自然光に近い推移を示すのに対し、黒ブラインドでは特に14:00以降から人工照明の影響を受けて色温度が高くなり、赤味を帯びた自然光の質を伝えられていない。

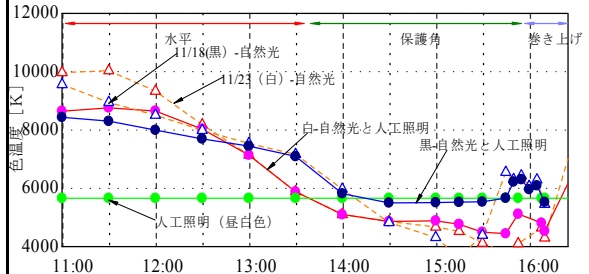


図9 窓側鉛直面への到達光の色温度の変動 2-4. 日没時のブラインド制御

Mビルにおいて、『時刻の推移や天候の変化、季節の移り変わりを感ぜさせる制御の導入』に関して執務社に訊ねたところ、図10に示すように7割以上の執務者から導入支持の評価を得た。導入支持の理由として『開放感が増す・眺望性が増す』といった項目とともに、『天気の変化がわかる・時間の経過がわかる・心身の健康に良い』といった項目も多かった。従来は均一・均質な室内環境の形成を目指すことが多かったが、外界の変化を取り込んだ空間が望まれていることが明らかとなった。

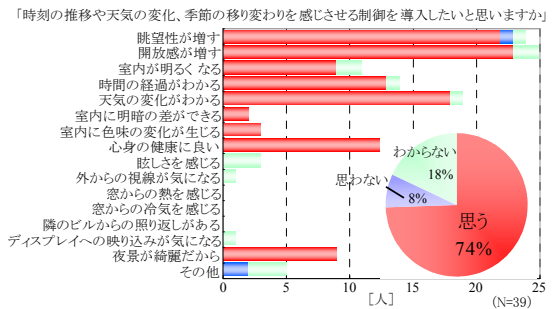


図10 外界の変化を取り入れた制御に対する執務者の評価

前出の年間気象データに基づいた検討結果によると、気象データの側面から直射光の有無を判定する場合は、1000~5000lxの範囲において出現頻度の違いは殆ど見られなかったが、図10の結果を踏まえて、色温度の変化が大きくなる日没時間帯においてより積極的なブラインドの開放を行うために、人が眩しさを覚える直射光の閾値を被験者実験により検討した。実験は周囲建物の影響がない本学講義棟7階で行った。西面に開口部がある空間で南向きに立った状態で被験者に眩しさを評価してもらった。図11に示すように、直射照度が約13000lxとなる16:08

から『眩しくない』の回答が現れ始め、直射照度が約 2300lx とする 16:25 から『眩しくない』の回答が増加していくことがわかった。直射照度が約 1200lx とする 16:29 には『眩しくて許容できない』の回答がなくなった。本実験より夕方開放制御の閾値は直射照度 1000~2000lx 程度であることが示唆される。

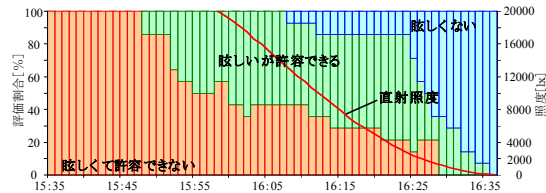


図 11 眩しさの評価と直射照度との関係 (2008.1/15 被験者数 14)

日射を遮蔽している状態におけるブラインドを介した光の色味を、人間の感覚としての程度認識できるのか、照明をつけた状態と照明をつけない状態で被験者実験により検討した。実験は本学西向き 4 階の大学院講義室で行った。被験者は西方位の白・黒ブラインドの各窓面に正対した状態で、太陽高度の低下に伴って赤色を増していく日射の影響を感じるか否かを申告してもらった。図 12 は被験者の申告結果とともに、二次元色彩輝度計によって測定したブラインド面輝度の色度から換算される色温度を、光色の変化尺度に用いられるミレッド値 (ミレッド[M] = 1 / 色温度[k] * 106) を算出し、その変化を併せて示したものである。結果によると、黒ブラインド面よりも白ブラインド面の評価の方が早い時間から色味の変化に対する申告が生じており、昼光色のミレッド値の変化と合致している。照明を点灯した実験でも同様の結果となった。

執務環境を想定した被験者実験から、ブラインド色の明暗によって生じる昼光色に対する認識差と、色度計測による定量的な指標との関係を明らかにした。

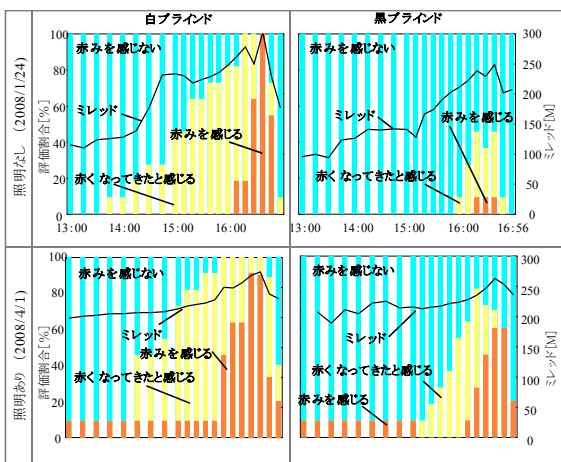


図 12 窓面透過光の色温度変化に対する評価の時刻推移 (被験者数 11)

3. 熱・光連成シミュレーションによる年間評価

以上の検討結果をふまえて、ブラインド制御による年間の熱負荷・エネルギーへの影響を熱・光連成シミュレーションにより検討を行った。

3-1. 年間計算の概要

熱負荷計算は HASP-L に準じた、昼光利用効果を考慮可能な非正常熱負荷計算モデルを使用している。主な計算条件は、西方位、床面積 100m²、窓面積 45m²、奥行 5m、外壁外断熱、透明単板ガラス、照明 15W/m² (発光効率 100lm/W)、人体 0.1人/m²、機器 12W/m² とした。気象データは前出の実測 1 分値を使用した。

3-2. 計算結果

窓仕様について比較した図 13 によると、昼光利用を前提とする場合は、ガラス種類による影響と同様に、ブラインド色の選択によって、エネルギー消費量に有意な影響を与えることがわかる。

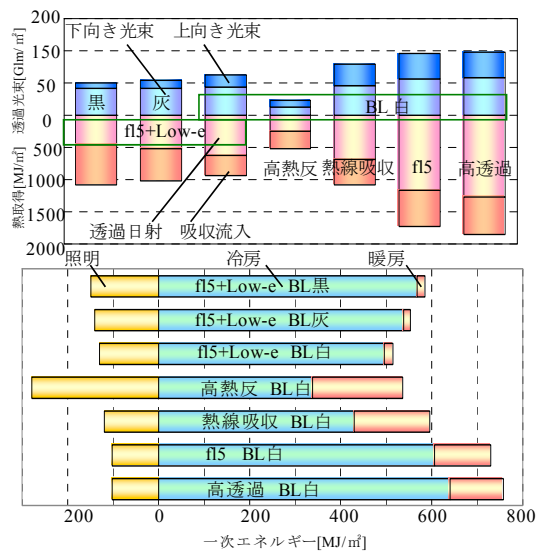


図 13 窓仕様による熱取得・エネルギーの比較

4. まとめ

ブラインド制御が導入されている都心部の事務所建物において、建物屋上で実測した 1 分間隔の気象観測データに基づいた短時間変動や持続性を反映した年間シミュレーションを行い、気象の変動に適切に追従し、直射光の遮蔽と眺望性確保の両立を実現するブラインド制御手法について、各種設定条件の影響度を定量的に示した。

二次元色彩輝度計を用いた実測により、ブラインドを透過した光の量・色味の空間分布及び時刻推移を把握した。ブラインドを介して室内に入り込む光も、自然光の時刻推移に伴い量・質共に変化し、外界の変化を室内に反映できることがわかった。また明色ブラインドほどその傾向が強くなることを示した。

被験者実験により夕方開放制御の閾値が直射照度 1000lx~2000lx 程度であり、ブラインドのスラット色の違いと昼光色に対する感覚の関係を定量的に示した。

眺望性・開放感を得るといふ窓本来の性能を重視した窓仕様・ブラインド制御の可能性について、執務者アンケート・被験者実験・実測・シミュレーションに基づいた多面的な検討を行った。積極的に昼光を取り入れる窓仕様やブラインド制御によって、省エネルギー性を高めつつ快適性に寄与し得ることを示した。

5. 主な発表論文等

【雑誌論文】(計 1 件)

- 1) 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自動制御手法, 日本建築学会環境系論文集 (投稿中)

【学会発表】(計 12 件)

- 1) 一ノ瀬雅之, 井上隆, 演色性を考慮した昼光利用評価および日射遮蔽制御の最適化, 照明学会全国大会講演論文集, 5-35, 2008 年 8 月
- 2) 田宮有見子, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 正田彩, 自動制御ブラインドによる省エネルギーと快適性の両立に関する研究その 1 昼光の色変化に主眼をおいた制御に対する執務者の評価, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 1783-1786, 2008 年 8 月
- 3) 一ノ瀬雅之, 井上隆, 田宮有見子, 自動制御ブラインドによる省エネルギーと快適性の両立に関する研究その 2 ブラインド制御および窓仕様によるエネルギーへの影響, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 1787-1790, 2008. 8
- 4) 佐々木健太, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 正田彩, 省エネルギーと快適性の両立を目指したブラインド自動制御に関する研究その 1 アンケート・被験者実験による感覚の把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 1189-1190, 2008. 9
- 5) 田宮有見子, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 米山明日香, 省エネルギーと快適性の両立を目指したブラインド自動制御に関する研究その 2 ブラインド透過光の演色性把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 1191-1192, 2008. 9
- 6) 一ノ瀬雅之, 井上隆, 田宮有見子, 省エネルギーと快適性の両立を目指したブラインド自動制御に関する研究その 3 気象および窓性能の変動性を考慮した年間計算, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 1193-1194, 2008 年 9 月
- 7) 田宮有見子, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 後藤美奈子, 矢部周子, 日射遮蔽と眺望性・開放感を両立させたブラインド自動制御

に関する研究その 1 ブラインド操作状況の把握および制御方法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 投稿中, 2009 年 8 月

- 8) 後藤美奈子, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 田宮有見子, 矢部周子, 日射遮蔽と眺望性・開放感を両立させたブラインド自動制御に関する研究その 2 制御方法の違いによる制御の妥当性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 投稿中, 2009 年 8 月
- 9) 矢部周子, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 田宮有見子, 後藤美奈子, 日射遮蔽と眺望性・開放感を両立させたブラインド自動制御に関する研究その 3 巻き上げ制御併用に関する検討およびシミュレーションによる年間計算, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 投稿中, 2009 年 8 月
- 10) 一ノ瀬雅之, 井上隆, 矢部周子, 笹島勇輝, 平紘一, 日射遮蔽手法が熱・光・眺望性に及ぼす影響その 1 ブラインドおよびガラスの仕様による比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 投稿中, 2009 年 8 月
- 11) 笹島勇輝, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 平紘一, 矢部周子, 日射遮蔽手法が熱・光・眺望性に及ぼす影響その 2 ブラインド仕様による窓面輝度および視環境, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 投稿中, 2009 年 8 月
- 12) 平紘一, 井上隆, 一ノ瀬雅之, 笹島勇輝, 矢部周子, 日射遮蔽手法が熱・光・眺望性に及ぼす影響その 3 眺望性と年間エネルギー消費量の相互評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 投稿中, 2009 年 8 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 隆

東京理科大学 理工学部建築学科 教授

研究者番号: 30151608

(2) 研究分担者

一ノ瀬 雅之

東京理科大学 理工学部建築学科 助教

研究者番号: 00408709