



Title	ベランダフェンス設置型ルーバーのスラット条件が学校教室の熱負荷、室内照度に与える影響に関する研究
Author(s)	樋口, 作夫; 羽山, 広文; 絵内, 正道
Citation	日本建築学会環境系論文集, 75(650), 331-337 https://doi.org/10.3130/aije.75.331
Issue Date	2010-04
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50410
Rights	日本建築学会
Type	journal article
File Information	JEE75-650_331-337.pdf



ベランダフェンス設置型ルーバーのスラット条件が学校教室の熱負荷,
室内照度に与える影響に関する研究STUDY ON EFFECTIVENESS OF THE EXTERNAL LOUVER SET OUTSIDE OF
VERANDA FENCE ONTO HEAT LOAD AND ILLUMINANCE IN CLASSROOM

樋口作夫*, 羽山広文**, 絵内正道***

Sakuo HIGUCHI, Hirofumi HAYAMA and Masamichi ENAI

To use daylight for energy saving and reduction of CO₂ emission, it is effective to use the altitude change of the sun for each season and time. This paper shows the proper condition and the effectiveness of a light guide louver set outside of a veranda fence. The effectiveness of the heat load and the indoor illuminance of a school classroom was evaluated in case when the condition of the slat angle and reflectance ratio is changed.

From the result of numerical simulation, the effectiveness of the fence louver is shown as follows. 1) It is effective to place a fence louver although the improvement effect is minimal and there is a regional difference in the effectiveness. 2) It is suitable to tilt the slat angle 5-10 degrees downward to outdoor-side. In this condition, the louver leads the daylight into the room in the morning and evening of the winter season, and blocks the sunlight in summer. 3) The annual heat load decreases 2-5% when the louver that has 80% reflectance is set. 4) The hour less than 200lx of the indoor illuminance decreases 3-7 hours per month when the reflectance ratio is 80%.

Keywords : Solar altitude, Daylight, Light guide, Heat load, Louver, Veranda

太陽高度, 昼光, 導光, 熱負荷, ルーバー, ベランダ

1. はじめに

マンション建築や学校建築に多く設置されるベランダは、階下の居室にとっては底の役割を担い、夏の日射を遮り冷房負荷低減の効果を果たしている。ベランダのフェンスは外壁一体型、金属製柵型のものが多いが、近年建設されるマンションでは光を採り入れるために透明材を使用する例も増加している。こうした昼光利用は、CO₂排出低減の一助として、有効な手段の一つといえる。

昼光利用のためのブラインドやルーバーに関する研究として、岩田ら¹⁾は固定型ブラインドに基づく作業面昼光照度の算定法を提案し、光拡散性固定型ブラインドの透過指向特性の数式化を行った。近藤ら^{2) 3)}は外部ルーバーに関する一連の研究で、スラット面が完全拡散反射の場合と鏡面反射の場合の計算法、任意形状の水平あるいは垂直の外部ルーバーの計算法を示した。木下ら⁴⁾は板ガラスとベネシャンブラインドとを組み合わせた光学性能の多重反射計算法を整理し、詳細計算法との比較によって簡易計算法の適用範囲を示した。また、特許では、ベランダや手すりに反射板を設置する採光装置として横長の反射板の取り付け構造が公開されている⁵⁾。さらに、増尾ら⁶⁾はライトシェルフと同様の昼光導入効果を狙った反射板による直射日光の室内導入による室内の明るさ感および人工

照明点灯の改善効果について研究し、明るさ感が日中はほとんど変わらないものの夕方には上昇することを示した。また、石川らは可視光透過率を低下させずに日射負荷を低減する目的で、季節によって変化する太陽高度を利用して複層ガラスの間隔や反射膜ストライプ寸法を適切に配した日射制御窓⁷⁾や、機能の異なるブラインドスラットを複層ガラスの中空層に封入する日射制御窓⁸⁾を提案した。

一方、外部ルーバーをベランダフェンスの外側に配置すると、ルーバーで反射された光は上方向に移動するので、反射光の室内への侵入を季節や時刻毎に変化する太陽高度に適応させて制御できる可能性があるが、前記した研究や特許では、ベランダフェンスの外側に設置されたルーバー（以下、フェンスルーバーという）の仕様や効果については言及していない。フェンスルーバーは、スラットの角度を適切に設定することによってルーバーの反射日射の室内への侵入を制御し、冷房負荷を増やすことなく暖房負荷を低減し、朝夕の時間帯での室奥の照度を向上できる可能性がある。

そこで本報では、日本国内の各地域で使用可能な昼光利用設備開発の可能性検討として、ベランダの透光性フェンス（柵型や透明材型）の外側に設置する反射型ルーバーについて、シミュレーション計算を用いて、底なし、底のみの場合と比較してスラット角度・反

* AGC 旭硝子(株)ガラスカンパニー品質保証室

** 北海道大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)

*** 北海道大学 名誉教授・工博

QA Office, Glass Company Japan/Asia, Asahi Glass Co., Ltd.

Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Prof. Emeritus, Hokkaido University, Dr. Eng.

射率の設定が国内 8 都市における学校教室の熱負荷・机上面照度に与える影響に関して研究した。

2. フェンスルーバーの概要と評価モデル

2.1 フェンスルーバーの概要

フェンスルーバーは、透光性ベランダフェンスの外側に設置する光反射型の横型ルーバーであり、スラットに当たった直射日光が上向きに反射してベランダを通過するため、窓面への昼光入射を制御することができる。スラットの角度を適切に設定すれば、夏季には日射を室内に入れずに冷房負荷を増加させることなく、冬季には日射を室内に採り込んで暖房負荷を軽減し、また、昼間は室内に入れずに朝夕の室内が薄暗い時間帯に日光を採り入れて照明負荷を軽減する、という制御のできる可能性がある。

2.2 評価対象モデル

フェンスルーバーがある場合の開口部の計算対象モデルを図 1 に、スラットと入射光・反射光の角度関係を図 2 に示す。光を通すフェンスの高さは、建築基準法施行令第 126 条に定める安全上必要な高さを考慮して居室床面から 1.1[m]とした。フェンスルーバーは、装置の構造上の簡便性を考慮して、幅 100[mm]の 4 枚のスラットを居室床面から 200[mm]を最下段として間隔を 300[mm]で構成し、スラットの幅と既存のフェンスへの取り付け構造の見込み幅を考慮して、フェンスの外側 0.1[m]に設けた。上段のスラットに遮光されることなくの下段のスラットの全面に日射が当たるプロファイル角は水平状態で 71.6[度]以下であり、毎月 15 日を代表日とした時に札幌から那覇において冷房対象月でない 10 月から 3 月にこれを超える時間帯がないので、冬季や朝夕の日射を取り込む装置の目的に対して妥当といえる。

計算対象とした教室モデルを図 3 に示す。教室は 7×9[m]の方形で、正面の黒板に向かって左側に外気に面する高さ 1.3[m]の腰窓、右側に廊下がある。廊下の幅は 2[m]、天井高さは 3[m]、腰壁高さは 1.2[m]、垂壁高さは 0.5[m]とした。教室外壁、廊下の外窓面積は 7.0[m²]、教室のドアの面積の合計は 7.2[m²]、教室の廊下に面する窓の面積は 5.7[m²]である。ベランダのある場合には黒板側に扉を設ける（図 3 に点線で示した）が、扉の窓の面積はベランダのない場合と同じとした。庇を設ける場合には天井面と同じ高さとし、庇長さは既報⁹⁾により札幌から鹿児島で熱負荷の増加を抑えつつ照度分布を均斉化できる可能性の示唆された 1.0[m]とした。尚、庇・ベランダのない場合は外壁面をフラットとした。

3. 評価方法と条件

3.1 日射侵入時間の計算条件、方法と評価指標

フェンスルーバー設置の効果は、日射の室内への侵入時間比率（以下、日射侵入時間比率）で評価し、4 枚のスラットの反射光が 1 カ月間・すべての時間帯で室内に侵入する場合に 100[%]とした。反射光の正接にフェンスルーバーと窓間の距離を乗じることで外壁面到達時の高さが分かるので、室内への昼光侵入の有無を判定できる。プロファイル角は、太陽高度と方位角データから算出した。窓方位は南向き、計算対象地域は札幌、盛岡、新潟、東京、大阪、福岡、鹿児島、那覇の 8 都市で、日射に関するデータは熱負荷計算ソフト SMASH (IBEC)¹⁰⁾ 用気象データを使用した。

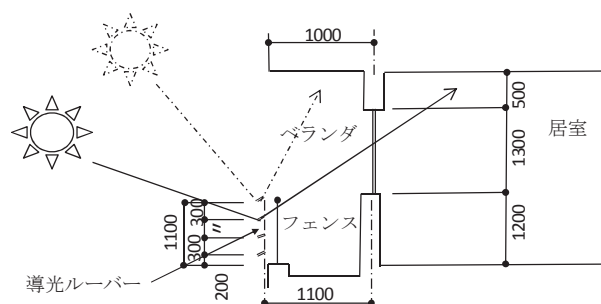


図 1 フェンスルーバーの計算モデル

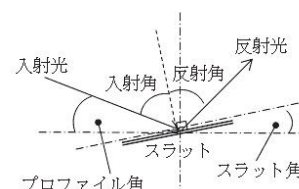


図 2 スラット角と入射光・反射光の関係

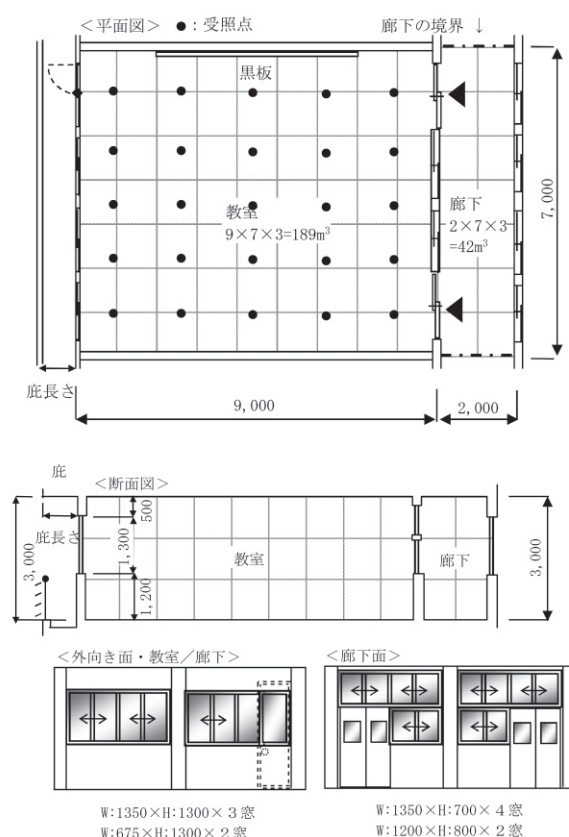


図 3 計算対象教室モデル

3.2 熱負荷の計算方法と条件

熱負荷計算には、SMASHを用いた。SMASHでは本報の導光設備に対応した条件入力ができないので、窓面および壁面に入射する直達日射量と天空日射量を、都市およびスラット条件毎に庇による遮蔽およびスラットによる反射を考慮して時間帯毎に以下の式によって補正し、日射量補正により求めた年間熱負荷と庇設定により求めた年間熱負荷を比較して、計算方法が妥当であることを確認した（図 4）。直達日射量の補正係数＝（庇の影を除いた受照面積×鉛直

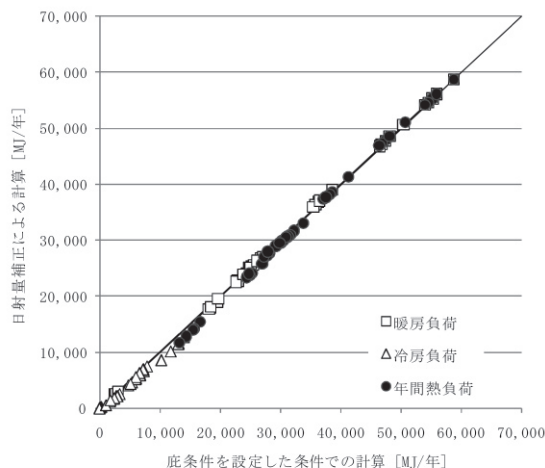


図 4 日射量補正法と庇設定法の熱負荷計算結果の比較

表 1 外窓ガラスの熱的性能

	日射熱 取得率 (η) [—]	熱貫流率 (U) [W/m ² ・K]
透明単板	0.88	5.9
透明 複層・A6	0.79	3.3
透明 複層・A12	0.79	2.9
Low-E断熱 複層・A12	0.62	1.8
Low-E遮熱 複層・A12	0.40	1.7

* A6：空気層 6 ミリ
A12：空気層 12 ミリ

表 3 各都市の空調期間

	空調期間	
	暖房	冷房
札幌	9/25～6/9	6/10～9/24
盛岡	9/29～5/24	5/25～9/23
新潟	10/19～5/10	5/11～10/18
東京	11/2～4/22	4/23～11/1
大阪	11/4～4/17	4/18～11/3
福岡	11/3～4/20	4/21～11/2
鹿児島	11/13～4/8	4/9～11/12
那覇	12/15～2/23	2/24～12/14

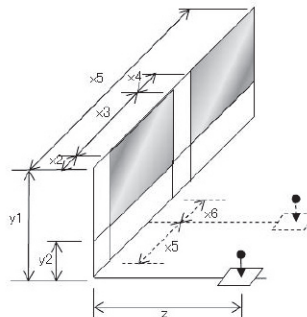
表 2 窓以外の部位の断熱性能

	[K:W/m ² ・K, Cp:Wh/m ² ・K]		
	外壁	間仕切	床・天井
I 地域 K	0.384	2.441	1.455
Cp-Out	15.487	3.023	1.918
Cp-In	3.267	3.023	4.965
II 地域 K	0.484	2.441	1.455
Cp-Out	15.266	3.023	1.918
Cp-In	3.174	3.023	4.965
III 地域 K	0.739	2.441	1.455
Cp-Out	15.266	3.023	1.918
Cp-In	3.174	3.023	4.965
IV 地域 K	0.739	2.441	1.455
Cp-Out	15.266	3.023	1.918
Cp-In	3.174	3.023	4.965
V 地域 K	0.739	2.441	1.455
Cp-Out	15.266	3.023	1.918
Cp-In	3.174	3.023	4.965
VI 地域 K	0.739	2.441	1.455
Cp-Out	15.266	3.023	1.918
Cp-In	3.174	3.023	4.965

K：実質熱貫流率^{注2)}
Cp-Out：室外側の有効熱容量^{注3)}
Cp-In：室内側の有効熱容量

表 4 熱負荷の計算条件

熱的性能	熱貫流率	面積	空調条件	
教室・廊下の外窓	表1による	7.0 [m ²]	暖房設定温度	20 [°C]
教室のドア	2.9 [W/m ² ・K]	7.2 [m ²]	冷房設定温度	26 [°C]
教室・廊下間の窓	5.9 [W/m ² ・K]	5.7 [m ²]	空調時間帯	7時から17時
廊下境界の仮想壁	5.9 [W/m ² ・K]	6.0 [m ²]		
外窓の日射熱取得率	表1による		ルーバー条件	
照明条件			スラット角度	5、10 [度]
照明 (蛍光灯)	832[W] = 32[W] × 26本		スラット反射率	0.2、0.4、 0.6、0.8 [—]
点灯時間帯	7～10時および15～17時			



x：窓縦辺の、受照点からの水平距離[m]
y：窓横辺の、受照点との鉛直距離[m]
z：受照点の、窓面からの水平距離[m]

図 5 受照点の立体角投影率

$$\eta_B = \eta_0 \{ (6.25 \sin^3 h - 10 \sin^2 h + 3.94 \sinh) I_{DN} / I_0 + 0.983 \sinh + 0.451 \} \quad \dots (1)$$

$$\eta_S = \eta_0 \{ (3.375 \sin^3 h - 6.175 \sin^2 h + 3.4713 \sinh + 0.7623) \} \quad \dots (2)$$

η_B ：直達日射の発光効率[lm/W]、 η_S ：天空日射の発光効率[lm/W]、

η_0 ：大気圏外の太陽放射エネルギーの発光効率(=93.9[lm/W])、

I_{DN} ：法線面直達日射量[W/m²]、 I_0 ：大気圏外法線面日射量[W/m²]、

h：太陽高度[rad]

$$f = (1/2 \pi) \cdot (\tan^{-1}(x/z) - (z/\sqrt{(y^2 + x^2)}) \cdot \tan^{-1}(x/\sqrt{(y^2 + x^2)}) \quad \dots (3)$$

x：受照点と窓面鉛直辺の水平距離[m]、y：受照点と窓面水平辺の鉛直距離[m]

z：受照点から窓面までの水平距離[m]、 π ：円周率

$$E_{rf} = (\rho_{fe} \cdot F_f + F_c) \cdot \rho_{ce} / (A_f \cdot (1 - \rho_{ce} \cdot \rho_{fe})) \quad \dots (4)$$

$$\rho_{fe(ce)} = (A_f \cdot \rho_{fm(ce)}) / (A_{Lf(ce)} - (A_{Lf(ce)} - A_f) \cdot \rho_{fm(ce)}) \quad \dots (5)$$

E_{rf} ：作業面照度[lx]、 $\rho_{fe(ce)}$ ：切断面を仮想面とした等価反射率[—]、

$F_{f(ce)}$ ：光束[lm]、 A_f ：床面積[m²]、 $\rho_{fm(ce)}$ ：平均反射率、

$A_{Lf(ce)}$ ：仮想面より下(上)の内表面積[m²]、添え字：f：床側、c：天井側

面直達日射量＋反射光が窓面に入射するスラット枚数×スラット面積×スラットの反射率×スラットの法線面直達日射量×窓面への入射角の余弦) / (窓面積×鉛直面入射直達日射量)、天空日射量の補正係数＝(窓面積×(90°－窓高さの中心からの庇の見込み角) / 90° × 鉛直面天空日射量＋反射光が窓面に入射するスラット枚数×スラット面積×スラットの反射率×鉛直面天空日射量) / (窓面積×鉛直面天空日射量)。

フェンスルーバーの日射反射率は 0.2、0.4、0.6、0.8[—]とした。教室のドアの熱貫流率^{注1)}を 2.9[W/(m²・K)]、教室の廊下に面する窓の熱貫流率を 5.9[W/(m²・K)](内外の表面熱伝達率は 9.3[W/(m²・K)])とした。図 3 に一点破線で示した廊下の境界は表面熱伝達率 23[W/(m²・K)]の仮想壁(熱貫流率 5.9[W/(m²・K)])を設定した。

窓ガラスは、表 1 に示す 5 ケースとし、窓以外の部位の断熱性能は次世代省エネ基準に基づいて地域毎に設定した(表 2)。都市毎の空調期間を表 3 に示す。廊下の気温は成り行き、隣接する教室・上下

の教室は対象室と同温設定とした。

空調時間帯は、学校利用の実態を考慮して平日の 7 時から 17 時までとし、空調の設定温度は暖房時 20℃、冷房時 26℃とした。内部発熱は、照明発熱として 32[W]の蛍光灯 26 本(計 832[W])を 7 時から 10 時および 15 時から 17 時の時間帯に点灯し、人体発熱として 7 時から 8 時および 16 時から 17 時に 18 人、8 時から 16 時の間に 36 人が在室するスケジュールとし、SMASH の取り扱いに従って条件を入力した(表 4)。照明の点灯条件は一律とし、採光の増減による照明負荷の変化は考慮していない。

尚、本報では開口部からの日射入射の影響を明らかにすることを目的とするので、換気回数はできるだけ小さい一定値とし、窓の開放は行わず密閉した時の実測値^{1 1)}に基づき昼夜間を通じて 1.5[回/h]とした。また、潜熱負荷は対象とせず、顕熱負荷のみ求めた。

3.3 照度分布の計算方法

図 3 に示した 25 点における高さ 75[cm]の机上面の照度を求めた。

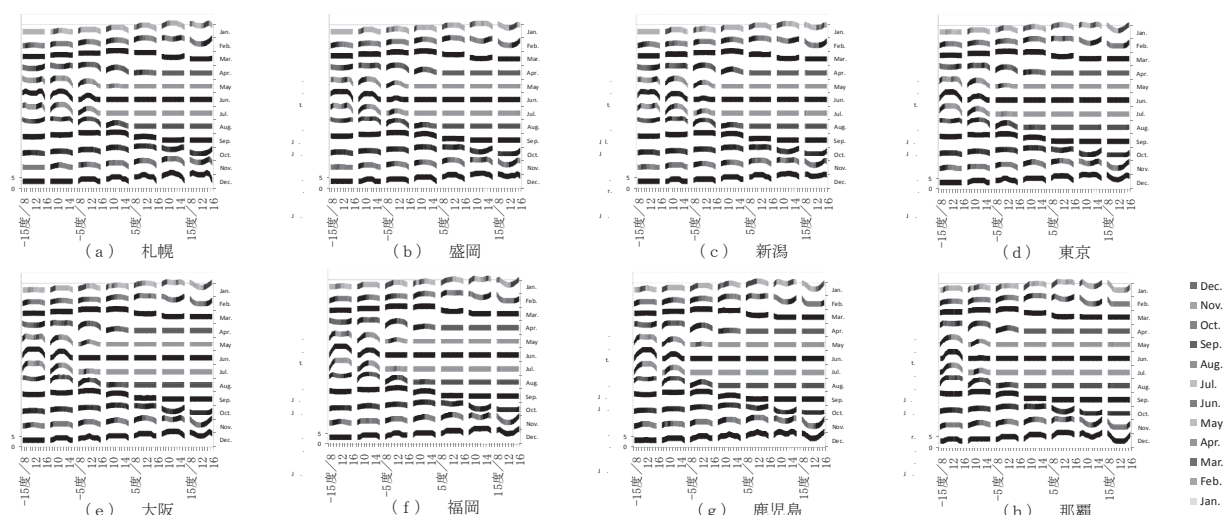


図6 ルーバー角度と月毎、時刻毎の日射侵入時間比率の関係<8都市>

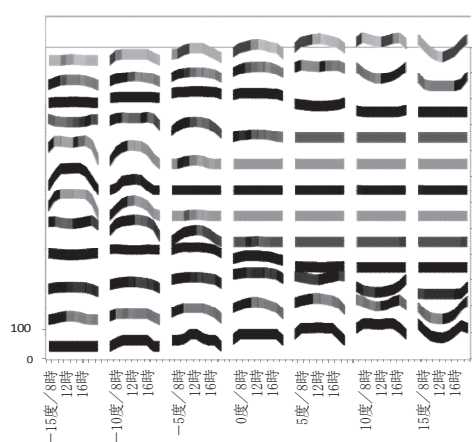


図7 スラット角度と月毎、時刻毎の日射侵入時間比率<東京>

受照点の照度は直接日光と間接日光の合計とし、直接日光は直射日光と天空光に対して算出した。

直射日光による直接日光は、受照点へ入射する直達日射量に直達日射の発光効率（式(1)）¹²⁾と外窓の可視光線透過率を乗じて求めた。天空光による直接日光は、天空日射量に天空日射の発光効率（式(2)）、底を考慮した天空の立体角投射率と可視光線透過率を乗じて室内への入射光量とし、これに各受照点における外窓の立体角投射率を乗じて求めた¹³⁾（図5）。

直達日射量、天空日射量は、予め底の遮蔽量、スラットの反射日射量を算出し、SMASH 用気象データの直達日射量と天空日射量に加算した。尚、天空光による直接日光は天空輝度分布を考慮して求めるべきであるが、計算の簡略化のために本報では一様天空とした。間接日光は、作業面切断式を用いた。平均反射率を求めるための各面の可視光線反射率は、スラット：0.2、0.4、0.6、0.8[－]の4条件、床面：0.2、壁面：0.5、天井面：0.7、窓面：0.1[－]とし（表5）、フェンスルーバーによる反射光を上向き、その他の日射の入射光束のうち8割を下向き、2割を上向きと設定した¹²⁾。鉛直窓の受照点に対する立体角投射率(f)の算出式を式(3)に、作業面切断式を式(4)(5)に示す。尚、直射日光が生徒の机に射し込む時の日射による眩しさは考慮していない。

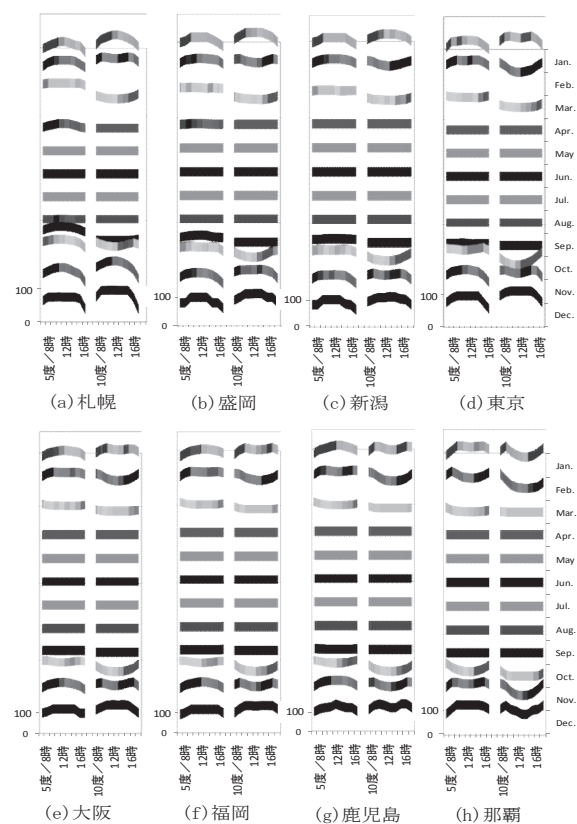


図8 都市別のスラット角5度、10度の日射侵入時間比率

4. 計算結果と考察

4.1 スラット角度と日射侵入時間比率の関係

スラット角度を-15[度]（居室側に傾斜）から 15[度]（屋外側に傾斜）まで変えた場合の8都市の日射侵入時間比率を図6に、東京の日射侵入時間比率を図7に示す。グラフの横軸はスラット角度／時刻（8時から16時）、縦軸は月度、帯の高さが日射侵入時間比率で、帯高さの高い方が日光の室内への侵入時間が多いことを示している。図6から、日射侵入有無の月による変化は8都市で概ね同じ傾向を示しているため、以下に代表例として東京について考察する。

図7において、帯形状の逆U型は朝夕に反射光が遮られ、太陽高度が高いと反射光が室内に入射することを示し、スラットを居室側

に傾けた-10[度]の5~7月で顕著である。M型は太陽高度が高いと反射光が室内に入らず(-15[度]の5月、10[度]の1月など)、U型は朝夕に反射光が入射するが、太陽高度が高いと室内に入射しない場合(15[度]の1月、11月、12月など)を表わしている。

月毎の日射侵入を設定角度で比較すると、5[度]以上で4~8月の日射侵入がなく、夏季の日射遮蔽に有効といえる。しかし、15[度]では冬季も日射が遮られてしまうため、暖房負荷低減の効果は少ない。スラット角度5[度]、10[度]は、日射侵入月の帯形状がM型からU型をしており、冬季および朝夕に昼光を採り入れ、夏季の昼間に採り入れないという昼光制御に有効と考えられる。

4.2 都市別の日射侵入時間比率の比較と最適スラット角度

各都市のスラット角度5[度]と10[度]の日射侵入時間比率を図8に示す。札幌では5[度]の場合に4月と9月にも昼光が侵入しているが、南下するに従ってこの2か月の日射侵入時間比率は減少し、那覇では10[度]の設定で3~10月の8か月間に日射が侵入していない。2月と10月の結果を都市別に比較すると、札幌で逆U型とM型であるが、南下するに従ってM型かU型に変化しており、角度別に見ると導光の効果に地域差のあることがわかる。

スラットの設定角度は都市毎に異なると推定される。そこで、0.5[度]刻みで都市別の最適スラット設定角度を検討した。月毎の時刻別の平均日射侵入時間比率を求め、これに表6の係数を乗じて積算した値の都市毎のフルスコアに対する比率を得点とした。係数は、都市毎に各月を暖房、中間、冷房に分類し、日射が入ることの熱負荷に対する有利・不利に重みを持たせて時刻毎に-3、-1、0、1、3の5段階で設定した。採点結果を表7に示す。表で太字が最高得点を示している。都市別の最適スラット角度は、札幌:7.5[度]、盛岡:5.5[度]、新潟:8.5[度]、東京:6.5[度]、大阪:7[度]、福岡:6.5[度]、鹿児島:6.5[度]、那覇:9.5[度]であり、いずれの都市でもスラット

表6 都市別の暖房、中間、冷房月設定と時刻毎の係数

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.		H	N	C
札幌	H	H	H	H	H	N	C	C	N	H	H	H	7時~	3	0	-1
盛岡	H	H	H	H	N	C	C	C	N	H	H	H	8時~	3	0	-1
新潟	H	H	H	H	N	C	C	C	C	N	H	H	9時~	3	0	-1
東京	H	H	H	N	C	C	C	C	C	N	H	H	10時~	1	0	-3
大阪	H	H	H	N	C	C	C	C	C	N	H	H	11時~	1	0	-3
福岡	H	H	H	N	C	C	C	C	C	N	H	H	12時~	1	0	-3
鹿児島	H	H	H	N	C	C	C	C	C	N	H	H	13時~	1	0	-3
那覇	H	N	C	C	C	C	C	C	C	C	N		14時~	1	0	-3
													15時~	1	0	-3
													16時~	3	0	-3
	H:暖房期					N:中間期			C:冷房期							

表7 都市別・角度別の採点結果

	5度	5.5度	6度	6.5度	7度	7.5度	8度	8.5度	9度	9.5度	10度
札幌	63.2	63.5	63.5	63.6	63.8	63.9	63.8	63.7	63.5	63.5	63.4
盛岡	73.1	73.2	73.2	73.0	72.7	72.5	72.4	72.3	72.2	71.8	71.1
新潟	73.2	73.8	74.2	74.8	75.3	75.5	75.9	76.2	76.0	75.9	75.7
東京	85.1	85.3	85.6	85.9	85.9	85.8	85.7	85.4	85.0	84.4	83.8
大阪	84.7	85.6	85.9	86.2	86.6	86.6	86.6	86.5	86.3	86.1	86.0
福岡	85.0	85.6	86.3	86.6	86.5	86.5	86.4	86.4	86.1	85.7	85.2
鹿児島	86.3	85.6	86.3	86.6	86.5	86.5	86.4	86.4	86.1	85.7	84.3
那覇	69.3	86.1	87.1	88.0	88.7	89.5	90.3	91.1	91.8	92.3	80.5
	低得点:濃色 ←					(太字:最大値) → 高得点:淡色					

の最適角度は5[度]と10[度]の間にある。

4.3 5度、10度設定時の各都市の年間熱負荷比較

庇(ベランダ)なし条件の年間熱負荷に対する各条件の年間熱負荷の比率を図9に、年間熱負荷の計算結果を表8に示す。

図から、庇を設けると札幌では熱負荷が2~3[%]増加するが、南下するに従って熱負荷は低減され鹿児島では逆に2~3[%]の減少となる。フェンスルーバーを設置すると、いずれの都市でも熱負荷が減少し、那覇における透明単板ガラスの5[度]設定を除いて、フェンスルーバーなしの場合に比べて反射率が80[%]の時に年間熱負荷が2~5[%]減少している。

5[度]と10[度]のスラット角度設定による差異はほとんど見られないが、スラットの反射率が高くなると設定角度10[度]より設定角

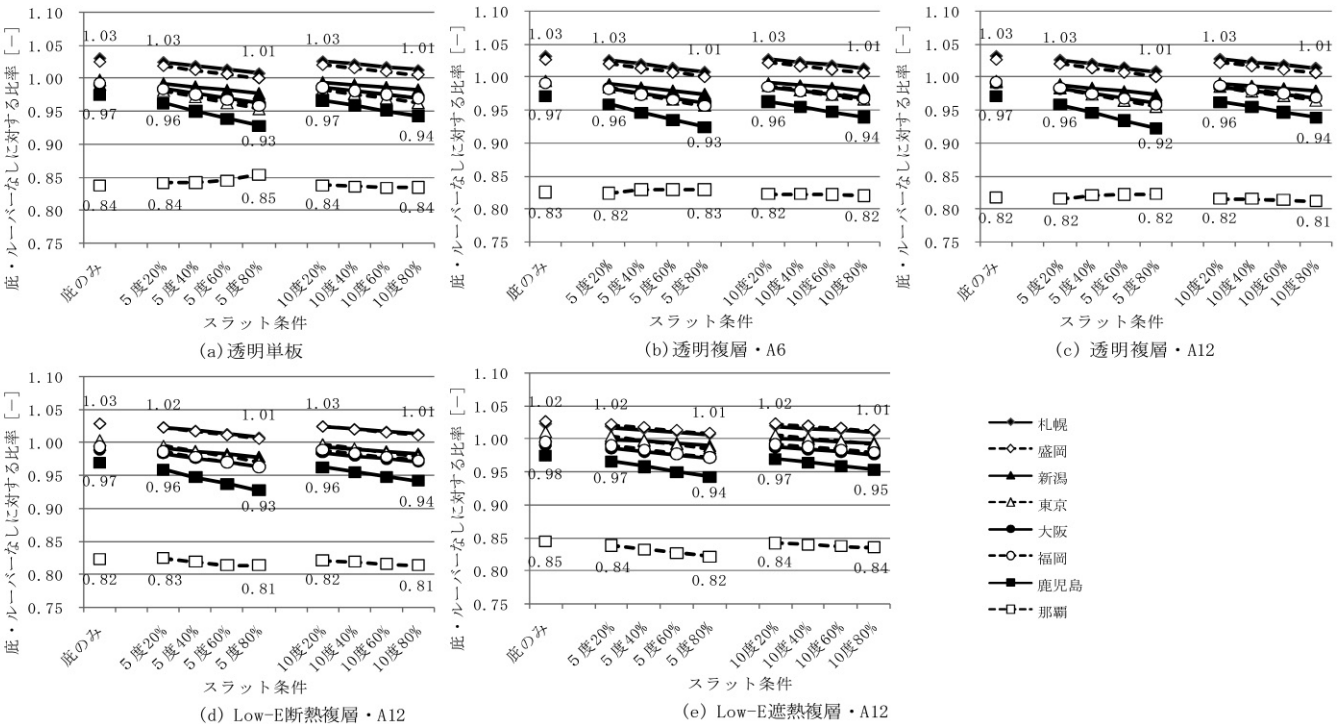


図9 外窓ガラス別の庇なしに対する熱負荷比

表 8 熱負荷の計算結果

		[MJ/年・㎡]																			
ルーバー条件		底なし					底あり					スラット角 5 度									
スラットの反射率		ルーバーなし					20%					40%					60%				
		20%					40%					60%					80%				
都市	ガラス品種	暖房	冷房	年間	暖房	冷房	年間	暖房	冷房	年間	暖房	冷房	年間	暖房	冷房	年間	暖房	冷房	年間	暖房	冷房
札幌	透明単板	905	0	905	933	0	933	928	0	928	923	0	923	918	0	918	912	0	912	929	0
	透明複層・A6	852	0	852	879	0	879	874	0	874	869	0	869	864	0	864	859	0	859	875	0
	透明複層・A12	840	0	840	868	0	868	862	0	862	857	0	857	853	0	853	848	0	848	864	0
	Low-E断熱複層	837	0	837	862	0	862	857	0	857	853	0	853	849	0	849	844	0	844	858	0
	Low-E遮熱複層	873	0	873	893	0	893	889	0	889	886	0	886	882	0	882	879	0	879	890	0
盛岡	透明単板	777	14	791	805	5	811	800	5	806	795	5	801	790	5	796	785	5	791	802	5
	透明複層・A6	731	11	742	759	4	763	754	4	758	750	4	753	745	4	748	740	4	743	755	4
	透明複層・A12	721	11	732	749	4	753	744	4	748	740	4	743	735	4	738	730	4	733	746	4
	Low-E断熱複層	720	6	725	745	2	747	741	2	742	736	2	738	732	2	734	728	2	730	742	2
	Low-E遮熱複層	752	1	753	773	0	773	769	0	769	766	0	766	763	0	763	760	0	760	770	0
新潟	透明単板	597	63	660	622	36	658	619	36	655	615	36	652	612	36	648	609	36	645	620	36
	透明複層・A6	562	56	618	586	29	615	583	29	612	580	29	609	577	29	606	574	29	603	584	29
	透明複層・A12	554	56	611	579	28	607	576	28	604	573	28	601	570	28	598	567	28	595	577	28
	Low-E断熱複層	551	44	595	573	20	593	570	20	591	568	20	588	565	20	585	562	20	582	571	20
	Low-E遮熱複層	572	25	597	590	10	599	587	10	597	585	10	595	583	10	593	581	10	591	588	10
東京	透明単板	408	66	474	428	41	469	424	41	465	419	41	461	415	41	456	411	41	452	425	41
	透明複層・A6	384	58	442	403	36	439	399	36	435	395	36	431	391	36	427	387	36	423	400	36
	透明複層・A12	378	58	436	398	35	433	394	35	429	390	35	425	386	35	420	382	35	416	395	35
	Low-E断熱複層	382	46	428	399	30	429	396	30	426	392	30	422	389	30	418	385	30	415	397	30
	Low-E遮熱複層	407	34	440	421	24	445	418	24	442	416	24	440	413	24	437	410	24	434	419	24
大阪	透明単板	414	116	530	431	94	526	428	94	522	424	94	518	420	94	514	416	94	511	429	94
	透明複層・A6	390	107	497	407	86	493	403	86	489	400	86	486	396	86	482	393	86	478	404	86
	透明複層・A12	385	107	491	402	85	487	398	85	483	394	85	480	391	85	476	387	85	472	399	85
	Low-E断熱複層	386	95	481	401	75	476	398	75	473	395	75	469	392	75	466	389	75	463	399	75
	Low-E遮熱複層	407	82	489	419	66	485	417	66	482	414	66	480	412	66	477	409	66	475	417	66
福岡	透明単板	367	141	508	385	119	504	381	119	500	376	119	496	372	119	492	368	119	487	382	119
	透明複層・A6	346	133	479	363	111	475	359	111	470	355	111	466	351	111	462	347	111	458	360	111
	透明複層・A12	341	132	472	358	111	469	354	111	465	350	111	461	346	111	457	342	111	453	355	111
	Low-E断熱複層	345	119	463	360	101	461	356	101	457	353	101	453	349	101	450	346	101	446	358	101
	Low-E遮熱複層	368	104	472	381	89	470	378	89	467	375	89	464	372	89	462	370	89	459	379	89
鹿児島	透明単板	289	132	421	304	106	411	299	106	406	294	106	401	290	106	396	285	106	392	301	106
	透明複層・A6	272	121	394	287	95	383	282	95	378	278	95	373	273	95	369	269	95	364	284	95
	透明複層・A12	268	120	388	283	94	377	278	94	372	273	94	367	269	94	363	264	94	358	280	94
	Low-E断熱複層	275	108	383	288	84	372	284	84	368	280	84	363	276	84	360	272	84	356	286	84
	Low-E遮熱複層	301	90	391	312	70	382	309	70	379	306	70	375	302	70	372	300	70	369	310	70
那覇	透明単板	38	255	293	43	202	246	41	205	247	40	207	248	37	213	250	42	203	246	42	203
	透明複層・A6	36	238	273	41	185	225	39	186	225	38	189	227	36	190	226	35	192	227	40	185
	透明複層・A12	35	237	272	40	182	222	39	183	222	37	186	223	35	188	224	34	190	224	39	182
	Low-E断熱複層	38	210	248	43	162	204	41	164	205	40	164	203	38	164	202	37	165	202	42	162
	Low-E遮熱複層	45	176	221	49	137	187	48	137	185	47	137	184	45	137	183	44	137	181	49	137

* A6：空気層6ミリ
A12：空気層12ミリ

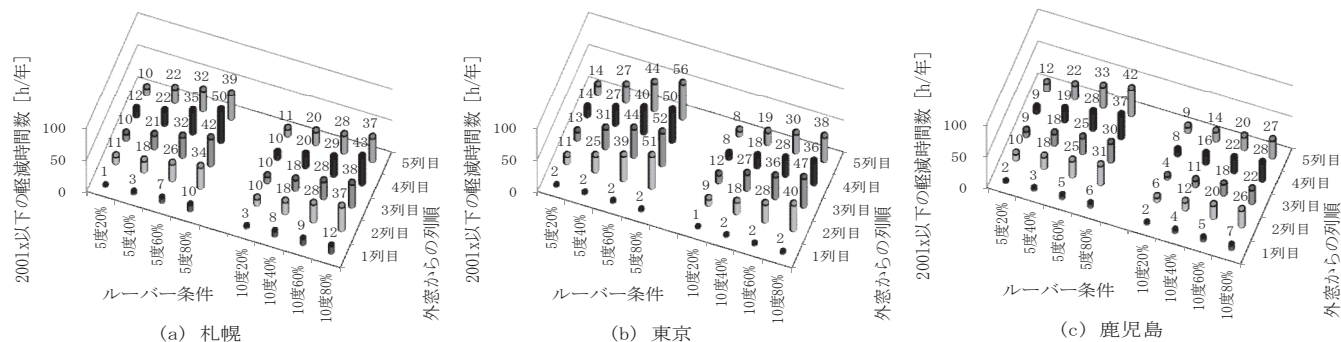


図 10 200lx 以下の低減時間数分布

度 5[度]の熱負荷が 1～2[%]程度小さくなっており、設定角度 5[度]の方がやや有効と思われる。一方、外窓のガラスの日射熱取得性、断熱性の違いによるフェンスルーバー設置の効果の差は見られない。

表で暖房負荷と冷房負荷の内訳を見ると、冷房負荷はフェンスルーバーを設置しても増加しておらず、底の日射遮蔽効果を維持しながら、暖房期には日射熱を有効に取り入れて暖房負荷軽減に寄与していることがわかる。

4.4 5 度、10 度設定時の各都市の照度分布の改善効果

文部科学省は教室の最低照度を 200[lx]と定めている¹⁴⁾。そこで、

底はあるがフェンスルーバーがない場合に対するスラット角度 5[度]、10[度]の時の照度 200[lx]以下の減少時間数を算出した。札幌、東京、鹿児島の計算結果を図 10 に示す。スラット角度 5[度]と 10[度]の減少時間数を比較すると、窓側 1 列目で 10[度]の減少時間数がやや大きい、その他の受照点では概ね 5[度]が大きい。スラット角度 5[度]の最低照度の減少時間数は、札幌で反射率 80[%]の時に 4 列目で 50 時間、東京で反射率 80[%]の時に 5 列目で 56 時間、鹿児島で反射率 80[%]の時に 5 列目で 42 時間である。

5 列目（廊下側）の 8 都市の減少時間数を図 11 に示す。スラット

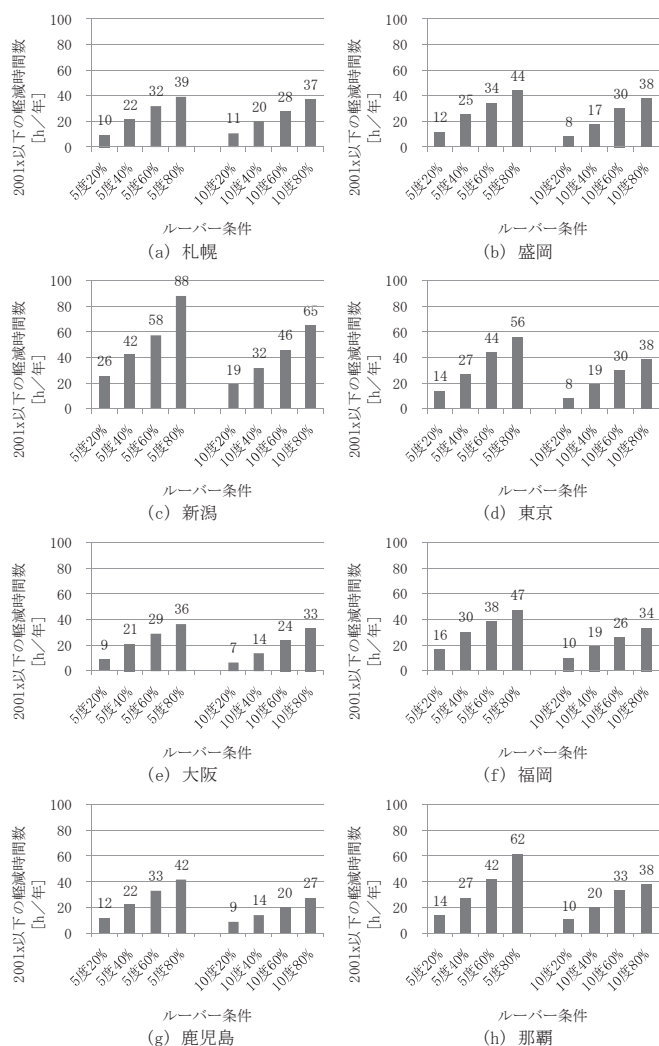


図 11 外窓から 5 列目における 200lx 以下の時間の減少時間数

角度 5[度]、スラットの反射率を 80[%]とすれば、年間で 36～88 時間の減少となり、月当りの照明の点灯時間を 3～7 時間程度低減できる可能性がある。

5. まとめ

昼光利用設備開発の可能性検討として、庇や透光性ベランダフェンスの外側に反射型導光ルーバー（フェンスルーバー）を設置することが、学校教室の熱負荷と室内照度に与える影響について検討した。フェンスルーバーは、スラットで上向きに反射された日射がベランダ幅を通過する間に上方へ移動することを利用して窓面への昼光入射を制御できることに特長がある。庇は天井面の高さで庇長さ 1[m]、反射型導光ルーバーはスラット幅 100[mm]、スラット枚数 4 枚の条件で、スラット角度、反射率の設定を変えて、シミュレーション計算により熱負荷、照度分布を計算した。

その結果から、

- 1) フェンスルーバーを設置することによって、昼光を活かして冷房負荷を増やさず年間熱負荷を低減できる可能性がある。
- 2) 制御効果には地域性があるものの、スラット角度を水平に対して屋外に向かって下向きに 5～10[度]に傾けると、冬季や朝夕

に昼光を採り入れ、夏季の昼間には採り入れない、という制御が可能である。

- 3) 盛岡から鹿児島各都市のフェンスルーバー設置時の熱負荷は、設置しない場合に比べて冷房負荷は増加せず年間熱負荷は反射率 80[%]の時に 2～5[%]減少する。札幌では、暖房負荷が大きいために庇を設けると年間熱負荷が 2～3[%]増加するが、フェンスルーバーの設置によって増加は 1[%]まで改善される。
- 4) 教室の最低照度である 200[lx]以下の出現時間数は、スラットの反射率が 80[%]の時に月当たり 3～7 時間まで減少する。
- 5) 都市毎の最適スラット角度は、札幌：7.5[度]、盛岡：5.5[度]、新潟：8.5[度]、東京：6.5[度]、大阪：7[度]、福岡：6.5[度]、鹿児島：6.5[度]、那覇：9.5[度]である。スラット枚数の追加、面積の拡大や上下段の配置の最適化によって、更なる効果の向上が期待される。

ことを明らかにし、改善効果は微小であるものの、フェンスルーバーの設置によって年間熱負荷と 200[lx]以下の出現時間数が低減することから、フェンスルーバーが昼光利用に対して有効であることを示した。

注

- 注 1) SMASH では、熱貫流率と表面熱伝達率を個々に入力する。記載した熱貫流率は、屋外側表面熱伝達率 23[W/(m²・K)]、室内側表面熱伝達率 9.3[W/(m²・K)]における値である。
- 注 2) SMASH では、熱貫流率から表面熱伝達率を除いた値を実質熱貫流率と呼称している。
- 注 3) SMASH では、壁体各部位の伝熱特性値を 2 つの有効熱容量と 1 つの熱伝達抵抗に置き換えて形成される熱回路網を解析する手法を用いている。この時の 2 つの有効熱容量は、壁体の全熱容量を熱伝導抵抗の中心を境界として 2 分割した時に各々与えられる熱容量と定義している。

参考文献

- 1) 岩田三千子、土井正、中根芳一：光拡散性固定型ブラインドの透過指向性の数式化、日本建築学会計画系論文報告集、No.452、pp.11～18、1993.10
- 2) 近藤純一、稲沼實：外装ブラインドのある窓の日射伝播性能に影響を与えるスラット特性に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.597、pp.27～33、2005.11
- 3) 近藤純一：任意形状の外装ルーバーの日射伝播性能の評価法に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.612、pp.45～50、2007.2
- 4) 木下泰斗、赤坂雄裕、二宮秀典：板ガラスとベネシアンブラインドとを組み合わせた光学特性の計算法、日本建築学会環境系論文集、No.639、pp.569～577、2009.5
- 5) 伊藤忍：建築物の採光装置、公開特許公報 特開 2001-283619、2001.10
- 6) 増尾渉、小峯裕己、望月悦子：昼光照明空間における明るさ感と人工照明の点灯判断基準に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.639、pp.539～544、2009.5
- 7) 石川幸雄、樋口作夫、石田光、斉藤栄亮、寺山哲夫：季節別の太陽高度の変化を利用した日射制御窓の開発（その 2）、日本建築学会技術報告集、第 8 号、pp.147～150、1999.6
- 8) 石川幸雄、樋口作夫、石田光、斉藤栄亮：スラットの熱特性が異なる回転ブラインドを用いた日射制御窓の開発（その 2）、日本建築学会技術報告集、第 15 号、pp.175～178、2002.6
- 9) 樋口作夫、羽山広文、絵内正道：学校教室において庇長さや窓面の拡散性が年間熱負荷と机上面照度に与える影響、日本建築学会技術報告集、第 15 巻第 31 号、pp.797～802、2009.10
- 10) 坂本雄三：暖冷房消費エネルギー評価プログラム・SMASH、IBEC、pp.25～29、1988.11
- 11) 合原妙美、岩下剛：鹿児島市内の小学校における室内空気環境実測（その 2 小学校高学年教室における二酸化炭素濃度と開口部開閉状況）、日本建築学会計画系論文集 第 559 号、pp.29～36、2002.9
- 12) 宿谷昌則：数値計算で学ぶ光と熱の環境学、pp.30～31、p.73、pp.76～77、丸善、1993.7.25
- 13) 伊藤克三、中村洋、桜井美政、松本衛、崎崎正也：大学課程建築環境工学、p.53、オーム社、1978.6.20
- 14) 文部省体育局裁定：学校環境衛生の基準、pp.1～4、2002.2.5

(2009 年 7 月 10 日原稿受理、2010 年 1 月 7 日採用決定)