

外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発（その25）  
**昼光利用照明計算について**

**Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part25)**  
**Calculation Method of Daylighting**

正会員 一ノ瀬 雅之 (東京理科大学) 特別会員 村上 周三 (建築研究所) 正会員 井上 隆 (東京理科大学)  
 正会員 石野 久彌 (首都大学東京名誉教授) 正会員 郡 公子 (宇都宮大学) 学生会員 木下泰斗 (日本板硝子)

Masayuki ICHINOSE \*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI \*<sup>2</sup> Takashi INOUE \*<sup>1</sup>  
 Hisaya ISHINO \*<sup>3</sup> Kimiko KOHRI \*<sup>4</sup> Taito KINOSHITA \*<sup>5</sup>

\*<sup>1</sup> Tokyo University of Science \*<sup>2</sup> Building Research Institute \*<sup>3</sup> Tokyo Metropolitan University

\*<sup>4</sup> Utsunomiya University \*<sup>5</sup> Nippon Sheet Glass

This paper presents simulation method of daylighting and solar shading for estimating energy-saving effect by daylight utilization. It is enabled to estimate energy-saving effect of daylight utilization by coupling calculation of daylight illuminance and artificial lighting output. As energy-saving performance evaluation example by a daylight utilization, test calculation results by the released BEST program are presented.

## 1 はじめに

最近で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内部空間を魅力的なものにすることに寄与するが、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影響の制御・取捨選択機能の重要性が高まっている。特に、昼光としての日射の導入と遮蔽を両立されることによって、省エネルギー性を高めることも可能である<sup>1)2)3)</sup>。

このような背景から、BESTでは近年広く普及しつつある調光照明による省エネルギー効果を試算可能としている。本報では、昼光利用効果を試算するための、昼光利用照明計算法および計算例について示す。

## 2 計算法概要

### 2.1 プログラム上での位置づけ

図1に示すように、窓面から得られる昼光照度に応じて照明出力を減じることにより、照明電力および内部発熱負荷を抑えて相乗効果を得る。算出した電力量を渡すことにより電気エネルギー計算との連成も可能な枠組みとなっている。なお、窓仕様のモデルは窓熱取得計算・外部遮蔽計算クラスと連携しており、ガラス種類・ブラインド種類・庇の有無・隣棟の影響などを反映した昼光計算が可能となっている。

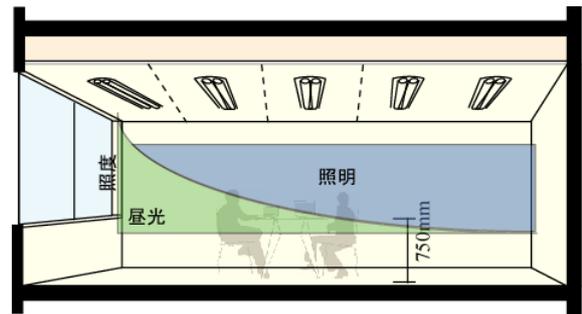


図1 昼光利用と照明制御

表1 照度計算式

昼光照度	
$E_{Daylight} = E_d + E_r$	
(ブラインド開のとき)	
$E_D = \tau_F \cdot M \cdot R \cdot (U_1 + \rho_{CC} \cdot D_{GL} \cdot U_{CG} \cdot U_2) \cdot E_S$	
$E_R = \{(F_1 \cdot \rho_1 + F_2) \cdot \rho_2\} / \{S_L \cdot (1 - \rho_1 \cdot \rho_2)\}$	
$F_1 = \tau_F \cdot M \cdot R \cdot U_{GS} \cdot S_{UG} \cdot E_S$	
$F_2 = \tau_F \cdot M \cdot R \cdot U_{GG} \cdot \rho_{GL} \cdot D_{GL} \cdot S_{UG} \cdot E_S$	
(ブラインド閉のとき)	
$E_D = 2 \cdot \delta\omega_1 \cdot M \cdot R \cdot (\tau_F \cdot U_{GS} \cdot U_P \cdot E_S$	
$\quad \quad \quad + \tau_D \cdot U_A \cdot E_{DO})$	
$E_R = \{(F_1 \cdot \rho_1 + F_2) \cdot \rho_2\} / \{S_L \cdot (1 - \rho_1 \cdot \rho_2)\}$	
$F_1 = \delta\omega_1 \cdot \tau_F \cdot M \cdot R \cdot U_{GS} \cdot S_{UG} \cdot E_S$	
$\quad \quad \quad + \delta\omega_1 \cdot \tau_D \cdot M \cdot R \cdot S_A \cdot E_{DO}$	
$F_2 = \delta\omega_2 + \tau_F \cdot M \cdot R \cdot U_{GS} \cdot S_{UG} \cdot E_S$	
$\quad \quad \quad + \delta\omega_2 \cdot \tau_D \cdot M \cdot R \cdot S_A \cdot E_{DO}$	
照明照度	
$E_{Lamp(i)} = E_{D(i)} + E_R$	
$E_{D(i)} = \sum_{j=1}^N \alpha_{(j)} \cdot \pi \cdot L \cdot U_{Lamp(i,j)}$	
$L = 1 / \pi \cdot \alpha_L \cdot m_L \cdot W \cdot \eta_L$	
$E_R = (\pi \cdot L \cdot \sum S_{(j)} \cdot \rho_1 \cdot \rho_2) / \{S_L \cdot (1 - \rho_1 \cdot \rho_2)\}$	

記号一覧は本報末尾に記す。

## 2.2 昼光照度および照明出力率算出式

昼光照度および照明出力率算出式の一覧を表1に示す。記号については本報末尾に示している。

室内各点における昼光照度は直接照度と間接照度の合計として算出する。ブラインド開および閉の状態に応じて計算方法を選択している。間接光については計算負荷を低減するため切断面公式を用いている<sup>4)</sup>。なお、日射遮蔽物はブラインド、庇、隣棟による影響を考慮可能となっている。昼光照度の結果に基づいて、各計算点における照度が設定照度となるように各照明の出力率を連立方程式によって得る。

## 3 昼光利用効果の計算例

### 3.1 計算条件

#### (1) 建物仕様

計算対象は図2に示す基準階多数室を有する標準的な事務所ビルを想定した。気象データは東京2006年1分値実測データを使用しており、計算時間間隔は非空調時間帯1時間および空調時間帯5分とした。空調システムシミュレーションはZoneModuleと簡易機器モジュールであるAHUModuleクラスを使用した。窓面積と外壁面積については合計表面積は変更せずに窓面積率50%およびガラス建築を想定した90%の2種類、庇有無の仕様を設定し、そのほか基本的な建物仕様やスケジュール等は既報<sup>5)</sup>と同様に設定した。ガラス種類については既報<sup>6)</sup>と同様に、表2に示す熱・光性能を有する単板5種類および複層7種類を検討対象としており、ブラインドスラットは白色とした。

#### (2) 昼光利用

照明は発光効率100lm/W(出力20W/m<sup>2</sup>)を主方位窓面から奥行方向に2m間隔で配置し、調光制御時は床面高さ75cmの机上面照度を700lx以上に保つように連続調光を行う設定とした。ただし、照明調光制御に寄与する昼光は直射光を除いた各ペリメータゾーンにおける主方位窓からの昼光照度のみ反映させた。

直射光の遮蔽を担うブラインドは不可欠であるが、執務者が状況に応じて手動で調整することは少なく終日全閉または水平状態で放置されることが多いのが実態である。このような実態に対して、日射遮蔽と昼光利用の両立を可能とするブラインド自動制御は有効な手段といえる。BESTでは図3に示すように、直射光が窓面に当たるときは直射光を遮る最小角度となる保護角に、無いときは水平にスラット角を設定し、例えば午前中の西面のように直射光が当たらない時間帯はブラインドを巻き上げる制御とした。直射光遮蔽判定閾値は、被験者実験や長期的な気象データの分析に基づいて1500lxとした<sup>7)</sup>。

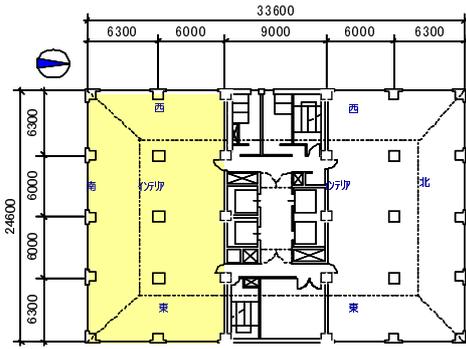


図2 計算対象基準階平面図

表2 計算対象ガラス性能値一覧

ガラス種類	[-]		[W/mK]	[-]	
	日射透過率	日射反射率	熱貫流率	日射熱取得率	
単板	透明	0.88	0.08	5.8	0.82
	熱線吸収	0.69	0.07	5.8	0.56
	熱線反射	0.62	0.32	5.8	0.66
	高性能熱線反射 (SS8)	0.08	0.41	4.6	0.22
	高性能熱線反射 (TBL35)	0.35	0.22	5.5	0.45
複層	透明	0.79	0.15	2.9	0.73
	熱線吸収	0.67	0.11	2.9	0.49
	熱線反射	0.58	0.35	2.9	0.59
	高性能熱線反射 (SS8)	0.07	0.42	2.3	0.14
	高性能熱線反射 (TBL35)	0.32	0.24	2.7	0.34
	Low-E(Ag1)	0.75	0.12	1.8	0.56
	Low-E(Ag2)	0.67	0.12	1.6	0.39

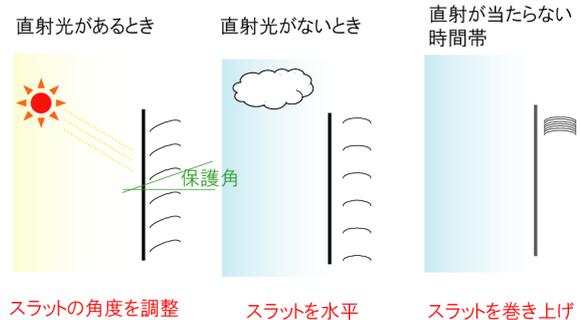
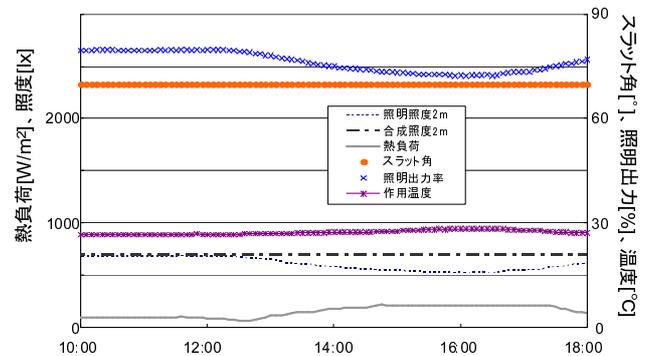
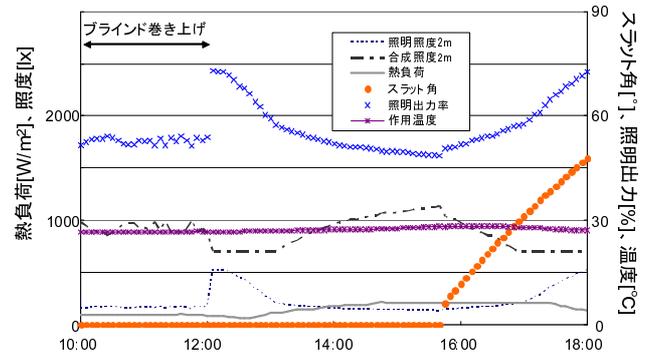


図3 ブラインド自動制御概要



(a) ブラインド制御なし (全閉固定)



(b) ブラインド制御あり

図4 ブラインド制御有無による室内環境の比較 (7/28・西面・Low-Eガラス・開口率90%)

### 3.2 昼光利用による室内環境への効果

図4は調光制御時におけるブラインド制御有無による室内環境への影響を、照度、ブラインドスラット角度、作用温度、照明出力率、熱負荷について、西面夏期晴天代表日において比較した結果である。ブラインド制御が無く終日スラットが全閉となっている図4(a)によると、昼光照度が小さく照明出力率が高い値で推移している。一方、ブラインド制御がある図4(b)では、直射光の当たらない午前中においてブラインドが巻き上がった状態から直射光が当たる午後は太陽位置に応じてスラットが動作あり、眺望性を確保しつつ昼光照度を十分に得て照明出力率が低下することによって熱負荷の低減にも寄与していることがわかる。

### 3.3 昼光利用による熱負荷・照明電力量への効果

以降、ペリメータゾーン単位床面積あたりの年間照明電力量 kWh/m<sup>2</sup>/年、空調時間帯年間平均照明出力率および年間暖冷房負荷 MJ/m<sup>2</sup>/年の計算結果を示す。グラフ内の照明電力と熱負荷の数値軸は空調 COP を 1.6 と想定した場合での 1 次エネルギー換算量が等価となる設定としており、電力量と熱負荷の合計がエネルギー量比較の目安となる。以下、全てのグラフについて同様である。

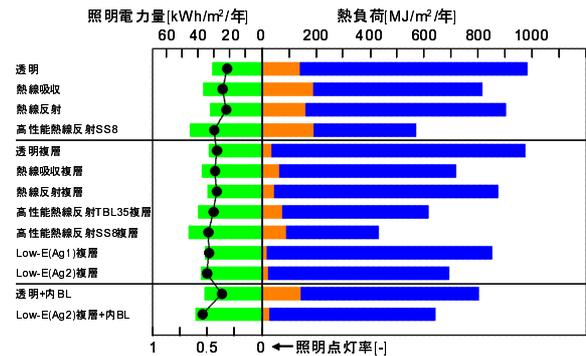
#### (1) ガラス種類による比較

図5に、ガラス種類(単板・複層)およびブラインド有無別の比較結果を示す。主方位は(a)西面(b)南面(c)北面とし、窓面積率は90%、ブラインドありのときにはブラインド自動制御とした。

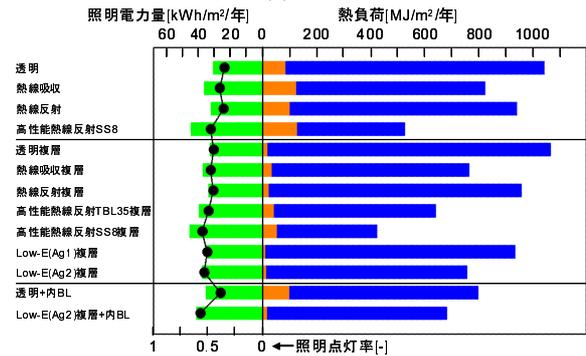
まず、照明電力量については、可視光透過率の低い高性能熱線反射ガラスで大きくなるが、その他のガラス品種ではブラインドを用いた場合には、ブラインド自動制御によって適切日射を遮蔽して熱負荷を低減しつつもブラインドなしの場合と同等の照明電力量・照明出力率に抑えられていることが分かる。

暖冷房負荷については、いずれのガラス品種も南面において冷房負荷が大きな割合を占めている。単板と複層を比較すると、複層の方が冷房負荷が増大するが、暖冷房負荷の合計では南面の一部を除いて単板ガラスよりも複層ガラスの方が小さい。中でも、高性能熱線反射複層ガラスおよびLow-E複層ガラスは暖冷房負荷を最も小さくできる。さらに、ブラインドを用いることで暖冷房負荷が抑えられている。しかしながら、高性能熱線反射ガラスは可視光透過率が低いため照明電力量が他と比べて突出しており、昼光利用には適していないといえる。

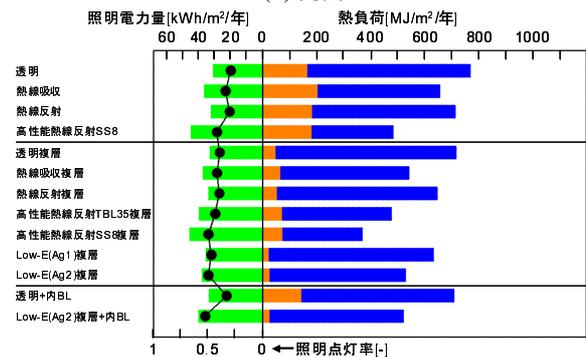
北面は直射が当たらない時間帯が他方位と比較して長くブラインドを巻き上げた状態が多いため、昼光利用効果が他方位より大きい。暖房負荷が他方位より卓越しており、特に熱貫流率が大きい単板ガラスにおいては暖房負荷が大きくなっている。



(a) 西面

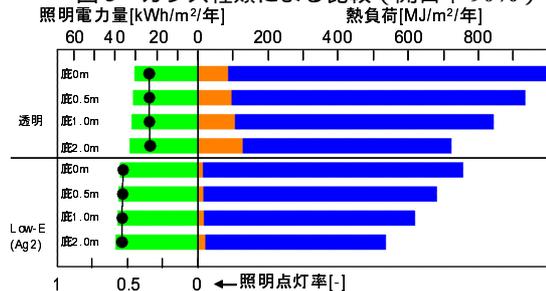


(b) 南面

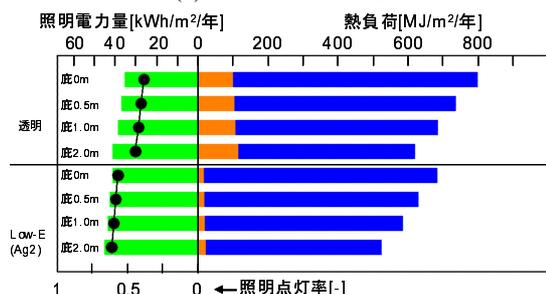


(c) 北面

図5 ガラス種類による比較(開口率90%)



(a) ブラインドなし



(b) ブラインドあり(自動制御)

図6 庇による比較(南面・開口率90%)

## (2) 庇による比較

図6は庇による比較をガラス種類およびブラインド有無別に行った結果である。ここでは庇による効果が有意であった南面の結果について示している。庇が長くなると若干の暖房負荷増大を伴うものの、冷房負荷を大幅に低減できることがわかる。その一方で、照明電力量は殆ど増大していないことから、庇は昼光利用効果を損なうことなく熱負荷低減を期待できる。

## (3) ブラインド制御による比較

図7はブラインド制御有無による比較を開口率およびガラス種類別に行った結果である。全閉固定に対して、水平固定および自動制御は照明電力量・熱負荷が低減されていることがわかる。ここで、水平固定の場合は直射光が室内に直接透過する時間帯が発生するのに対して、自動制御下では直射光を時々刻々適切に遮蔽しつつ同等のエネルギー性能を得ることが可能となっている。

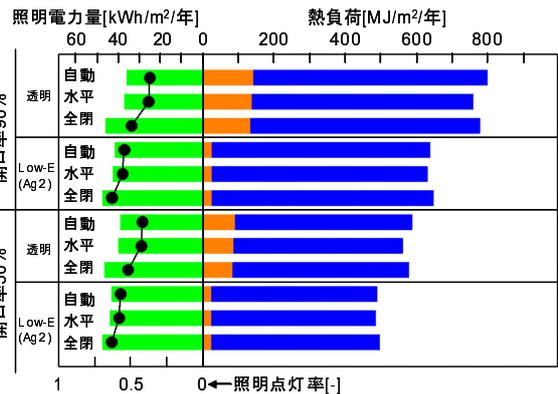
また、西面透明ガラスの場合に水平・全閉固定よりも自動の方が若干熱負荷が大きくなる傾向が見られるが、これは自動制御時は午前中にブラインドを巻き上げるので拡散日射の透過日射熱負荷が増えるためである。

## 4 まとめ

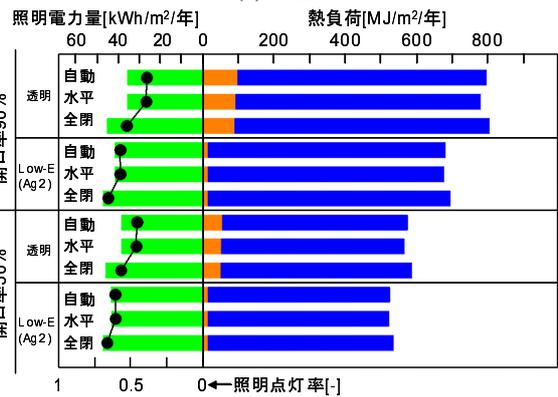
昼光利用効果による熱負荷・照明電力削減の計算および、昼光利用を想定した計算事例として、ガラス種類の比較、外部遮蔽の効果、ブラインド仕様による比較について示した。新たに整備された1分値気象データを利用することによって、変動性を含めた照度環境・昼光利用効果が評価可能となった。調光照明は比較的容易に導入可能でありながら、直接の照明電力量削減と間接的な熱負荷低減の相乗的な省エネルギー効果が期待でき、BESTを用いることによって様々な窓仕様に対して熱と光を連成した試算が可能である。

### 【記号】

$E_{Daylight}$ : 昼光照度 [lx],  $E_D$ : 直接照度 [lx],  $E_R$ : 間接照度 [lx],  
 $F_1$ : 窓から下方へ透過する光束量 [lm],  $F_2$ : 窓から上方へ透過する光束量 [lm],  $\tau_F$ : 窓材料の天空光透過率,  $M$ : 窓材料の保守率,  $R$ : 窓面積有効率,  $U_1$ : 天空を見透す投射率,  $\rho_{CC}$ : 庇・サイドフィンの反射率,  $D_{GL}$ : 地面昼光率,  $\rho_{GL}$ : 地面反射率,  $U_{CG}$ : 庇・サイドフィン-地面の投射率,  $U_2$ : 庇・サイドフィンを見透す投射率,  $\delta\omega_1$ : ブラインド透過後の下方光束比,  $\delta\omega_2$ : ブラインド透過後の上方光束比,  $U_{GS}$ : 窓-天空の投射率,  $U_P$ : 窓全体を見る投射率,  $U_A$ : 直射光の当たっている窓面を見る投射率,  $E_S$ : 天空光照度 [lx],  $\tau_D$ : 窓材料の直射光透過率,  $E_{DC}$ : 窓外面の直射光照度 [lx],  $S_{UG}$ : 総窓面積 [m<sup>2</sup>],  $U_{GC}$ : 窓-地面の投射率,  $\rho_1$ : 作業面上向き可視光等価反射率,  $\rho_2$ : 作業面下向き可視光等価反射率,  $S_L$ : 照度計算用作業面面積 [m<sup>2</sup>],  $S_A$ : 日射の当たる窓面積 [m<sup>2</sup>],  $E_{Lamp(i)}$ : 計算点 (i) の照明による照度,  $N$ : 照明ゾーン数,  $\alpha_{(j)}$ : 照明ゾーン (j) の点灯率,  $L$ : 照明輝度 [cd/m<sup>2</sup>],  $\alpha_L$ : 照明器具効率,  $m_L$ : 照明保守率,  $W$ : 照明出力 [W/m<sup>2</sup>],  $\eta_L$ : 照明発光効率 [lm/W],



(a) 西面



(b) 南面

図7 ブラインド制御による比較

### 【謝辞】

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST 開発普及事業研究会(村上周三委員長)」ならびにアーキテクチャ検討部会(坂本雄三部会長)、建築・空調設備作業部会(石野久彌部会長)、ガラス構想WG(石野久彌主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。クラス構想WG名簿(順不同)主査:石野久彌(首都大学東京名誉教授)委員:一ノ瀬雅之(東京理科大学)、内海康雄(宮城高専)、郡公子(宇都宮大学)、長井達夫(東京理科大)、羽山広文(北海道大学)、上田博嗣(大林組)、木下泰斗(日本板硝子)、後藤裕(三機工業)、蒔田英晴(鹿島建設)、芝原崇慶(竹中工務店)、平林啓介(新日本空調)、松村一誠(清水建設)、渡邊剛(NTTファシリティーズ)、協力委員:瀧澤博(元鹿島建設)、官長正光(自営)、二宮博史、國吉敬司、篠原奈緒子(以上、日建設計)、オブザーバー:野原文男(日建設計)事務局:生稻清久(建築環境・省エネルギー機構)

### 【参考文献】

- 1) 松尾、井上ほか: 昼光利用による建築の省エネルギーその1~3、日本建築学会大会学術講演梗概集、1982.10
- 2) 井上ほか: 窓システム及び昼光利用照明制御の組み合わせ制御に関する実証的研究その4、空気調和・衛生工学会学術論文集、pp.1245-1248、1999.9
- 3) 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、2007.3
- 4) HASP-L 利用マニュアル、板硝子協会省エネルギー委員会、日本建築設備士協会、1980
- 5) 石野、郡ほか: オフィスビルの熱性能解析のための BEST シミュレーション、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、2008.8 (投稿中)
- 6) 一ノ瀬、村上、井上、石野、郡、木下: 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その15) 昼光利用および日射遮蔽制御の計算法、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.2025-2028、2007.9
- 7) 一ノ瀬、井上、田宮: 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、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、2008.8 (投稿中)
- 8) Takashi Inoue, Masayuki Ichinose, Naoyoshi Ichikawa, Thermotropic glass with active dimming control for solar shading and daylighting, Energy and Building, Elsevier, pp.385-393, Volume 40, Issue3, 2008