

自然光利用と日射遮蔽を両立する窓システム Window system combining solar shading and utilization of daylight

一ノ瀬雅之¹⁾, 井上隆²⁾

Masayuki Ichinose, Takashi Inoue

1)東京理科大学, 助教, 博士(工学) (千葉県野田市山崎 2641, ichinose@rs.noda.tus.ac.jp)

Tokyo University of Science, Assistant Professor, Dr. Eng.

2)東京理科大学, 教授, 工学博士

Tokyo University of Science, Professor, Dr. Eng.

This paper presents simulation method of effect of daylighting on heat load and electricity consumption of lighting when the window system is equipped in the buildings. The window system includes ventilating air layer, automatic control blind, transmitting selectivity of glazing, and so on. A practicable calculation model for estimating annual heat load and illuminance is verified in validity by comparison of long term actual measurement. The energy-saving performance at the typical office building by utilization of daylight is presented by annual heat load simulation that is coupled with lighting simulation.

自然光利用, 日射遮蔽, 窓システム, ブラインド制御, 調光制御, 空調

Utilization of daylight, Solar shading, Window system, Control of blind, Dimming control, Air conditioning

1. はじめに

建築分野における省エネルギー・CO₂ 排出量削減が喫緊の課題である。オフィスビルにおける照明によるエネルギー消費量は約2~3割程度を占めている¹⁾が、照明機器は室内に放熱を行う熱負荷要素でもあり、照明出力を抑える自然採光による建物全体の省エネルギーへの影響は意外に大きい。

近年の建築物の傾向として、アトリウムのような特殊な建築空間に限らずオフィスビル等においても、外観意匠上の要件に加えて室内視環境・開放感の向上や昼光利用の観点から、開口部を大きくする事例が増えている。ここで、日射遮蔽や熱抵抗に不利な開口面積の増加に対して、快適な室内環境の形成とエネルギー消費量の低減を同時に実現するために、単に空調設備の能力増強に頼るのではなく、エアフロー型窓やダブルスキンなどの外皮性能向上によって空調システムのペリメータレス化を図るなど、建築と設備が一体化した高度なファサードエンジニアリングが導入されるようになってきた。

本報では、自然採光と日射遮蔽を両立する窓システムによる、主にオフィスビルにおける省エネルギー効果のシミュレーションについて、最近の動向を踏まえて述べる。

1-1. 調光照明

自然採光による照明電力・冷房負荷の削減手法として、調光照明システムがある。導入が容易で、安価な連続調光インバーターが出回り、近年広く普及しつつある。HF型蛍光灯の発光効率は100lm/W程度、チップ単体での効率向上がめざましいLEDも注目されているが、オフィス

ビルの照明器具としては実用上の効率はまだ低い。一方で太陽光の発光効率は100~130lm/W程度であり、これに日射遮蔽装置や波長選択性能の高いガラス、さらにエアフロー窓などを介することによって、理論上は170lm/W程度の高い効率を有する照明装置とすることが可能である。そもそも分母の発熱量において、人工照明と異なり自然採光は電力消費を伴わない。

1-2. ブラインド制御

ただし、オフィスビルにおける自然採光では、気象の変化の赴くままに窓から太陽光をとりいれればよいというものではなく、過去の調査研究²⁾によると直射光の室内への侵入は執務環境上許容されないことが明らかになっている。しかし、遮蔽装置の調整は室内の光・視環境を一変させるため、大部屋のオフィスにおいては手動調整を行いづらく、終日全閉放置とされる場合が多い。こうなると自然採光は得られず、そもそも眺望性や外界の変化を伝えるという窓本来の役割も果たすことができない。従って、自然採光においては日射の遮蔽と昼光利用を両立させることが要である。それを実現させる方法として、気象状況に応じてブラインドを自動制御するシステムが提案され³⁾、窓システムに内蔵されるケースが多くなっており、本格的な普及に向けた規格化が行われている⁴⁾。

1-3. 窓システムのシミュレーション

エアフロー型窓やダブルスキンなどの窓システムの熱性能について、熱負荷計算を前提とした年間計算手法は既に確立されている一方で、光については年間計算を前提とした計算手法はあまり見られない。CGのような輝

度シミュレーションについては、精度が高い計算法が多数提案されているが、年間計算は事実上不可能である。

窓システムによる省エネルギー効果を評価するためには、熱と光の同時評価が必要不可欠であり、HASP/ACLD/8001をベースとして、昼光利用計算を加えたHASP-Lが開発され⁵⁾、その後、本研究室で、連続調光・ブラインド制御といった機器への対応するための改良を行ってきた。BESTにおいても、これらの熱と光の連成計算を組み込んでおり、窓システムによる省エネルギー効果を実態に即した評価が行えるようになっている⁶⁾。

2. 窓システムの熱・光性能の現場測定法による窓の年間計算モデルの検証⁷⁾

2-1. 現場測定法の概要

筆者らは、図1に示す、実際に建物に導入された実使用状況下で、窓システムの光学特性および窓面流入熱量を、伝達率などの想定を行うことなく直接に計測可能な方法を開発した。これらを用いて、都心部のオフィスの西方位窓面にて長期連続的に実測を行い、既往の窓の熱・光の年間計算モデル⁸⁾⁹⁾との比較検証を行った。

2-2. ブラインド制御下における透過光束

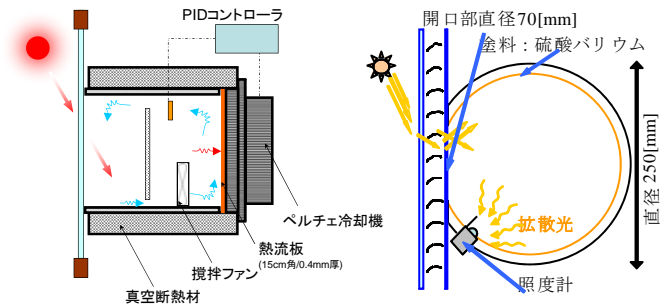
自然採光においては日射の遮蔽と昼光利用を両立させることが要である。それを実現させる方法として、気象状況に応じてブラインドを自動制御するシステムが提案され、窓システムに内蔵されるケースが多くなっている。

図2に中間季晴天代表日におけるブラインド内蔵窓の透過光束および光束上下比を気象状況と併せて示す。光束量について見ると、スラットが水平状態になっている正午前後と比較して、自動的にスラットが被る13時以降は直接日光として寄与する下向き光束量が大幅に減少するが、間接的に寄与する上向き光束量は確保されている。また、光束上向き比は、スラット角の変化と共に大きく変化しており、ブラインド併用窓での昼光利用効果の評価においては入射角特性に伴う透過光束量に加えて透過指向性を考慮する必要がある。

2-3. 窓システムの熱取得

図3に透過光束量の時間変動について、実測値と計算値を比較した結果を示す。晴天日における計算値と実測値は同様な時刻変動性を示している。曇天日では実測値に比べてやや高い値で推移するものの、変動性は概ね再現されている。

熱取得について実測値と計算値の比較を行った結果を図4に示す。非常計算値と実測値を比較すると、日射量が小さい午前および日没近くの時間帯では、実測値との差が大きいが、日射が安定している時間帯は取得熱量、時刻変動性ともに同様の推移を示した。図5に示す天候別の長期比較結果によると、日射量が安定している晴天日には比較的良好な相関性を得た。貫流熱量・熱貫流率を比較した図6においても良好な結果を得た。



(a) ペルチェ冷却器を利用した熱取得測定装置 (b) 積分球を応用した透過日射測定装置

図1 窓の熱・光性能の現場測定装置 断面模式図

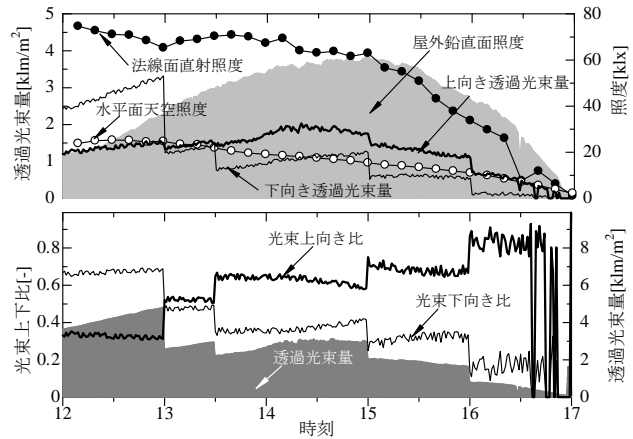


図2 自動制御ブラインド内蔵窓における透過光束の時刻変動(晴天 2006.10/10)

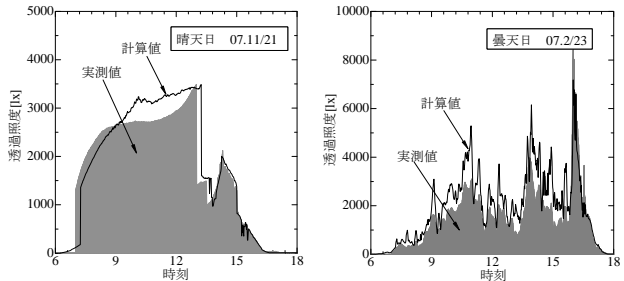


図3 透過光束量の実測値と計算値の時刻変動比較

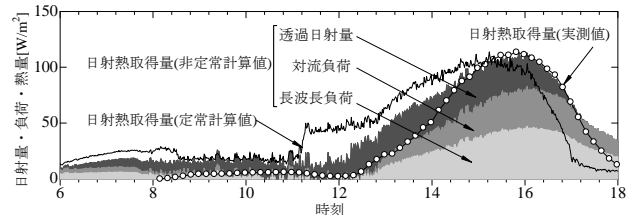


図4 窓面熱取得の時間変動(晴天 2008.10/2)

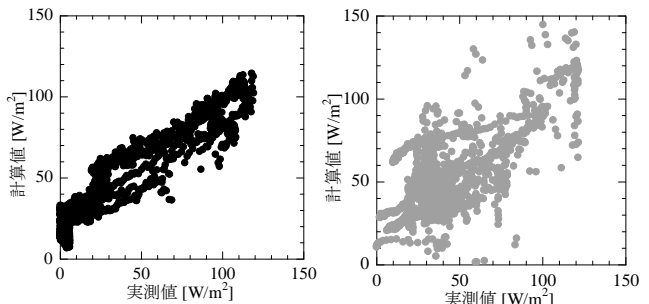


図5 熱取得の実測値と計算値の比較(2008.9~12)

3. 窓性能の変動特性

3-1. 窓内通気量・スラット角が熱性能値に与える影響

図7(a)はAFWの各検討仕様において窓内通気量が各熱性能値に与える影響を示したものである。いずれの仕様においても、通気量の増大とともに断熱・日射遮蔽性能は向上するが、変化量は徐々に減少する。複層ガラスを用いていない仕様でもある程度の通気で十分に高い断熱効果を発揮する。また、Low-Eガラスを用いた場合、少ない通気で非常に高い日射遮蔽効果を示すことが確認できる。図7(b)はブラインドスラットを自動制御・45°固定・全閉固定にした場合の日射熱取得率・発光効率を示している。ブラインドを自動制御する場合、直達日射は遮蔽されるが、拡散日射が侵入するため、スラット角度を固定した場合よりも日射熱取得率は高くなり熱的にやや劣るが、発光効率は高い値で推移することから、昼光利用効果も含めて評価するとブラインドの自動制御は非常に有効であると考えられる。

3-2. 窓面熱負荷および放射環境評価

図8にAFWと内BL窓[Low-E+灰BL]の窓面熱負荷の月変動を示す。日射遮蔽性能の高いLow-Eガラスを用いた場合、日射遮蔽性能においてはAFWと大きな差は見られないが、内訳に着目すると、透過日射量が小さいため、日光を効果的に室内に取り込むという点ではやや劣る。貫流熱量を比較すると、特に冬期においてAFWの流出熱量が半分程度であることから、断熱性能においては大きな違いが見られる。図9に示す計算地点で窓面によって上昇する作用温度を算出し、放射環境の評価を行った。結果を図10に示す。外側にLow-Eガラスを用いた仕様では、作用温度の上昇は小さい。AFW・DSにおいても、良好な温熱環境であることが確認できる。

3-3. 窓面透過光束の発光効率の変化

昼光利用効果に影響する光束の透過性能を評価するため、窓面透過光束量を窓面取得熱量で除した値を発光効率と定義して、自動制御ブラインドを内蔵したAFWを想定して、西方位の夏期晴天代表日における日変動について、複数の窓仕様を比較計算した結果を図11に示す。

直達日射のない時間帯においては、発光効率の高い天空光が卓越するため、いずれの窓仕様においても発光効率が100lm/W以上で推移している。それに対して、直射光が当たる時間帯では、ブラインド制御により直射光を遮るようにスラット角が深くなっていき天空光の透過量が少なくなるため、発光効率は減少していく。[Low-E+灰BL+FL]、[FL+Film+灰BL+FL]の発光効率が高い結果となったのは、Low-Eガラスが有する波長選択透過性能によって、近赤外の日射熱を遮断しつつも照度に寄与する可視光を効率的に透過させているためである。また、直射が当たる時間帯においても、[FL+白BL+FL]の発光効率は比較的高いことから、スラット色を白色にすることによって、昼光利用効果を一層高めることが可能である。

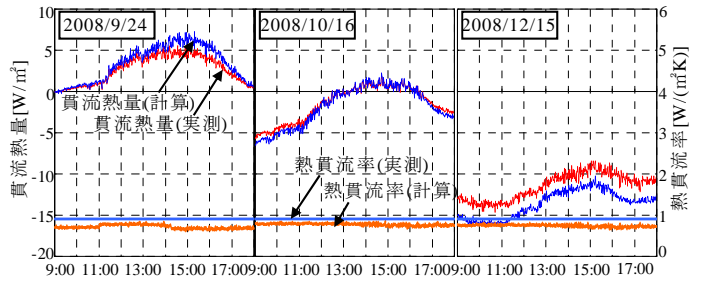
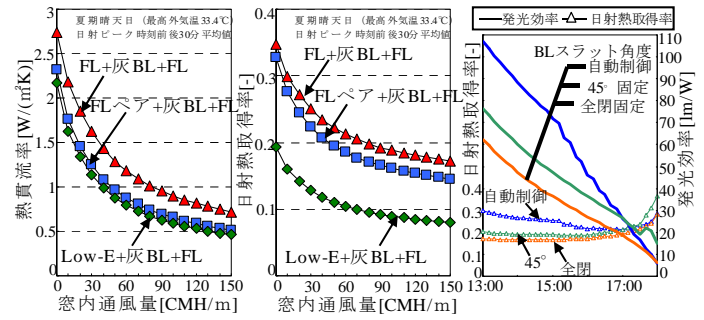


図6 貫流熱量・熱貫流率の比較



(a) 窓通風量 (b) BLスラット角度

図7 AFWにおける窓状態による熱性能値への影響

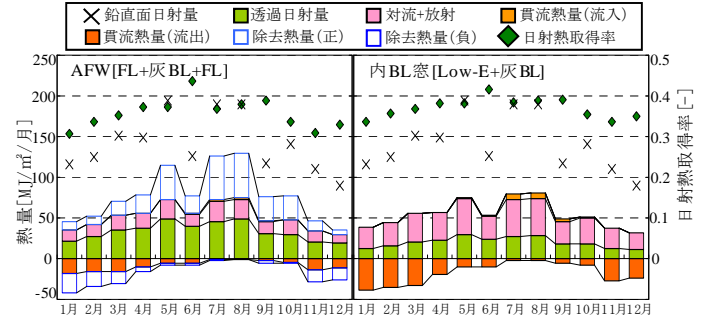


図8 窓面熱負荷月変動 (AFW, Low-E+BL)

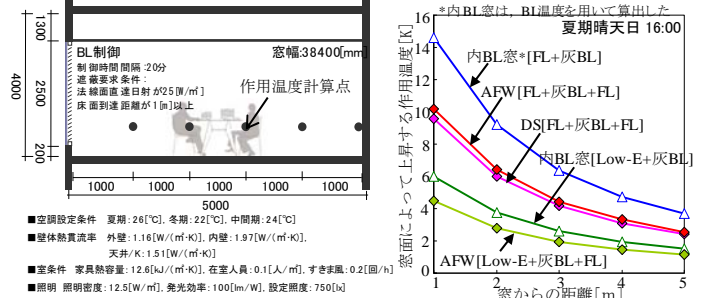


図9 計算室モデル断面模式図

図10 作用温度への影響

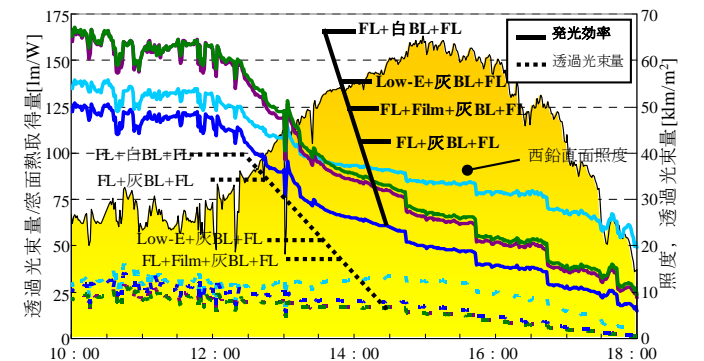


図11 AFWにおける発光効率の時刻変動

4. 年間エネルギー評価

4.1 計算条件

計算対象建物モデルおよび計算条件の一覧を図 12 に示す。評価対象は南方位ペリメータゾーンとした。気象データは東京 2006 年 1 分値実測データを使用している。窓面積と外壁面積については合計表面積を変更せずに窓面積率を 0.3~92.5% まで変化させた¹⁰⁾。ガラス種類については表 1 に示す熱・光性能を有する 5 種類を検討対象としており、ブラインドスラットは明色、ブラインドは直射光を適切に遮蔽する自動制御とした。照明は主方位窓面から奥方向に 1.5m 間隔で配置し、調光制御時は床面高さ 75cm の机上面照度を 750lx 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を反映させた。直射光の間接照度は昼光照度に反映している。

4.2 ブラインド・調光制御有無による影響

図 13 に、透明単板ガラスの仕様における、ブラインドの有無および調光制御の有無による熱負荷、照明電力量の変化を比較した結果を示す。一次エネルギーは空調・照明電力消費量から簡易的に換算した。暖房負荷に大きな差は見られないが、冷房負荷においてはブラインドが無い場合の増大傾向が強くなる。調光の有無による差は照明電力の削減によって生じている。照明電力量をみると、調光制御を行った場合は窓面積の拡大とともに電力量が低減する傾向にあるが、開口率 40% の付近で収束している。ブラインドの有無では電力量の変化に大きな影響はないことから、ブラインド制御を導入する場合は昼光利用効果を損なわずに直射光の遮蔽が実現できる。結果として、1 次エネルギーでは調光を行わないケースは最もエネルギー消費量が多いことが示されている。また、自動制御を行うブラインドの効果はガラス面積が拡大するにつれて大きくなっている。

4.3 ガラス種類による影響

図 14 に、自動制御ブラインドを併用した窓における、ガラス種類による比較を行った結果を示す。暖房負荷は遮蔽性能が高い高性能熱反の 2 種類が窓面積の拡大に伴う増大傾向を示している。冷房負荷においては、高性能熱反が最も窓面積の拡大による影響が小さい。その他は、透明単板、透明複層、Low-E 複層の順番である。照明電力量では、可視光透過率が最も低い高性能熱反 SS8 は、窓面積を拡大させても殆ど昼光利用効果を得られていないことがわかる。その他のガラスでは昼光利用効果を得られるが、電力量の低減程度は若干異なっている。1 次エネルギーで比較すると、各ガラスが有する可視光透過および熱性能によって、窓面積率の拡大に対する変化傾向が大幅に異なっている様子がわかる。可視光を殆ど透過しない高性能熱反は窓面積が拡大しても殆ど増減がみられない。熱性能が低い透明単板においては、開口率 20% 程度までは昼光利用効果でエネルギーが削減される

が、それ以降は熱取得が卓越して急な増大となる。高い可視光透過性能と日射遮蔽性能・断熱性能を有する Low-E ガラスは、開口率 40% までエネルギーは低下し、それ以降は緩やかな増加に抑えられている。

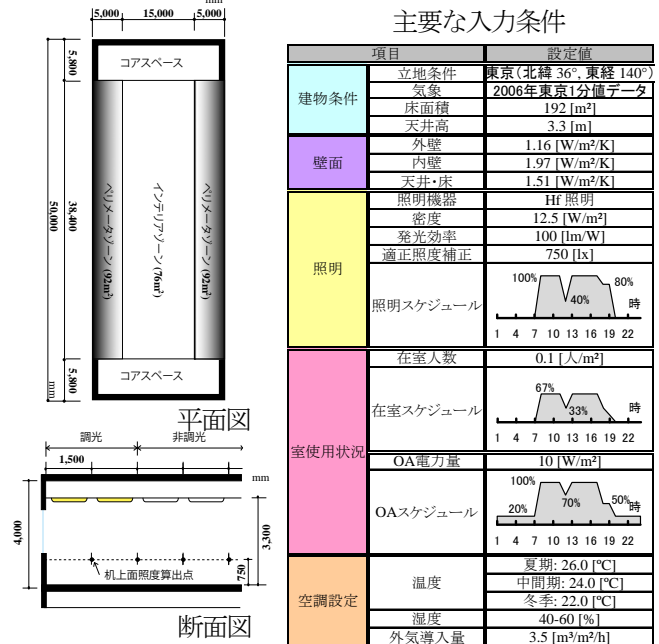


図 12 計算対象オフィスおよび入力条件の概要

表 1 検討対象ガラス性能値

	可視光特性		熱性能	
	[-]	[-]	[W/mK]	[-]
透明	透過率	反射率	熱貫流率	日射熱取得率
透明複層	0.88	0.08	5.8	0.82
高性能熱反(SS8)	0.79	0.15	2.9	0.73
Low-E(Ag2)複層	0.08	0.41	4.6	0.22
	0.67	0.12	1.6	0.39

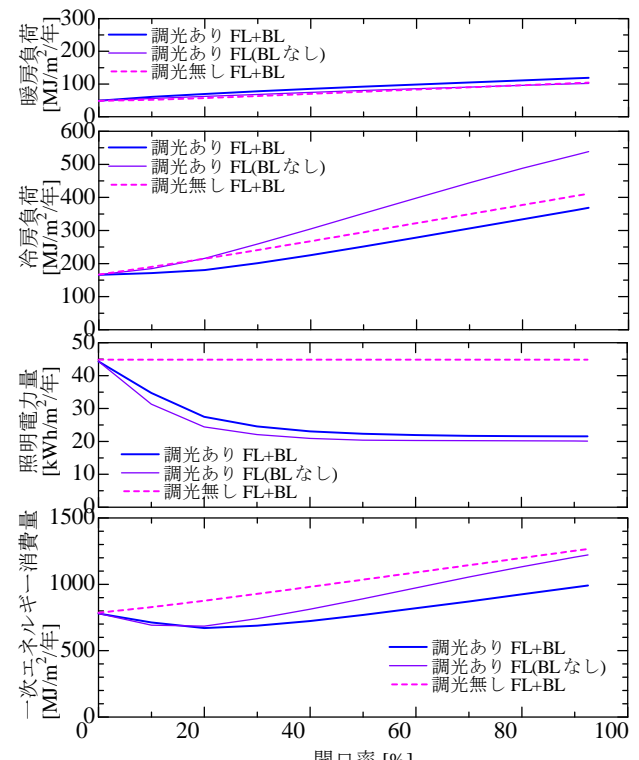


図 13 ブラインド・調光制御の有無による熱負荷・照明電力への影響(透明単板ガラス)

5. まとめ

昼光利用効果による熱負荷・照明電力削減を予測するために、自動制御ブラインドを内蔵した窓システム、ガラスが有する波長選択透過性能、調光照明制御といった要素を反映したシミュレーション手法を示した。実使用状況下における実測との多面的な比較によって、実用的な計算法の精度を実証した。また、昼光利用を想定した計算事例として、ガラス面積の拡大に伴う熱負荷・照明電力量への影響の感度解析について、ブラインドの有無・調光制御の有無、ガラス種類による比較を行った。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ることを明らかにした。

参考文献

- 1) 建築物エネルギー消費量調査報告書, (社)日本ビルエネルギー総合管理技術協会 など
- 2) 井上隆, 松尾陽: 日射遮蔽装置の使用実態に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.378, pp.10-18, 1987.8
- 3) 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, 2009 年 12 月(掲載決定)
- 4) SHASE-M-1008-2009 「省エネルギーと快適な熱・光環境の両立を図る自動制御ブラインドの仕様と解説」
- 5) 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
- 6) 一ノ瀬雅之, 村上周三, 井上隆, 石野久彌, 郡公子, 木下泰斗, 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48) 昼光利用効果の感度解析, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.675-678, 2009 年 9 月
- 7) 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 年 7 月
- 8) 郡公子, 石野久彌: 熱負荷計算のための窓性能値に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No.600, pp.39-44, 2006 年 2 月
- 9) 石野久彌, 伊藤直明, 須永修通, 三浦満雄: 開口部の熱遮断機構に関する研究(第 1 報) ブラインドの熱遮断特性の基礎理論, 空気調和・衛生工学会学術論文集, pp.393-396, 1982 年 10 月
- 10) 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

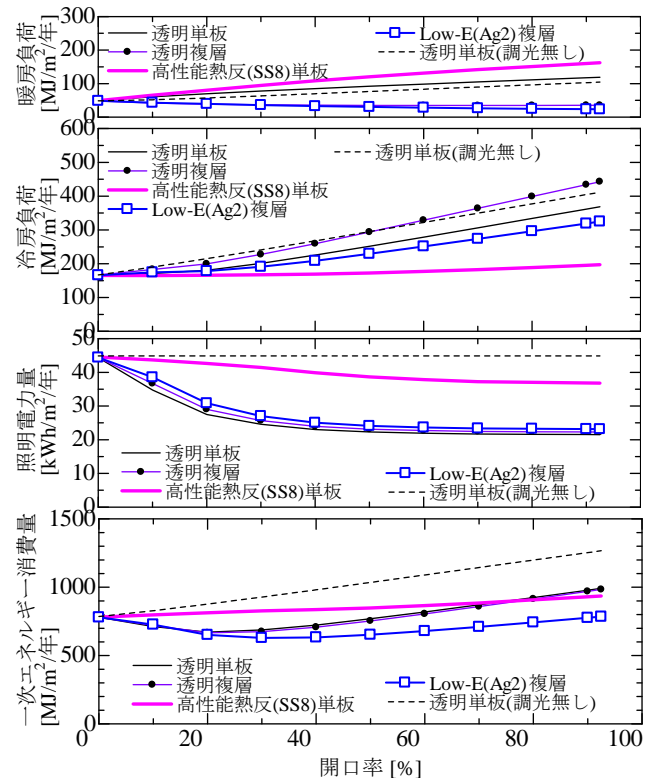


図 14 ガラス種別の開口率の拡大による熱負荷・照明電力への影響(南面, ブラインド自動制御・調光あり)