

オフィスビルにおける省エネルギーを目的とした 昼光利用と高性能窓システムの経済性評価

Economic evaluation of daylighting systems and high-performance windows
aiming for energy savings of office buildings

宮崎 隆彦 *1
Takahiko MIYAZAKI

秋澤 淳 *2
Atsushi AKISAWA

柏木 孝夫 *3
Takao KASHIWAGI

Abstract

The research investigated a building featured with daylighting and lighting control systems. The purposes of the study were to examine the potential of energy saving by daylighting, and to assess the daylighting and lighting control system from an economic aspect. The effects of high-performance windows, such as the double glazing with low-E glass, tinted glass, or reflective glass, were also evaluated. The results showed that the reduction of the annual electricity consumption of the building was by about 19% due to the daylighting and lighting control. In contrast, the reduction was by about 2% due to the high-performance windows. The economic evaluation revealed that the double glazing with reflective glass and no lighting control achieved the highest internal rate of return. While, the single glazing with clear glass achieved the highest internal rate of return when the lighting control system was installed. It was also shown that the combination of the double glazing with reflective glass for the west-facing windows and the single glazing with clear glass for the other windows improved the internal rate of return in the case of lighting control.

キーワード：昼光利用, 調光制御, 窓, オフィスビル, 省エネルギー

Key Words: Daylighting, Lighting control, Window, Office building, Energy saving

1. 緒言

建築における太陽エネルギー利用技術は多様である。太陽光発電, 太陽熱温水器, さらにパッシブ暖房などは住宅での利用が進んでいる。しかしオフィスビルディングでの利用となると, それら全てが省エネルギーの観点からみて効果的であるわけではない。例えば, オフィスビルにおける給湯需要は電力需要, 冷暖房需要と比較すると相対的に小さいので, 太陽熱温水器の効果は大きくない。またビルのオートメーション化が進むにつれて, OA 機器の発熱による熱負荷が増え冷暖房需要が大きくなっている。そのようなビルではパッシブ暖房による省エネルギー量は限られている。

昼光利用は, オフィスビルの省エネルギーに大きく貢献できる技術の一つである。典型的なオフィスビルの一次エネルギー消費のうち, 約三分の一は照明によるエネルギー消費であるといわれている¹⁾。昼光利用と照明の調光制御の組み

合わせによる省エネルギーポテンシャルは大きいといえる。照明の出力をさげるとは, 電力消費そのものの削減に貢献するだけでなく, 照明の発熱による冷房負荷の低減にもつながる。

建築における昼光利用に関しては, 昼光照度データの整備²⁾, 室内照度の予測モデル³⁾, さらに照明の調光制御⁴⁾など広く検討されてきた。Ullah は IDMP (国際昼光測定プログラム) のデータに基づき, ペリメータゾーンで要求される照度の 82~86% が昼光により代替可能であると述べている⁵⁾。Bodart らはオフィスビルにおける昼光利用による省エネルギー量をシミュレーションにより推算し, 約 40% の省エネルギーが可能であることを示した⁶⁾。国内では, 日よけ, 窓ガラスの種類, 調光方式の影響に関してシミュレーションによる検討が報告されている⁷⁾。

このように, 昼光利用によるオフィスビルの省エネルギーは大きく期待されており, 連続調光による照明の制御は既に実用化されている。そこで本研究では, 省エネルギーを目的とした昼光利用システムの導入について経済面から考察をした。特に, 高性能窓ガラスとの併用による昼光利用への影響,

*1 東京農工大学大学院生物システム応用科学教育部学生 (〒184-8588 小金井市中町2-24-16) e-mail: tmiyazak@cc.tuat.ac.jp

*2 東京農工大学大学院生物システム応用科学教育部助教授

*3 東京農工大学大学院生物システム応用科学教育部教授

(原稿受付: 2004年12月20日)

および省エネルギーを達成し、なおかつ経済的メリットを向上させる窓の選択について検討した。

2. ビルディングのエネルギーシミュレーション

ビルディングの冷暖房負荷、昼光利用による照明の調光制御、そしてビル全体の電力消費量は米国エネルギー省の開発したソフトウェア“EnergyPlus⁸⁾”を用いて計算した。EnergyPlusでは、冷暖房負荷をヒートバランス法⁹⁾により計算している。その計算結果はベンチマークテスト¹⁰⁾や実測値との比較¹¹⁾により検証されている。また著者らは、EnergyPlus用の東京の気象ファイルを用いてオフィスビルの冷暖房負荷を計算し、文献値との比較によりその有効性を確認した¹²⁾。

2.1 建物モデル

(1) **ビルディングの形状** 典型的なオフィスビルディングの例として、日本建築学会のオフィス用標準問題¹³⁾を参考にビルの形状および在室人員数、照明等内部発熱の設定値を決定した。Fig. 1 に基準階平面図を示す。基準階は、北東・北西・南東・南西のそれぞれの方位に位置する4つのオフィスゾーンと、エレベータや階段、トイレなどを含むコアゾーンとから構成される。基準階のみをモデル化し、計算された負荷を8倍することにより8階建てビルの負荷を得た。各階の高さは3.6 m、建物の延床面積は6,336 m²である。

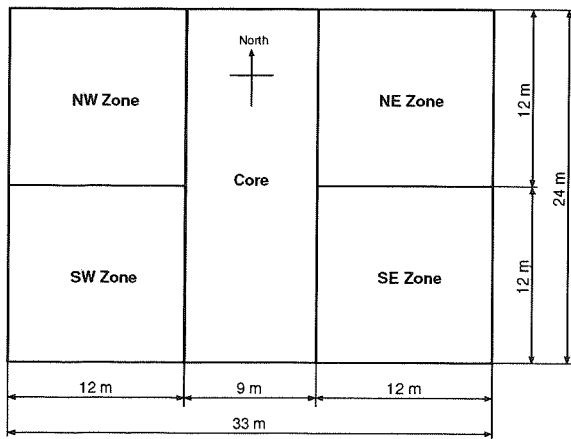


Fig. 1 A plane figure of the standard floor.

(2) **高性能窓システム** オフィスゾーンの外壁には窓がついており、その面積は外壁の30%を占める。窓の種類は、単層透明ガラス窓 (Single glazing, clear glass)、複層透明ガラス窓 (Double glazing, clear glass)、複層 Low-E ガラス窓 (Double glazing, low-E glass)、複層熱線吸収ガラス窓 (Double glazing, tinted glass)、および複層熱線反射ガラス窓 (Double glazing, reflective glass) の5種類について比較を行った。Low-E ガラス、熱線吸収ガラス、熱線反射ガラスはそれぞれ複層ガラスの屋外側についている。室内側は透明ガラスとした。一枚のガラスの厚さは全て6 mmとし、複層ガラスの場合には空気層の厚さを6 mmとした。

Table 1 に窓の性能を示す。これらの値は窓の性能解析ソフトウェア“WINDOW¹⁴⁾”より得た。SC (遮蔽係数) は、3 mm の透明フロートガラスの場合を1として、相対的な日射エネルギーの透過率を表す。U-value は、窓を通して室内の空気温度から環境温度まで熱移動をする場合の熱通過率を表す。 T_{vis} は可視光透過率である。遮蔽係数が大きいと日射取得量が多くなるので、夏期には冷房負荷増大の原因となる。反対に、冬期には暖房負荷を減少できる。窓の伝熱による熱損失を少なくするためには、U-value が小さい方が望ましい。昼光利用を行うためには、可視光透過率が高い方が良い。

複層ガラスは単層ガラスよりもU-value が小さいので、断熱性が向上する。さらに、熱線吸収ガラス、熱線反射ガラスは遮蔽係数が小さく、夏期の日射熱取得を削減する効果も得られる。Low-E ガラスは、透明ガラスよりも遮蔽係数は小さいが、可視光透過率は比較的大きい。これは夏期の日射熱取得を抑え、なおかつ昼光利用に不利にならないという好ましい特性である。

Table 1 The properties of the glazings

| Glazing type | SC | U-value [W/(m ² ·K)] | T_{vis} |
|--------------------|------|------------------------------------|-----------|
| Single, clear | 0.94 | 5.82 | 0.89 |
| Double, clear | 0.81 | 3.11 | 0.79 |
| Double, low-E | 0.60 | 2.44 | 0.73 |
| Double, tinted | 0.53 | 3.11 | 0.40 |
| Double, reflective | 0.26 | 3.12 | 0.23 |

2.2 昼光利用および調光制御モデル

昼光利用は EnergyPlus に含まれる DELight モジュールにより計算した。このモデルでは各室に照度の参照点を決め、そこで要求される照度を設定する。昼光利用が全く不可能な場合の照明出力を100%とし、昼光により参照点における照度があがっていくとそれに応じて照明出力が低減される。本研究では、照明は100%~25%まで連続的に制御可能であるものとした。

コア部を除く4つのオフィスゾーンにそれぞれ4点の参照点を設定した。オフィスゾーン内の参照点位置を Fig. 2 に示す。参照点での要求照度は全て750lxとした。各参照点は、その部屋の四分の一のアンビエント照明を制御する。タスク照明は昼光利用による調光はされない。室内のアンビエント照明は17.8W/m²、タスク照明は2.2W/m²とし、冷暖房負荷に対しては合計20W/m²が照明の発熱負荷となる。

2.3 空調システム

空調は各階に個別に設置されたパッケージエアコンディショナーによりなされるものとした。定格時の成績係数 (COP) は、冷房 COP が3.3、暖房 COP が4.3である。部分負荷特性は、EnergyPlus のサンプルファイルのものを用いた。

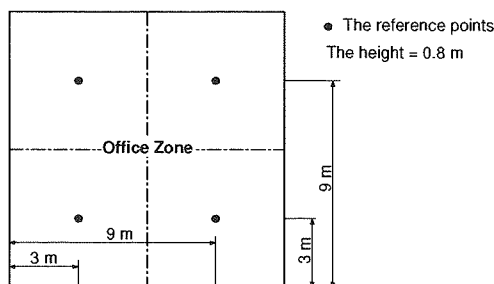


Fig. 2 The reference points for illuminance calculation of an office zone.

2.4 その他動力負荷

通常のオフィスビルでは、エレベータ動力や衛生設備のポンプ動力等が一次エネルギー使用量の約 20% を占める。それらの動力負荷として、年間 60MJ/m² の電力消費を計算に含めた。この負荷は現実的には各時間毎に変動しているが、ビル全体の電力消費からみると小さいので 8760 時間の平均値として各時間に与えた。

3. 正味現在価値と内部収益率

本研究では、高性能窓ガラスおよび昼光利用システムを導入することのメリットを正味現在価値 (NPV) と内部収益率 (IRR) を用いて評価した。NPV とは、プロジェクトの各年におけるキャッシュフローを現在価値に換算して合計し、そこから初期投資額を引いたものである。NPV が正のとき、そのプロジェクトは利益を生むことになる。期間 n 年間の NPV は以下の式で表すことができる。

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r/100)^i} - I_0 \quad (1)$$

ここで、 C_i は i 年度におけるキャッシュフロー、 r は割引率 [%]、 I_0 は初期投資額である。

今回は、単層透明ガラス窓で照明制御を行わない場合を基準ケースとし、それと比較した場合のエネルギーコスト削減額を得られる利益と考えた。基準ケースと比較ケースとでメンテナンスコストの差は大きくないと考え、NPV の計算にメンテナンスコストは含めていない。初期投資額は、比較対象となる窓と単層透明ガラス窓とのコストの差額、照度センサーのコスト、通常の照明器具と調光可能な照明器具とのコストの差額、そしてパッケージエアコンディショナー本体のコストとした。冷暖房負荷の削減によりパッケージエアコンディショナーの容量を小さくすることができ、機器コストの削減につながる。これによる利益を初期投資額の削減として評価した。

IRR は、NPV が 0 になる場合の割引率である。実際の割引率が IRR よりも小さいとき、NPV は正となりプロジェクトは利益を生む。また、IRR が大きいほど収益率の大きいプロジェクトであるといえる。本研究では、各ケースの経済性を IRR により比較した。

4. コストデータ

Table 2 および 3 にコストデータを示す。窓ガラスのコストは「積算資料」およびメーカーへの問い合わせにより決定した。照度センサーおよび調光用照明器具はメーカーの販売価格から類推した。調光用照明器具は、一般的な照明器具よりも一万円高くなると仮定した。照明制御は、BEMS (Building and Energy Management System) による中央制御となる場合もあり得る。その場合、導入にかかる費用は中央制御システム全体の費用となるが、BEMS は照明制御のみを目的とするわけではないため今回の計算には含まなかった。各オフィスゾーンに照度センサーが 4 台、照明器具 (40W×2) が 32 台ついているものとする。パッケージエアコンディショナーのコストは、「積算資料」から冷房容量 1kW 当たりの単価を近似的に求めた。エネルギーコストとしては電力のみを考慮し、東京電力 (株) の業務用電力料金を用いた。

Table 2 The costs of the systems

| | Price | Unit |
|-------------------------|---------|--------------------|
| <i>Glazings</i> | | |
| Single, clear | 1,580 | yen/m ² |
| Double, clear | 7,360 | yen/m ² |
| Double, low-E | 36,100 | yen/m ² |
| Double, tinted | 8,000 | yen/m ² |
| Double, reflective | 14,100 | yen/m ² |
| <i>Lighting control</i> | | |
| Illuminance sensors | 20,000 | yen/piece |
| Controllable lights | +10,000 | yen/set |
| <i>Air-conditioner</i> | | |
| Package air conditioner | 45,908 | yen/kW |

Table 3 The prices of electricity

| | Season | Price | Unit |
|---------------|--------|-------|---------|
| Demand charge | | 1,560 | yen/kW |
| Energy charge | Summer | 11.08 | yen/kWh |
| | Other | 10.07 | yen/kWh |

5. 結果

5.1 省エネルギー性の比較

Fig. 3 にパッケージエアコンディショナーの年間電力消費を示す。調光制御をする場合としない場合とが、それぞれ暖房期と冷房期の電力消費に分けて表されている。

5 種類すべての窓において、調光制御により暖房期の電力消費は増加しているが、冷房期の電力消費は減少している。これは、調光制御により照明の発熱負荷が小さくなったためである。暖房の増加よりも冷房の減少の方が割合が大きく、合計では年間電力消費量は減少している。

各窓の種類において、調光制御の効果による年間電力消費の削減割合は異なっている。複層熱線反射ガラス窓の場合に

は調光制御の効果が最も小さく、調光制御をしない複層熱線反射ガラス窓の場合と比較して4.6%の削減であった。これは、複層熱線反射ガラス窓は可視光透過率が低いため、昼光利用の効果が小さいことを示している。

窓の種類で比較すると、調光制御なしの場合には複層熱線反射ガラス窓が最もパッケージエアコンディショナーの電力消費を小さくできる。冷房負荷削減の効果が大きいためである。調光制御ありの場合、複層 Low-E ガラス窓、複層熱線吸収ガラス窓、複層熱線反射ガラス窓の3つがほぼ同程度の電力消費となっている。ただし、冷暖房の割合は異なる。複層 Low-E ガラス窓では冷房の割合が大きく、複層熱線反射ガラス窓では暖房の割合が比較的大きい。

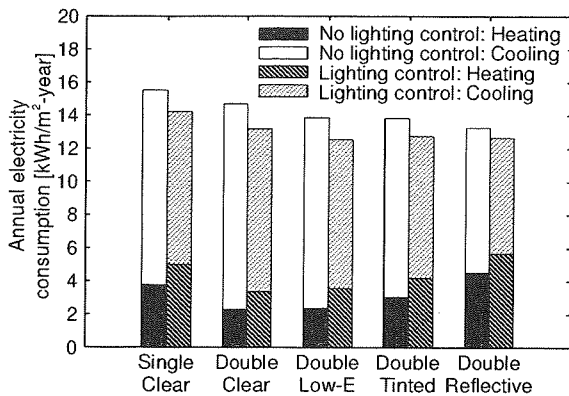


Fig. 3 The annual electricity consumption of the air conditioner.

調光制御なし、単層透明ガラス窓の場合を基準として、ビル全体の電力消費の削減量をそれぞれのケースに対して計算した。Fig. 4 に、各ケースの削減率を示す。

調光制御なしの場合、削減率は平均で約2%程度であるのに対し、調光制御ありの場合には平均で約19%の削減率となった。調光制御の省エネルギー効果は、高性能窓のみで空調の電力消費を削減する場合よりもかなり大きくなる。調光制御は空調の電力消費削減だけでなく、照明の電力消費削減にもなることが理由である。

ビル全体の電力消費でみると、複層 Low-E ガラス窓の場合に最も削減率が高くなった。Low-E ガラスは空調の電力消費削減の効果と同時に、昼光利用による照明の電力消費削減の効果も大きいためである。複層熱線反射ガラス窓は空調の電力消費削減効果は大きいですが、照明の電力消費削減効果が小さいので、ビル全体の電力消費で考えると複層 Low-E ガラス窓よりも削減率が小さい。ただし、調光制御をしない場合には複層熱線反射ガラス窓の削減率が最も大きくなる。

5.2 経済性評価

評価期間を10年、割引率を5%とした場合のNPVをTable 4に示す。複層 Low-E ガラス窓を用いる場合、その省エネルギー効果は大きいにも関わらず調光制御あり、なし両方の場合においてNPVは負の値になる。つまり、10年間では投資分をエネルギーコストの削減で回収できないことを意味する。調光制御なしの場合、複層透明ガラス窓のNPVも負

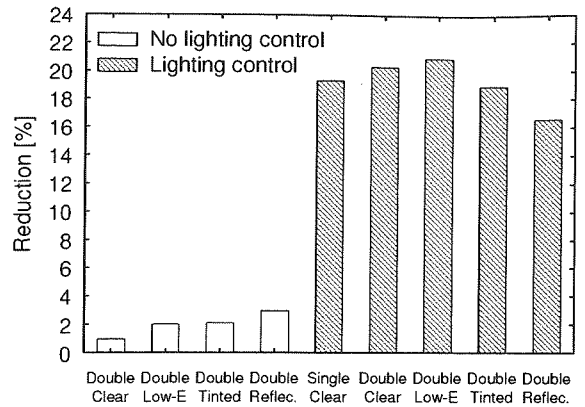


Fig. 4 The reduction of annual total electricity consumption of the building; Compared with single glazing with clear glass and no lighting control.

であった。これは、複層透明ガラス窓の電力消費削減率が小さいためである。

Table 4 The net present values at the discount rate of 5%

| Glazing type | Lighting control | NPV [yen] |
|--------------------|------------------|-------------|
| Double, clear | no | -2,344,920 |
| Double, low-E | no | -21,317,523 |
| Double, tinted | no | 836,409 |
| Double, reflective | no | 3,333,643 |
| Single, clear | yes | 6,661,066 |
| Double, clear | yes | 3,947,978 |
| Double, low-E | yes | -15,887,170 |
| Double, tinted | yes | 5,028,738 |
| Double, reflective | yes | 2,893,591 |

それぞれのケースを比較し、どのシステムが最も経済的メリットがあるかを検討するため、IRRにより比較をした。Table 5にNPVが正となるケースのIRRを示す。

最もIRRが大きいのは、調光制御なしで複層熱線反射ガラス窓の場合であった。複層熱線反射ガラス窓は、年間電力消費の削減に加え、冷房のピーク負荷によって生じる最大電力需要を削減することができ、これが電力量料金および基本料金の削減につながるというメリットがある。この場合、省エネルギー量は調光制御ありの場合と比較して小さいが、調光制御システムに対する追加のコストがかからないので、投資の回収効率が高い。

調光制御ありの中では、単層透明ガラス窓の場合が最もIRRが大きかった。つまり調光制御をする場合には、高性能窓に追加のコストをかけると経済性が悪化することを示唆している。調光制御ありで複層熱線反射ガラス窓の場合には、IRRが最も小さい。これは、複層熱線反射ガラス窓に対しては調光制御の省エネルギー効果が小さいので、経済的メリットも小さいということを示している。

Table 5 The internal rate of returns

| Glazing type | Lighting control | IRR [%] |
|--------------------|------------------|---------|
| Double, tinted | no | 11.3 |
| Double, reflective | no | 20.4 |
| Single, clear | yes | 16.4 |
| Double, clear | yes | 10.3 |
| Double, tinted | yes | 12.2 |
| Double, reflective | yes | 8.9 |

6. 考察

6.1 複層 Low-E ガラス窓のコストダウンの効果

経済性評価の結果から、調光制御システムを導入する場合よりも、複層熱線反射ガラス窓を導入し調光制御は行わない場合の方が経済的メリットが大きいのことがわかった。さらに、調光制御を行う場合には、窓は単層透明ガラスの場合が最も収益率が高いという結果になった。しかしながら、省エネルギー効果を最大化するためには、調光制御を行い、さらに複層 Low-E ガラス窓を導入することが必要となる。そこで、複層 Low-E ガラス窓のコストがどの程度まで下がれば他システムと同等以上の経済性を持つかを調べるために、コストを変化させた場合の NPV と IRR を計算した。Fig. 5 に NPV を、Fig. 6 に IRR を示す。NPV は評価期間を 10 年間、割引率を 5% として計算した。

Fig. 5 より、複層 Low-E ガラス窓のコストが 17,000 円/m² 以下になれば、NPV は正となり 10 年以内に投資分を回収できることがわかる。また Fig. 6 に示すように、12,000 円/m² のときの IRR は 10% であり、複層熱線反射ガラス窓の IRR よりも収益率が上がる。さらに、調光制御なしで複層熱線反射ガラス窓の場合の IRR 20.4% を上回るためには、約 6,000 円/m² 以下までコストダウンする必要があることがわかった。

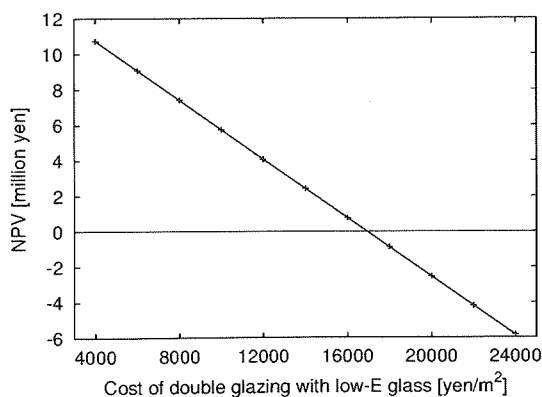


Fig. 5 The net present value at the discount rate of 5% as a function of the cost of double glazing with low-E glass.

6.2 方位に応じた窓システムの選択

これまでの計算は、全ての方位の窓を同じ種類として計算した。しかし、各方位について窓に求められる性能が異なるので、最適な窓システムの組み合わせがあることも考えられ

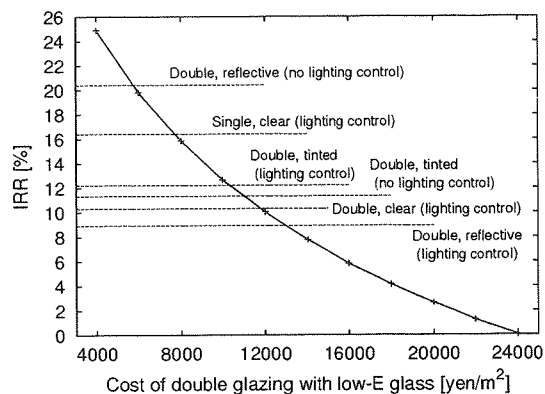


Fig. 6 The internal rate of return as a function of the cost of double glazing with low-E glass.

る。そこで、東西南北のそれぞれの面、東西面のみ、東西南の 3 面に複層熱線反射ガラス窓を設置し、それ以外には単層透明ガラス窓を設置した場合の省エネルギー率と IRR とを計算した。その結果を Table 6 を示す。すべて、調光制御ありの場合になっている。その他の窓と単層透明ガラス窓との組み合わせの場合も計算したが、IRR の改善には至らなかった。

複層熱線反射ガラス窓の割合を多くし、なおかつ IRR を改善するためには、その投資に見合ったエネルギーコストの削減が得られなければならない。今回検討したオフィスビルでは、西側にのみ複層熱線反射ガラス窓を設置し、それ以外の方角は単層透明ガラス窓とした場合に最も IRR が大きくなった。この場合の省エネルギー率は、すべての窓に単層透明ガラス窓を使用する場合とほぼ同程度である。IRR は、ピーク負荷の低減によりエネルギーコストおよびパッケージエアコンディショナーへの初期投資が削減されたために改善した。ただし、昼光利用の低減により照明電力消費が増加したために、省エネルギー率はほとんど変わらなかったと考えられる。

Table 6 The effect of the combination of single, clear glass and double, reflective glass on the energy savings and the internal rate of return

| Window orientation | | | | Energy | IRR |
|--------------------|-------|------|------|------------|------|
| North | South | East | West | Saving [%] | [%] |
| SC | SC | SC | SC | 19.3 | 16.4 |
| DR | SC | SC | SC | 19.4 | 12.7 |
| SC | DR | SC | SC | 19.1 | 13.0 |
| SC | SC | DR | SC | 19.4 | 16.9 |
| SC | SC | SC | DR | 19.2 | 19.1 |
| SC | SC | DR | DR | 19.5 | 17.9 |
| SC | DR | DR | DR | 18.0 | 13.6 |
| DR | DR | DR | DR | 16.6 | 8.9 |

SC = Single, clear glass

DR = Double, reflective glass

高い省エネルギー率を達成し、なおかつ経済性を向上させるには、それぞれの方位で必要とされる性能に応じて窓の

種類を選択することが有効と考えられる。今回は西面に複層熱線反射ガラス窓を用い、その他の方位は単層透明ガラス窓とした場合に高い省エネルギー率を維持したまま IRR が改善したが、最適な組み合わせは個別のビルディングの特性によって異なると思われる。省エネルギーシステムの導入時に、対象となるビルの特性を解析することが必要である。

7. 結言

本研究では、典型的なオフィスビルに高性能窓システムおよび昼光利用システムを導入した場合の効果について、省エネルギー性および経済性から評価をした。以下に、得られた知見を示す。

- 昼光利用システムの導入により、空調に係る年間電力消費を削減できる。複層 Low-E ガラス窓、複層熱線吸収ガラス窓、複層熱線反射ガラス窓の3つは同程度の空調電力消費量となった。
- ビル全体の電力消費に対しては、高性能窓のみを導入する場合よりも昼光利用システムを導入した場合の方が省エネルギー効果大きい。単層透明ガラス窓、調光制御なしの場合と比較すると、高性能窓のみの場合には電力消費の削減率が平均約 2%、調光制御をする場合には削減率が平均約 19% となった。
- 調光制御なしの場合、複層熱線反射ガラス窓が最も削減率が高い。調光制御ありの場合には、複層 Low-E ガラス窓が最も削減率が高い。
- 今回比較したケースのなかでは、内部収益率が最も高いのは昼光利用システムを導入せずに複層熱線反射ガラス窓を導入する場合である。
- 昼光利用システムを導入する場合には、単層透明ガラス窓にした場合が最も内部収益率が高くなる。
- 複層 Low-E ガラス窓は省エネルギー性は良いが、コストが高いために割引率 5% のもとで 10 年間では投資回収ができない。単位面積当たりの単価を 17,000 円以下まで下げることができれば、経済的メリットが生じると思われる。他システムと競争可能にするためには、12,000 円/m² 以下までコストダウンする必要がある。
- 各方位の窓に対して最適な設計をすることにより、高い省エネルギー性と経済性を同時に達成することが可能である。今回検討したオフィスビルでは、西面に複層熱線反射ガラス窓を使用し、その他の方位は単層透明ガラス窓とした場合に高い省エネルギー率を維持したまま内部収益率を改善することができた。

本論文では、高性能窓による冷暖房負荷削減と昼光利用システムによる冷暖房負荷削減とを等価と仮定して評価したが、高性能窓システムはペリメータゾーンのみの負荷削減を目的とする場合が多い。その場合、ペリメータとインテリアで使用される空調システムが異なるため、高性能窓と昼光利用シ

ステムとの同時活用により大きな経済性を持つ可能性もある。そのような複合的な効果については、今後の課題とする。

参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学便覧 第 12 版 Vol. 3, 空気調和衛生工学会 (1995).
- 2) 中村 洋, "IDMP (国際昼光測定プログラム)", 照明学会誌, Vol. 80 (1996), 138-146.
- 3) F. C. Winkelmann, S. Selkowitz, "Daylighting simulation in the DOE-2 building energy analysis program", Energy and Buildings, Vol. 8 (1985), 271-286.
- 4) P. J. Littlefair, "Predicting lighting energy use under daylight linked lighting controls", Building Research & Information, Vol. 26 (1998), 208-222.
- 5) M. B. Ullah, "International Daylight Measurement Programme — Singapore data III: Building energy savings through daylighting", Lighting Research and Technology, Vol. 28 (1996), 83-87.
- 6) M. Bodart, A. De Herde, "Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting", Energy and Buildings, Vol. 34 (2002), 421-429.
- 7) 砂田竜男, 宿谷昌則, "昼光照明の省エネルギー効果に関する数値解析", 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1990, 785-786.
- 8) D. B. Crawley et al., "EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program", Energy and Buildings, Vol. 33 (2001), 319-331.
- 9) ASHRAE Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2001).
- 10) R. H. Henninger, M. J. Witte, EnergyPlus testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, U.S. Department of Energy (2001).
- 11) E. L. Olsen, Q. Y. Chen, "Energy consumption and comfort analysis for different low-energy cooling systems in a mild climate", Energy and Buildings, Vol. 35 (2003), 561-571.
- 12) T. Miyazaki et al., "Energy savings of office buildings by the use of semi-transparent solar cells for windows", Renewable Energy, Vol. 30 (2005), 281-304.
- 13) 滝沢 博, "標準問題の提案 (オフィス用標準問題)", 日本建築学会環境工学委員会 熱分科会 第 15 回熱シンポジウム (1985), 35-42.
- 14) WINDOW 5.0 User Manual, Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-44789.