

外ブラインドを採用したオフィスの温熱環境測定及び熱性能評価

Evaluation of Thermal Performance and the Indoor Environment at an Office with External Venetian Blinds

浅野涼太*¹, 村江行忠*², 竹中優揮*³, 大島佳保里*⁴, 橋達大輔*⁵

Ryota ASANO, Yukitada MURAE, Yuki TAKENAKA, Kaori OSHIMA and Daisuke HASHIDATE

This paper reports an experimental case using external blinds for a conference room facing south and west in office Building, Sayama City, Saitama Prefecture. These observations were planned to measure two factors—internal thermal environment and air-conditioning electric power consumption—in order to confirm the effects of automatic control of such blinds on the thermal environment and energy conservation. We have learned the following:

- 1) The thermal environment of the room perimeter was improved for summer and autumn because of a decrease in the inflow of solar heat by automatic control of external blinds.
- 2) Even in winter when external temperatures are low, it was confirmed that the perimeter thermal environment deteriorates if no solar radiation control is provided.
- 3) The automatic control of external venetian blinds reduces air-conditioning power consumption per day, both in summer and winter. In spite of an increase in the winter, this approach turns out to be more beneficial on a yearly basis.

Keywords : Office Building, External Venetian Blinds, Solar Radiation Control, Air Conditional Power consumption, Heat Transmission Coefficient, Solar Heat Gain Coefficient

オフィス建築, 外ブラインド, 日射制御, 空調消費電力, 熱貫流率, 日射熱取得率

1. はじめに

近年,地球温暖化対策の進展とともに建築物に対して省エネルギー化,CO₂ 排出量削減への要求が高まっている.外ブラインドの日射遮蔽効果による冷房負荷削減効果は認知されているが,国内の採用実績が少なく,実測データも少ない.

本報では,埼玉県狭山市にある N ビル (地上 4 階,延床面積 7,800 m²) を対象に,南西に面した会議室の室内温熱環境及び空調電力消費量を測定し,外ブラインド自動制御による温熱環境と省エネルギー効果を検証した.

2. 概要

2.1 外ブラインド自動制御概要

外ブラインドは写真 1 に示す通り,窓ガラス外側に取り付けられた可動ルーバーであり,外部照度と太陽高度に応じてスラット角を自動制御している.各会議室の窓ガラスは Low-E ペアガラス (FL5+A6+FL5) を使用している.

2.2 測定概要

会議室平面図を図 2 に示す.2019 年 7 月 26 日~8 月 4 日を夏期,2019 年 9 月 30 日~10 月 6 日を秋期,2019 年 12 月 14 日~12 月 22 日を冬期として測定した.

平日について会議室 A を Case1 (全開:外ブラインド巻上げ),会議室 B,C を Case2 (外ブラインド自動制御) とし,夏期 26°C,秋期 26°C,冬期 22°C で 7:00~19:00 に空調した.実測期間中の会議室は非使用とし,内部機器及び照明による内部発熱をなくした.

休日の土曜日と日曜日に会議室 A~C の間仕切りを開放し,外ブラインド条件を揃え,図 3 に示す通り会議室 A~C 以外の空調を停止し,終日空調時の空調消費電力を測定した.

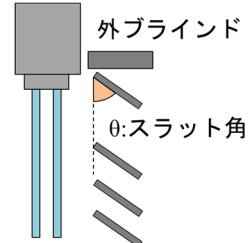


写真 1 外ブラインド

図 1 窓面概要

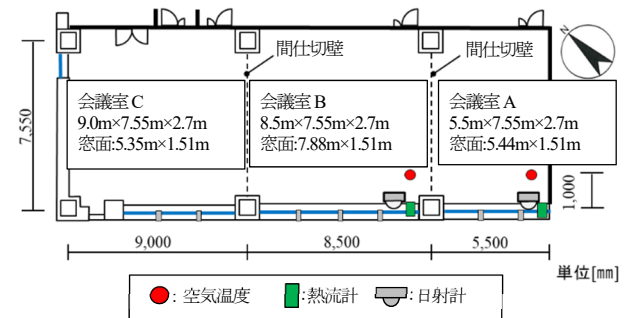


図 2 会議室平面図

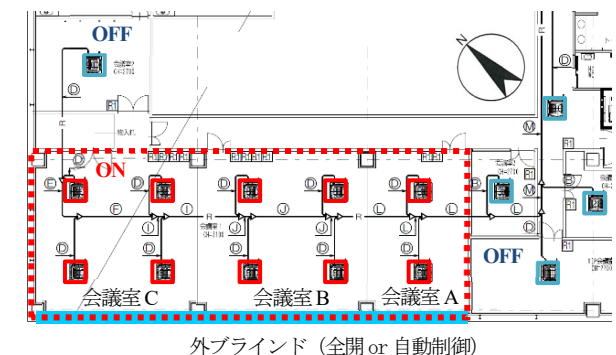


図 3 会議室空調配置図

*1 戸田建設技術開発センター修士 (工学)

*2 戸田建設技術開発センター工学修士

*3 戸田建設技術開発センター

*4 戸田建設技術開発センター修士 (農学)

*5 戸田建設エンジニアリングソリューション統轄部修士 (工学)

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.

Research and Development Center, TODA CORPORATION

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Agr.

Engineering and Solution Administrative Department, TODA CORPORATION, M.Eng.

実測項目を表1に示す。室内空気温度、ガラス表面温度、ガラス表面熱流、鉛直日射量はデータロガー(MCR-4TC,MCR-4V)を用いて10分間平均値を連続的に記録した。

3. 測定結果

3.1 室内温熱環境(夏期)

外部日射量が高かった7月30日を代表日とし、図4-6に会議室内空気温度と日射量、窓面流入熱量の変動を示す。外部鉛直日射量は14:10で最大632W/m²に対し、窓面鉛直日射量はCase1で78W/m²、Case2で17W/m²、窓面からのピーク時の流入熱量はCase1で80.6W/m²、Case2で58.5W/m²であった。

窓表面温度は15:10がピークであり、Case1で41.1°C、Case2で32.6°Cと8.5°C差となった。また、FL+1,700空気温度について、Case1は27°C程度で推移していたのに対し、Case2は26°C程度であったこと

表1 測定項目

測定項目	測定箇所	設置高さ (mm)	計測機器
空気温度	窓面から1.0m	FL+100 FL+1,100 FL+1,700	T型熱電対
表面温度	ガラス面 (室内側)	FL+1,700	T型熱電対
熱流			熱流計 Z2016(HIOKI)
鉛直日射量			日射計 MS-602 (英弘精機)
外気温度	屋上		温湿度計 TR-72i (テイノビ)
鉛直日射量			日射計 MS-602 (英弘精機)
消費電力	分電盤内(室外機系統)		クラブ オンデータロガ PW3360(HIOKI)

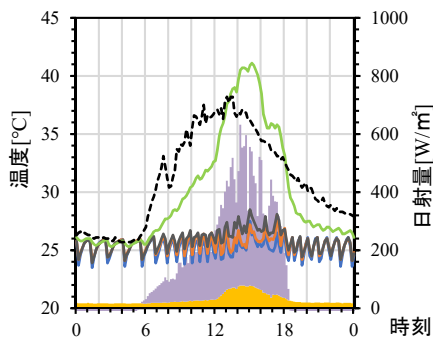
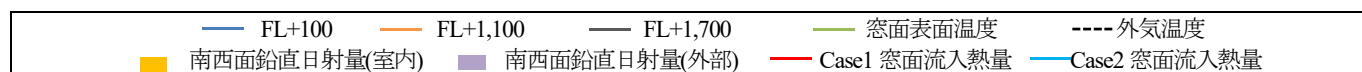


図4 会議室A 空気温度変動 (Case1 2019年7月30日)

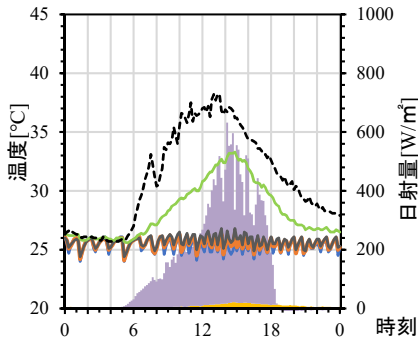


図5 会議室B 空気温度変動 (Case2 2019年7月30日)

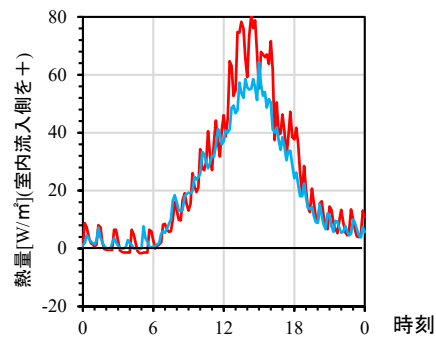


図6 窓面流入熱量変動 (2019年7月30日)

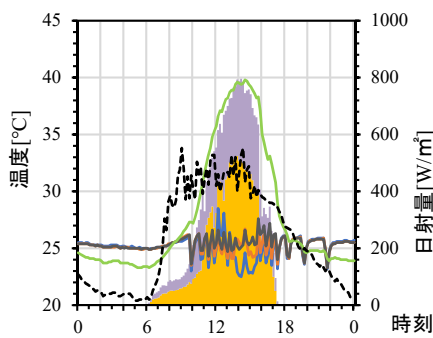


図7 会議室A 空気温度変動 (Case1 2019年10月1日)

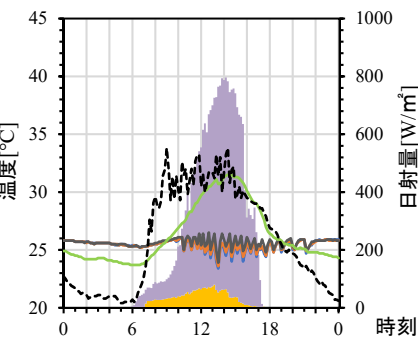


図8 会議室B 空気温度変動 (Case2 2019年10月1日)

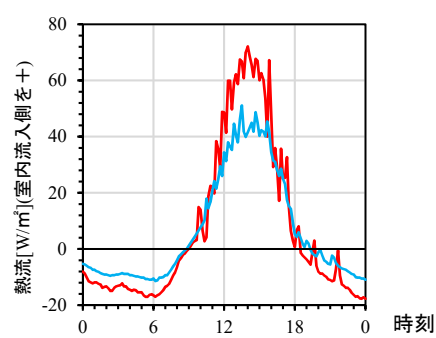


図9 窓面流入熱量変動 (2019年10月1日)

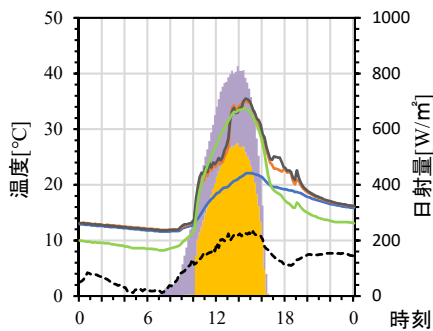


図10 会議室A 空気温度変動 (Case1 2019年12月16日)

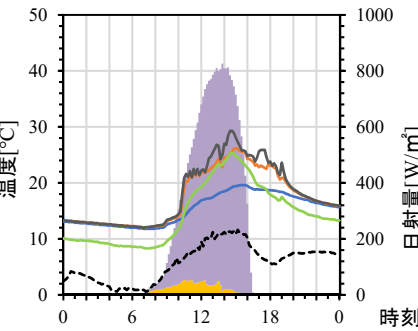


図11 会議室B 空気温度変動 (Case2 2019年12月16日)

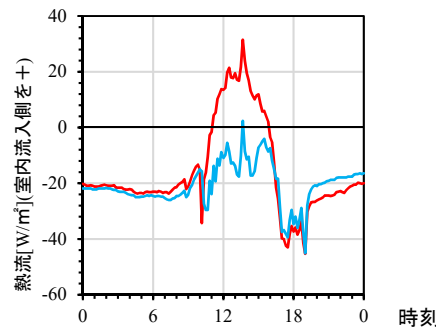
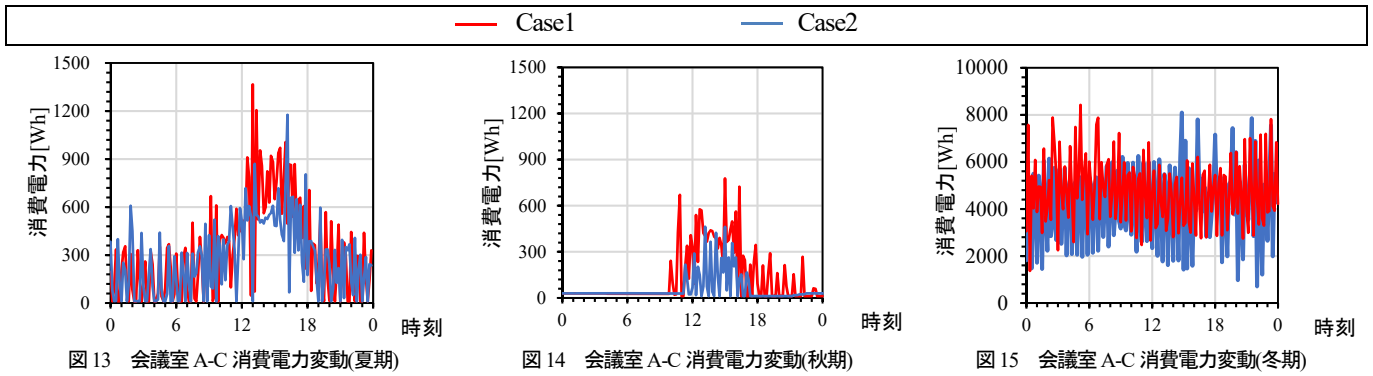


図12 窓面流入熱量変動 (2019年12月16日)



から、外ブラインド自動制御により、日射熱流入を削減し、ペリメータ空気温度上昇を抑制することで温熱環境の向上が期待できる。

3.2 室内温熱環境(秋期)

外部日射量が高かった 10 月 1 日を代表日とし、図 7-9 に会議室内空気温度と日射量、窓面流入熱量の変動を示す。外部鉛直日射量は 14:10 で最大 796W/m² に対し、窓面鉛直日射量は Case1 で 506W/m²、Case2 で 64W/m²、窓面からのピーク時の流入熱量は Case1 で 72.1W/m²、Case2 で 51.1W/m² であった。

窓表面温度は 14:30 がピークであり、Case1 で 39.8℃、Case2 で 31.5℃と 8.3℃差となった。また、FL+1,700 空気温度について、15:00 までは Case1、Case2 とともに 25℃程度で推移しているが、15:00 以降は Case1 で最大 27℃まで上昇したのに対し、Case2 は 25℃程度で推移し続けたことから、夏期と同様に外ブラインド自動制御により、ペリメータ空気温度上昇を抑制し、温熱環境の向上が期待できる。

3.3 室内温熱環境(冬期)

外部日射量が高かった 12 月 16 日を代表日とし、図 10-12 に会議室内空気温度と日射量、窓面流入熱量の変動を示す。外部鉛直日射量は 14:20 で最大 812W/m² に対し、窓面鉛直日射量は Case1 で 537W/m²、Case2 で 18.4W/m²、窓面からのピーク時の流入熱量は Case1 で 31.5W/m²、Case2 で -2.39W/m² であった。

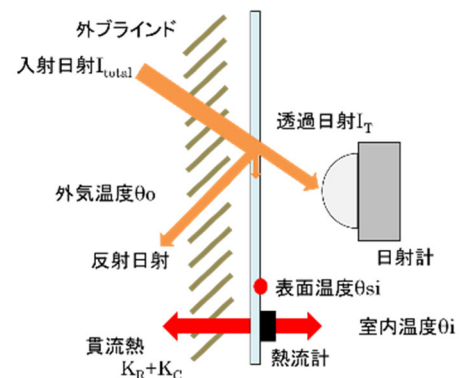
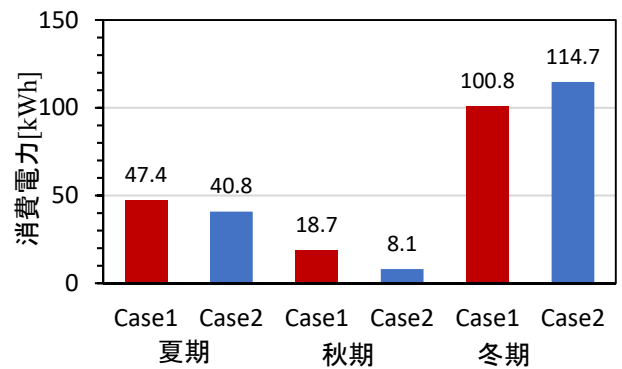
窓表面温度は 14:30 がピークであり、Case1 で 33.8℃、Case2 で 25.2℃と 8.6℃差となった。また、FL+1,700 空気温度について、Case2 は 14:30 で最大 29.3℃まで上昇したのに対し、Case1 は 14:30 で最大 35.5℃まで上昇したことから、冬期のように外気温度が低くても、外ブラインド自動制御により、日射熱流入を抑制して、室内ペリメータ温熱環境を悪化させないようにする必要がある。

3.4 空調消費電力

表 2 に各期間の測定対象日、図 13-15 に空調消費電力変動、図 16 に 1 日の積算消費電力量測を示す。消費電力変動の傾向として、夏期秋期と比較して、内外温度差が大きい冬期は空調消費電力が増大する傾向にある。Case1、Case2 で空調消費電力合計値を比較すると、夏期と秋期は外ブラインド自動制御により 1 日当たりそれぞれ、6.6kWh、10.6kWh 削減、冬期は 13.9kWh 増加した。夏期と中間期の冷房負荷がメインであることを考慮すると、ブラインド自動制御時のほうが年間消費電力で省エネになる。

表 2 空調消費電力測定日

夏期	Case1	2019 年 8 月 3 日～8 月 4 日
	Case2	2019 年 8 月 4 日～8 月 5 日
秋期	Case1	2019 年 10 月 5 日～10 月 6 日
	Case2	2019 年 9 月 29 日～9 月 30 日
冬期	Case1	2019 年 12 月 21 日～12 月 22 日
	Case2	2019 年 12 月 22 日～12 月 23 日



I_{total} : 入射日射量[W/m ²]	I_T : 透過日射量 [W/m ²]
θ_i : 室内空気温度 [°C]	θ_o : 室外空気温度 [°C]
θ_{si} : 窓ガラス表面温度 [°C]	
K_R : 室内と外気の温度差により窓ガラスに流入する貫流熱の放射成分 [W/m ²]	
K_C : 室内と外気の温度差により窓ガラスに流入する貫流熱の対流成分 [W/m ²]	
α_i : 室内側表面総合熱伝達率(8W/m ² K とする)	

図 17 窓面熱収支概念図

4. 熱性能値の比較

4.1 熱貫流率(U 値)の算出

図 17 に窓面の熱取得概念図を示す。実測による熱貫流率(U 値)^{注1}は夜間(0:00~4:00)を対象とし、式 1 により算出した。

$$U = (K_R + K_C) / (\theta_o - \theta_i) \quad \dots (式 1)$$

4.2 日射熱取得率(η 値)の算出

実測による日射熱取得率(η 値)^{注2}は、日照時間(8:00~16:00)を対象に式 2^{注3}により算出した。

$$\eta = \{I_T + \alpha_s(\theta_s - \theta_i) - (K_R + K_C)\} / I_{\text{total}} \quad \dots (式 2)$$

4.3 U 値, η 値の比較

図 18 に測定値から計算した U 値^{注3}η 値^{注3}の散布図を示す。U 値の平均値は Case1 で 2.6, Case2 で 2.3 と室内外温度差による熱貫流率について大きな差はなかったが、η 値の平均値は Case1 で 0.51, Case2 で 0.15 となり、外ブラインド自動制御による日射熱取得量削減の効果を確認できた。

4.4 他外装との熱性能値比較

ブラインド自動制御時の熱性能値について、ダブルスキン外装(以下,DS,CDS)^{注3}と比較した。測定室は南に面しており,DS は奥行 0.69m のダブルスキン,CDS は奥行 0.385m の薄型ダブルスキンである。表 4 に外装仕様を示す。CDS は 2017 年 9 月~2018 年 9 月にかけて,3 通りの仕様(CDS①,CDS②,CDS③)で実測した。

図 19 に測定値から計算した U 値^{注3}η 値^{注3}の散布図を示す。U 値について,DS が 1.4,CDS①②が 1.5 程度,CDS③が 1.2 に対し,Case2 は 2.6 と外装仕様による断熱性能の違いが明確に表れた。η 値について,DS が 0.26, CDS①が 0.29,CDS②が 0.16,CDS③が 0.11 に対し,Case2 は 0.16 と CDS②と同等であったことから,η 値で評価すると,スラット角 45°固定ではあるが,キャビティ内を常時換気している CDS と同程度の日射削減効果であった。

5. おわりに

測定結果から以下の知見を得ることができた。

- 夏期,秋期について日射熱流入量を削減し,室内ペリメータ空気温度上昇を抑制することで,温熱環境の向上が期待できる。冬期のように外気温度が低い時期においても日射制御を行わないとペリメータ空気温度が上昇するため温熱環境が悪化することが確認できた。
- 外ブラインド制御により,夏期,秋期は 1 日当たり空調消費電力を削減できた。冬期は増加したが,年間で考慮すると外ブラインド自動制御のほうが省エネになる。
- 外ブラインド自動制御により,η 値が減少したことから,日射熱取得量削減の効果があつた。
- 外ブラインド自動制御時の窓面熱性能値について,U 値は全開時と同等であったが,η 値は CDS②と同等であった。

謝辞

本測定にあたり,松島様をはじめ,㈱ニチレイバイオサイエンスの皆様,藪様(オスモ&エーデル㈱)には大変御協力頂きました。ここに記して厚く感謝を申し上げます。

参考文献

- 郡他: 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 116), 空気調和衛生工学会学術梗概集, pp17-20, 2013.9
- 伊藤他: オフィス建築を対象とした環境創造技術に関する実証研究(その 1), 戸田技術研究報告第 43 号, 2017.11

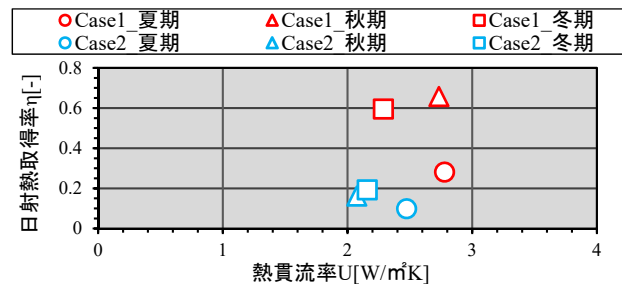


図 18 U 値 η 値散布図

表 3 各ケース U 値 η 値

	U 値	η 値
Case1_夏期	2.8	0.28
Case2_夏期	2.5	0.1
Case1_秋期	2.7	0.66
Case2_秋期	2.1	0.16
Case1_冬期	2.3	0.59
Case2_冬期	2.2	0.19

表 4 ダブルスキン外装仕様

	DS	CDS ①	CDS ②	CDS③
共通	吹抜 2 層(実測箇所は 1 層目) キャビティ内ブラインド ^{注3} 設置(スラット角 45°固定)			
キャビティ奥行	0.69m	0.385m		
換気スケジュール	8:30-17:30	常時換気		
アウターガラス	FL8 mm	FL6 mm		
インナーガラス (Low-E 複層ガラス)	L8 mm +A12 mm	L6 mm+A6 mm	L6 mm +A12 mm	
有効換気面積 m²/s	上部	0.3	0.004	0.021
	下部	0.45	0.21	

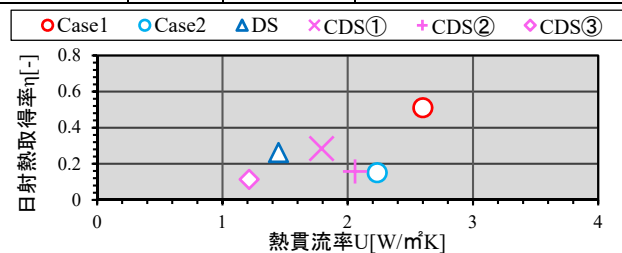


図 19 U 値 η 値散布図

表 5 各外装 U 値 η 値

	U 値	η 値
Case1(夏期秋期冬期平均値)	2.6	0.51
Case2(夏期秋期冬期平均値)	2.2	0.15
DS(2018 年 9 月測定)	1.4	0.26
CDS①(2017 年 9 月測定)	1.8	0.29
CDS②(2018 年 9 月測定)	2.1	0.16
CDS③(2018 年 9 月測定)	1.2	0.11

- 浅野他: オフィス建築を対象とした環境創造技術に関する実証研究(その 4), 戸田技術研究報告第 45 号, 2019.11

注釈

- U 値は夜間(0:00~4:00)の平均値とし, 室内と外気の温度差により窓ガラスに流入する貫流熱の放射成分との対流成分の和($K_R + K_C$)については窓ガラスに貼り付けた熱流計の測定値を用いた。
- η 値は日照時間(8:00~16:00)の平均値とし, IT は室内に設置した日射計, I_{total} は屋上に設置した日射計の測定値を使用した。
- U 値は夜間(0:00~4:00), η 値は日照時間(8:00~16:00)の平均値を使用した。