

創エネと省エネ措置を講じたガラスカーテンウォールの実測評価

三 谷 一 房 水 上 卓 也

古 城 雄 一
(大阪本店建築事業部)

Measurement Evaluation of the Building-Integrated Photovoltaic System and the Thermal Break Framing System Utilized for the Glass Curtain Wall

Hitofusa Mitani Takuya Mizukami

Yuichi Kojo

Abstract

In the experimental facility “OL2” of Obayashi Technical Research Institute, the exterior glass curtain wall with a building-integrated photovoltaic system and a thermal break framing system are utilized to reduce the energy consumption. In this study, the evaluation of their systems is shown using the results of the long-term measurement regarding the generated power by the photovoltaic system and the surface temperature of the aluminum frame. It is confirmed that the voltage and the current of the solar off-grid system are appropriately controlled by the charge controllers of the batteries, and the framing system contributes to improve the thermal insulation of the curtain wall.

概 要

大林組技術研究所オープンラボ 2の外装ガラスカーテンウォールでは、創エネおよび省エネ措置の一環として、カーテンウォールと一体化した庇状の太陽電池およびアルミフレームの外枠と内枠を熱的に絶縁させた断熱アルミフレームを用いている。本報では、この太陽光発電システムの発電電力および断熱アルミフレームの表面温度を長期間にわたり測定し、これらの運用状態を評価した。その結果、充電コントローラによって蓄電池電圧の維持が図られるように太陽電池の電圧と電流が適切に制御されていること、また断熱アルミフレームは、冬期および夏期を通じて、カーテンウォール全体の断熱性向上に寄与していることが確認できた。

1. はじめに

「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」が2015年7月に公布され、2016年4月に施行された。この法律は、建築物におけるエネルギーの消費量が著しく増加していることに鑑み、建築物のエネルギー消費性能の向上を図るために講じられる措置を定めたものである¹⁾。さらに政府が2016年3月に公表した「地球温暖化対策計画(案)」では、温室効果ガスを2050年に80%削減するとした高い長期目標が初めて盛り込まれた。その上で温室効果ガスを2020年に2005年と比べて3.8%以上削減、2030年に2013年と比べて26%削減するという目標の達成に向け、省エネルギーの徹底や再生可能エネルギーの最大限の導入等といった方針が示された²⁾。

大林組技術研究所オープンラボ 2(2014年4月竣工)の外装ガラスカーテンウォールでは、創エネルギーおよび省エネルギー措置の一環として、Low-E複層ガラス、高断熱タイプのアルミフレーム、換気システム、および庇状の太陽電池とオフグリッド型の太陽光発電システムを組み合わせた外装技術を、既にいち早く適用している。これらは前述した国の省エネルギー性の向上および再生可能エネルギーの導入の方針にも適うものである。

このオフグリッド型の太陽光発電外装システムや断熱性に優れたアルミフレーム技術については、既報^{3),4)}にて詳細に報告している。そこで本報では、実適用した外装の太陽光発電システムによる発電電力および断熱アルミフレームの表面温度を長期間にわたり実測し、それらの運用状態を確認したので報告する。

2. 外装ガラスカーテンウォールの概要

2.1 ガラスカーテンウォールの全体概要

適用した外装ガラスカーテンウォールの模式図をFig. 1に、外観および内観をPhoto 1に示す。

庇状の太陽電池は単結晶シリコンセルを用いた合わせガラスタイプで、ブラケット金物を介してユニットカーテンウォールのアルミフレーム(無目)に取り付けられている。その発電電力は建物内の送電網に連系することなく、蓄電池を併用したオフグリッド型のシステムとして外装まわりの換気システムやロールスクリーンのモータを駆動させるために直接、用いられている。

またガラスカーテンウォールでは、アルミフレーム自体の熱性能の良し悪しが、カーテンウォール全体の断熱性能にとって極めて重要である⁵⁾。そこでここでは、後

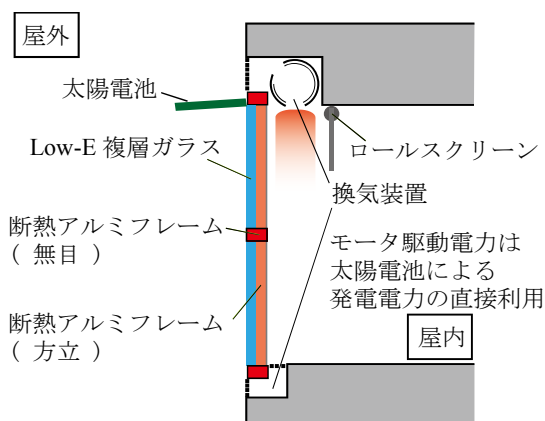


Fig. 1 外装ガラスカーテンウォールの模式図
Schematic of the Exterior Curtain Wall



Photo 1 外装ガラスカーテンウォールの外観と内観
Appearance of the Glass Curtain Wall

述する高断熱タイプのアルミフレームを用いている。

2.2 外装に適用した太陽光発電システムの狙い

既報³⁾で報告したように、建物外装に太陽光発電を導入する場合、意匠性を加味した太陽電池の導入コストは非常に高く、また壁面の日射条件も不利であるため発電量も低くならざるを得ない。そのためCSR(企業の社会的責任)の観点を除けば、発電量を主目的としたこれまでの考え方を踏襲して、建物外装に太陽光発電を設置したのでは、導入に対する動機づけが得られにくいと考えた。

そこで本適用では、発電量の多寡よりも、発電電力の使い方の提案がより重要と考え、外装まわりの換気システムやロールスクリーンのモータ駆動といった電力の利用方法を示し、オフグリッド型の太陽光発電システムの適用に取り組んだ。

3. 太陽光発電システムの長期発電状況

3.1 太陽光発電システムの回路構成

庇状の太陽電池 (Photo 2) は全体で、定格5.4kW (60モジュール、1モジュールの寸法：約1.7m×約0.5m) である。これらの太陽電池は12モジュールを1アレイ、すなわち1回路として、5回路に分けられ、それぞれが6直列2並列で接続されている。各回路の発電電力は、充電コントローラ (MPPT方式、max.60A、最大入力電圧150V) で制御されながら、鉛蓄電池 (ディープサイクルバッテリー、12V×2直列：24V系、108Ah) に充電される。さらにインバータ (max.1500W) を介して交流電流に変換され、負荷側のモータの駆動電力として供給される。

太陽光発電システムとして一般的な系統連系型では、パワーコンディショナによって太陽電池の出力が最大となるよう調整される。これに対し蓄電池と充電コントローラを使用するオフグリッド型では、蓄電池が過充電にならないように、蓄電池と負荷側の需要に合わせて、充



Photo 2 ガラスカーテンウォールに取り付けられた太陽電池
Building-Integrated Photovoltaic Mounted on the Glass Curtain Wall



Photo 3 オフグリッド型の太陽光発電制御盤と充電コントローラ
Control Unit of the Solar Off-Grid System and the Charge Controller

電コントローラが太陽電池の発電を制御する特徴がある。

3.2 発電電力の測定

3.2.1 測定方法 任意の太陽光発電システムの発電電力量等を長期間にわたり測定することができ、そのデータをリアルタイムで表示しながら、かつ所定間隔でデータの記録ができる汎用的な方法は限られている。本システムでは、充電コントローラに装備されているシリアルポートと専用ソフトウェアを用いて、充電コントローラとパソコンを1対1で接続し、1回路分に対するデータを記録した(Photo 3参照)。記録間隔は5分ないしは10分とし、太陽電池アレイの電圧・電流・発電電力や蓄電池電圧・温度等のデータを記録した。

なお小型日射計と電圧ロガーを用いて、外装近傍での水平面に対する日射強度の測定も行った。

3.2.2 測定結果

(1) 発電電力 Photo 2に示すように底状の太陽電池は4段から構成される。上から1段目と2段目の各6モジュール(計12モジュール)から成る回路3、および上から3段目と4段目の各6モジュール(計12モジュール)から成る回路4の発電電力の測定結果を、それぞれ100日間ずつ抜粋し、Fig. 2およびFig. 3に示す。Fig. 2は10分間隔、Fig. 3は5分間隔で、瞬時瞬時の発電電力を記録したデータをプロットしたものである。

両者とも、発電ピークとしては300~400W程度の頻度が多く、最大で600W程度に達した。したがって年間のほぼ同じ時期に測定した異なる2つの回路の発電電力の実測結果から、本システムは、製品や回路間にばらつきなく適切に運用されていることが確認できた。またこの傾向は年間を通じて同様であったため、積算発電電力量は経過日に比例して増加していることも確認できた。

(2) 太陽電池アレイの電圧および電流 12モジュールを1回路とした太陽電池アレイの電圧と電流の関係をFig. 4に、またこの太陽電池アレイの電流と発電量の関係をFig. 5に示す。

Fig. 4より、電圧110~130V程度の範囲において、6A程度の電流を最大として発電が制御されていることがわかる。またFig. 5より、発電量は電流と相関関係にあることがわかる。これは、太陽電池アレイの電圧を維持した状態で、電流すなわち発電が日射強度の強弱に影響を受けたり、蓄電池の充電状態によって充電コントローラに制御されたりすることによるものと考えられる。

(3) 蓄電池電圧の状態 代表的な1日間(2015/3/13)を抜粋し、日射強度と発電量の経時変化をFig. 6に、また蓄電池電圧と発電量の経時変化をFig. 7に示す。

Fig. 6およびFig. 7より、日射によって発電が得られ、蓄電池電圧も28V程度まで急速に上昇し、それを維持しながら発電が抑制されていることがわかる。これは先に述べたように(Fig. 5参照)、太陽電池アレイの電流が抑えられたことによるものと言える。すなわち日射強度の増加とともに発電量も増加するが、蓄電池が昇圧した後は、

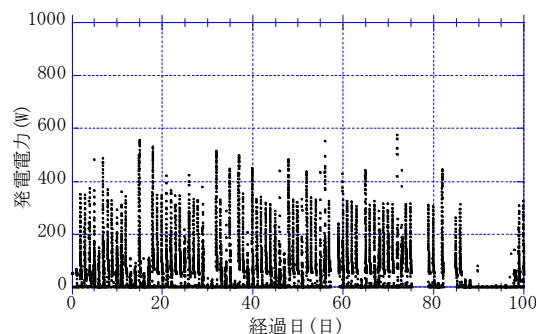


Fig. 2 回路3の発電電力(2015/11/10から100日間)
Generated Power by System No. 3

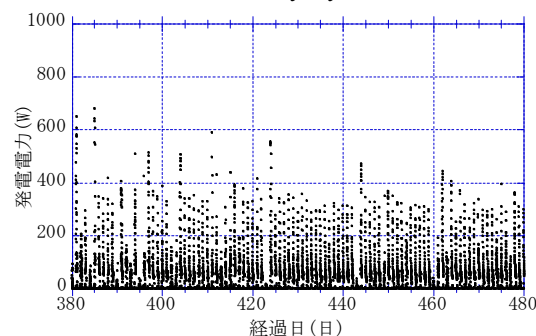


Fig. 3 回路4の発電電力(2014/10/26から100日間)
Generated Power by System No. 4

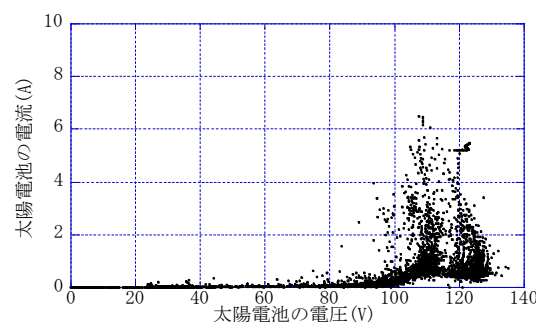


Fig. 4 太陽電池の電圧と電流の関係
Relationship between Voltage and Current
of a Solar Array

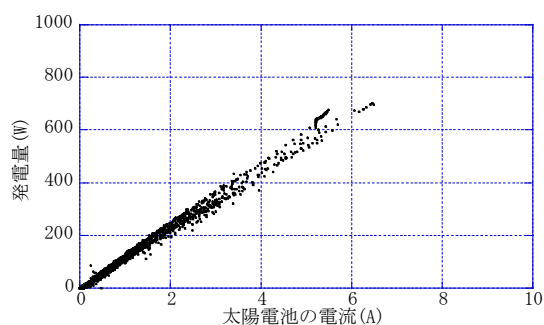


Fig. 5 太陽電池の電流と発電量の関係
Relationship between Current and Generated Power
of a Solar Array

日射強度によらず、充電コントローラの制御によって蓄電池の電圧維持と過充電防止のために、太陽電池の電圧維持と電流抑制が図られていることが確認できた。

(4) オフグリッド型のシステムに対する評価 ビル建物内で常時利用する設備としては、小規模ながら初めて本格的にオフグリッド型のシステムを適用し、本システムが適正に発電・制御されていることを確認した。オフグリッド型では、電力需給のバランスを考慮してシステム設計や機器選定を行っているが、運用の結果、電力供給に、ある程度の余裕があることがわかった。本システムの制御盤内には、インバータで交流電流に変換出力された予備の100Vコンセントが回路毎に備え付けられている。したがって今後の運用状況を勘案しながら、電力用途(例えば、LEDによるサイン照明等)を追加設置することも可能である。

4. 断熱アルミフレームの表面温度履歴

4.1 断熱アルミフレームの概要

断熱アルミフレームとは、省エネルギー性能や結露防止性能の向上を図るため、アルミフレームの外枠と内枠の間に、熱伝導率の低い樹脂材を組み込んだフレーム技術によるものを言う。この外枠と内枠は構造的には一体化されているが、熱的には絶縁性が付与されており、アルミ熱遮断フレームとも呼ばれる。

適用した断熱フレームの断面をPhoto 4に示す。ここではアルミフレームの外枠と内枠の間にガラス繊維補強ポリアミド樹脂の形材(GRP)を組み込んだ樹脂かしめ式による断熱アルミフレームを用いている。なおこのカーテンウォールはユニット式であるため、方立および無目は隣り合うアルミフレームの嵌合によって構成されている。

4.2 カーテンウォールの熱貫流率

カーテンウォールの熱貫流率(U値)の計算対象は、Fig. 8に示すように、方立と無目との交差部を中心として、高さ1200mm×幅3600mmの範囲とした。断熱アルミフレームのU値は、無目および方立の断面形状・寸法に基づき、ISO 10077-2⁶⁾およびISO 10211-2⁷⁾に準じた二次元定常伝熱計算プログラム(PHYSIBEL社、BISCO v.9.0w)によった。また比較用とした非断熱アルミフレームのU値も、樹脂型材をアルミ型材の物性値に置き換えることによって算出した。

カーテンウォールのU値は、各部材のU値を面積加重平均することで算出した。その結果をTable 1に示す。カーテンウォールのU値は、断熱アルミフレームによる場合が2.75W/m²K、非断熱アルミフレームによる場合が3.32W/m²Kであった。したがって断熱アルミフレームによる場合は17%程度、断熱性が向上していると言える。

4.3 断熱アルミフレーム表面温度の測定

4.3.1 測定概要 断熱アルミフレームの表面温度は、

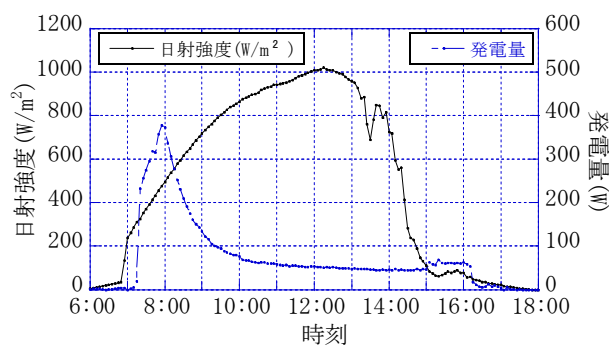


Fig. 6 日射強度および発電量の例
Irradiance and Generated Power of a Solar Array

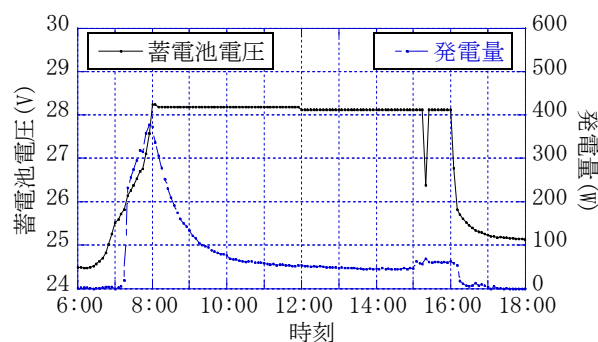


Fig. 7 蓄電池電圧および発電量の例
Battery Voltage and Generated Power of a Solar Array

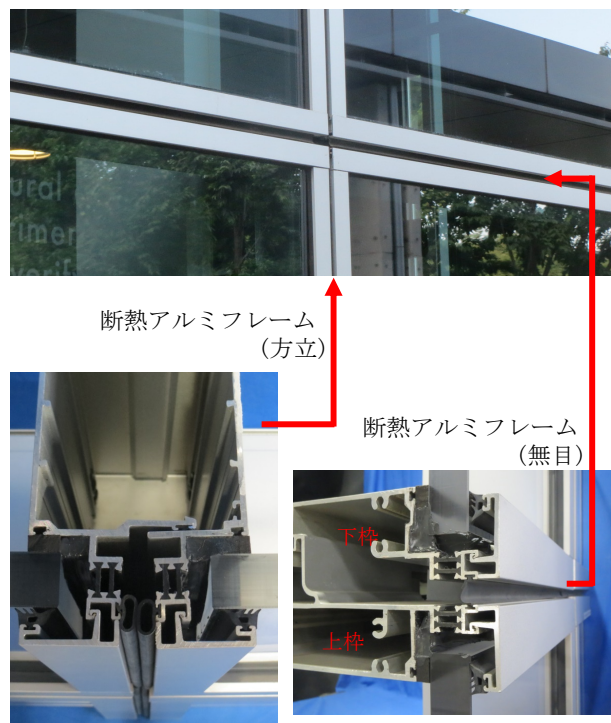


Photo 4 適用したユニットカーテンウォール
における断熱アルミフレームの断面
Section of Mullion Frame and Transom Frame with
Thermal Break Framing System

屋外側では無目(上枠)の押縁面, 屋内側では無目(上枠)の下端面で測定した。比較のために, このカーテンウォール近傍の開口部における非断熱アルミフレームの屋外側および屋内側の表面温度も測定した。また, 屋外温度および屋内温度も測定した。

4.3.2 測定結果 冬期および夏期における代表的な2日間の各所温度履歴をFig. 9およびFig. 10に示す。

Fig. 9より, 冬期の夜間(非空調時間帯)において, 断熱アルミフレームの屋内側表面温度は, 非断熱アルミフレームの屋内側表面温度よりも約2℃高く, 断熱アルミフレームによる断熱効果が確認できた。

またFig. 10より, 夏期の昼間(空調時間帯)においては, 日射の影響によりアルミフレームの屋外側表面温度はピークで45℃以上になるものの, 断熱アルミフレームの屋内側表面温度は, 非断熱アルミフレームの屋内側表面温度よりも7℃程度低く抑えられ, 断熱アルミフレームの方が屋外からの熱を伝えにくい傾向にあることがわかる。したがって断熱アルミフレームは, 夏期においてもカーテンウォール全体として熱負荷低減に寄与していると言える。

一般には, 夏期でも屋外温度<屋内温度となる時間帯が多くあるため, 建物外皮の断熱性を高めるほど, 日射取得熱や内部発熱等が屋外へ放出されにくく, 空調負荷計算による冷房負荷を増大させる場合がある⁴⁾。Fig. 10でも, 夜間(非空調時間帯)になると, 屋外温度が屋内温度を下回るようになっていく。この場合, 本来は屋内側の断熱アルミフレームの表面温度が非断熱アルミフレームの表面温度を上回るはずである。ところが実測では非断熱アルミフレームの屋内側表面温度の方が高かった。この理由としては, 非断熱アルミフレームが日中の日射の影響で断熱アルミフレームよりも高温となるた

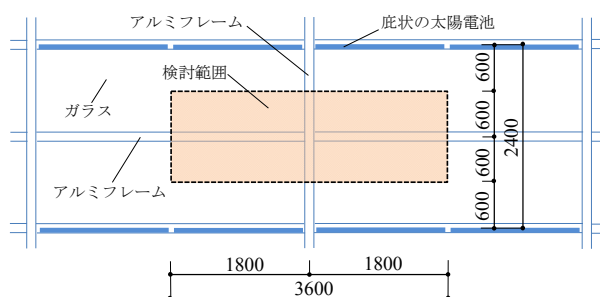


Fig. 8 カーテンウォールの熱貫流率の計算範囲
Area to Calculate Thermal Transmittance of the Glass Curtain Wall

Table 1 ガラスカーテンウォールの熱貫流率
Thermal Transmittance of the Glass Curtain Wall

カーテンウォール		Low-E複層ガラス	方立	無目
高さ(mm)	1200	1085	1200	115
幅(mm)	3600	3500	100	3500
面積(m ²)	4.320	3.798	0.120	0.403
熱貫流率 U値 (W/m ² K)	断熱 アルミフレーム	2.75	1.9	7.2
	非断熱 アルミフレーム	3.32	1.9	13.4

1)Low-E複層ガラスのU値は, 一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構:「建築物の省エネルギー基準と計算の手引き 新築・増改築の性能基準(PAL/CEC), p52, 2009.9」の表2-3(2)より引用

2)アルミフレームのU値は, 二次元定常伝熱計算プログラム (PHYSIBEL社, BISCO v.9.0w)による計算値

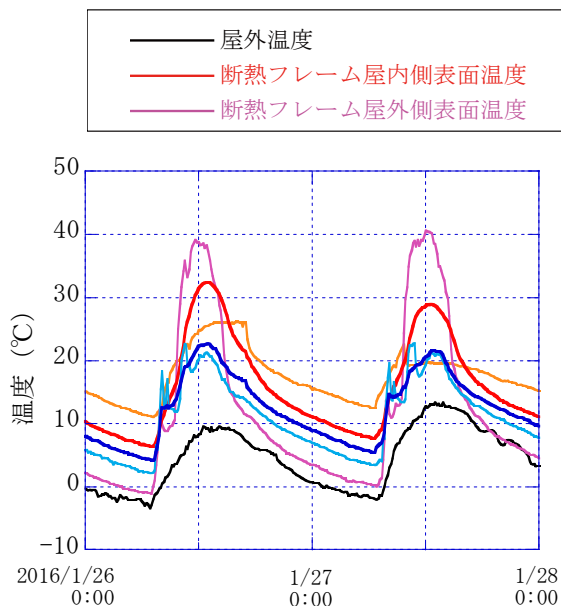


Fig. 9 冬期の各所温度履歴
Air Temperature and Surface Temperature of Aluminum Frames in Winter

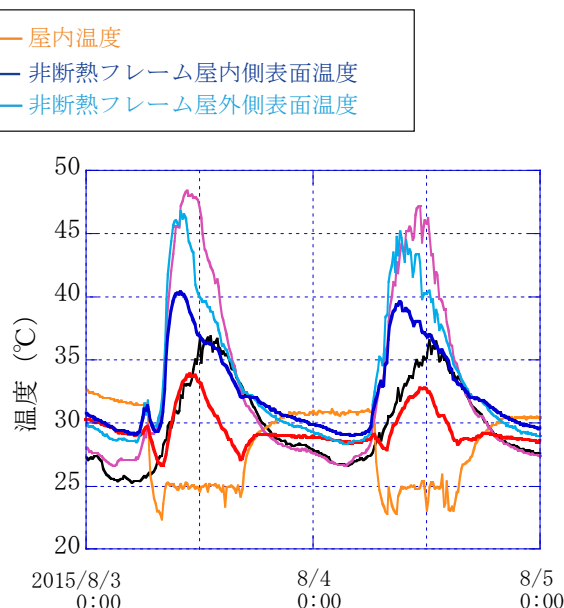


Fig. 10 夏期の各所温度履歴
Air Temperature and Surface Temperature of Aluminum Frames in Summer

め、その影響が夜間にまで及んでいるためと考えられる。

そこで夏期における日射の影響の少ない曇(雨)時の期間における測定結果をFig. 11に示す。Fig. 11より、夏期における日射の影響を受けない場合では、Fig. 10と異なり、断熱アルミフレームの屋内側表面温度が非断熱アルミフレームの屋内側表面温度を上回っていることがわかる。したがって前述のように、夏期の夜間、非断熱アルミフレームの屋内側表面温度が断熱アルミフレームの屋内側表面温度を上回る逆転現象は、日中の日射の影響が夜間にまで及んでいるためと言える。

4.3.3 温度低下率 JIS A 1514:2015(建具の結露防止性能試験方法)に準じ、断熱および非断熱アルミフレームの温度低下率=(屋内温度-アルミフレーム屋内側表面温度)/(屋内温度-屋外温度)を算出した結果をFig. 12に示す。ここでは14日間の各5時の測定温度で算出した。断熱アルミフレームの温度低下率は平均で0.32、非断熱アルミフレームでは平均で0.46であり、断熱アルミフレームによる断熱効果を確認することができた。

5. おわりに

大林組技術研究所オープンラボ 2の外装ガラスカーテンウォールでは、創エネルギーおよび省エネルギー措置として、既に太陽光発電外装システムおよび高断熱タイプの断熱アルミフレーム技術を実適用している。

この実適用した外装の太陽電池システムの発電電力および断熱アルミフレームの表面温度の履歴を長期間にわたり実測し、それらの運用状態を確認した。その結果、外装の太陽電池システムについては、創エネルギー措置の1つとして適切に運用されていること、また高断熱タイプのアルミフレームについては、冬期および夏期を通じて、建物外皮における省エネルギー措置の1つとして熱負荷低減に貢献していることが確認できた。

近年、照明のLED化やパソコンの省電力化などで室内の発熱量が減ったこともあり、建物外皮の熱性能の脆弱さが改めて指摘されている。地球温暖化対策やZEB(Zero Energy Building)の一翼を担う技術として、建物外装の高断熱化および太陽光発電技術については、今後も引き続き取り組んでいく所存である。

謝辞

アルミフレームの熱貫流率の算出にご協力下さいましたパルマスティーリザ・ジャパン株式会社の関係各位に深謝致します。

参考文献

1) 国土交通省ホームページ：建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律について
http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/jutakukentiku_hous

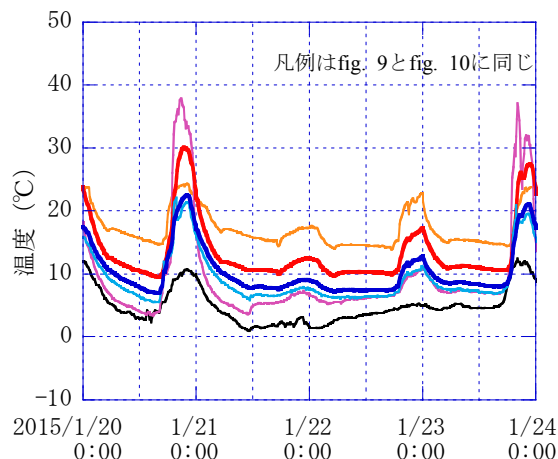


Fig. 11 夏期(曇時)の各所温度履歴
 Air Temperature and Surface Temperature of Aluminum Frames in Summer(Cloudy)

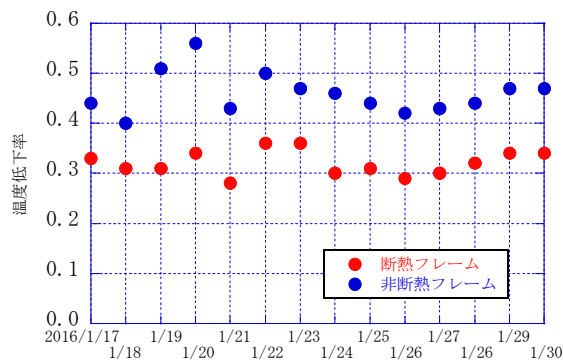


Fig. 12 温度低下率
 Coefficient of Temperature Reduction

e_tk4_000103.html, 2016.6

- 2) 環境省ホームページ：平成28年3月4日地球環境部会(第130回)・産業構造審議会産業技術環境分科会地球環境小委員会合同会合(第45回)
<http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-130.html> , 2016.6
- 3) 三谷, 他：オフグリッド型の太陽光発電外装システムの開発, 大林組技術研究所報, No.78, 2014.12
- 4) 三谷, 他：サーマルブレイクを用いたガラスカーテンウォールの性能評価, 大林組技術研究所報, No.76, 2012.12
- 5) 田代達一郎, 他：フレームを考慮したカーテンウォールの熱性能計算, 日本建築学会環境系論文集, 第76巻, 第670号, pp.1033-1042, 2011.12
- 6) ISO 10077-2:2003 Thermal performance of windows, doors and shutters -Calculation of thermal transmittance-Part2 Numerical method for frames
- 7) ISO 10211-2:2001 Thermal bridges in building construction - Calculation of heat flows and surface temperatures - Part 2: Linear thermal bridges