

熱回収型太陽電池ルーバーに関する実験的研究

屋外実験によるエネルギー創出量とCO₂排出削減効果の評価

梅田 和彦^{*1}, 生天目 泰^{*1}

Keywords : thermal recovery, solar cell, louver, energy production, CO₂ reduction, multiple regression analysis

熱回収, 太陽電池, ルーバー, エネルギー創出, CO₂排出削減, 重回帰分析

1. はじめに

人口増加や生活水準向上に対応する社会インフラ整備への動きが新興国や発展途上国で活発になっている。一方、安心安全な社会を未来へ継承するために、低炭素社会実現に向けた様々な取組みが世界各国で実施されている。このような状況をふまえると、二酸化炭素排出量が多い火力発電や事故リスクの大きい原子力発電への大幅なエネルギー依存は避けて、太陽光や太陽熱等の再生可能エネルギーの利用拡大に向かうべきと考えられる。

筆者らは太陽エネルギーの効率的な利用を目的として、日射遮蔽、発電、熱回収の3つの機能を同時に可能にした熱回収型太陽電池ルーバー（以降、ルーバー）の検討を行っている^{1) 2)}。本報では前報²⁾で報告した屋外実験を夏季と冬季に実施した結果に基づいてエネルギー創出量とCO₂排出削減量を評価したので報告する。

2. 屋外実験での熱挙動

2.1 実験概要

屋外実験では、ルーバーの発電量及び熱回収量を屋外暴露で実証することを目的としている。測定場所は横浜市で、測定時期は2010年7月と2011年1月である。屋外実験の状況を写真-1に示す。

実験では、受光面寸法が3.0m×0.31mのルーバーに1.5m×0.31mの太陽電池モジュール2枚を組み込んだ試験体を写真-1と図-1に示すように上下に2段に設置した。ルーバーの向きは真南で、角度は受光量が多くなる様に夏季では水平面に対して30度、冬季では水平面に対して50度とした。

試験体の内部には長さ約11.2mの熱回収用配管を敷設しており、試験体2枚を直列に配管接続した。給水は配管内部の空気抜きのため、図-1に示すように下段のルーバーの下側配管接続口から上段のルーバーの下側配管接続口に水を流すシステムとした。



写真-1 屋外実験の状況

Photo 1 Outdoor experiment

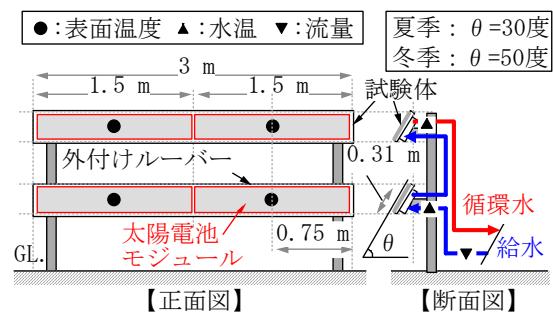


図-1 試験体の概要

Fig. 1 Experimental model

測定項目は、水平面日射量、気温、風向・風速、太陽電池表面温度、ルーバー出入口水温、流量である。測定間隔は全項目で1分間とした。測定位置を図-1に示す。以上の実験概要を表-1に整理して示す。

2.2 実験結果

図-2に比較的に良く晴れた夏季の5日間の記録を、同様に図-3に冬季の5日間の実測結果を示す。

*1 技術センター建築技術開発部建築生産技術開発室

表-1 屋外実験の概要
Table 1 Outdoor Experiment

試験体	名称	構成	主な仕様
	熱回収型太陽電池ルーバー	1) 太陽電池モジュール ①外形寸法 : 1.5m×0.31m×0.04m ②結晶シリコン型 ③最大出力 : 53W/枚 ④枚数 : 4枚(3mルーバー-2枚分) 2) 外付けルーバー ①外形寸法 : 3.0m×0.31m×0.09m ②アルミ押出し成型 ④枚数 : 2枚 3) 熱回収用配管 ①長さ : 約11.2m/枚(3mルーバー) ②内径 : 12.6mm ③熱伝導率 : 0.48W/(m·K)	
測定項目 ・測定機器	測定間隔	測定機器	主な仕様
1) 日射量	1分	日射計	①波長 : 306~2800nm ②精度 : ±0.12%/°C
2) 空気温度 表面温度	1分	熱電対	T型, φ 0.3mm
3) 風向・風速	1分	風車型風速計	①風向 : 0~540° ②風速 : 0.4~30m/s ※気象局検定品
4) 水温	1分	シース熱電対	SUS316, φ 4.8mm
5) 流量	1分	流量計	①流量 : 0.35~5L/分 ②精度 : ±2%RS

2.2.1 夏季の気温、水平面日射量と風速

夏季表示期間の気温は 24.9°C から 35.7°C まで変化して、水平面日射量は最大で 970W/m²程度であり、風速は最大 3.7m/s 程度であった。

2.2.2 夏季の太陽電池表面温度と出入口温度

太陽電池表面温度のピークは 54°C 以上で、63°C を超える日があった。また、ルーバーの 1 日の給水出入口温度差の最大は 9.4°C から 13.1°C 程度であった。

2.2.3 冬季の気温、水平面日射量と風速

冬季表示期間の気温は -1.6°C から 13.8°C まで変化して、水平面日射量は最大で 591W/m² であり、風速は最大 5.2m/s 程度であった。

2.2.4 冬季の太陽電池表面温度と出入口温度

太陽電池表面温度のピークは 33°C 以上で、42°C を超える日があった。また、ルーバーの 1 日の出入口温度差の最大は 5.5°C から 9.6°C 程度であった。

3. エネルギー創出と太陽エネルギー利用率

ルーバー受光面の単位面積あたりの発電量と熱回収量を各々算出した。エネルギー創出量として夏季の結果を図-4に、冬季の結果を図-5に各々示す。

ルーバーの傾斜角度を夏季と冬季で受光面により多くの日射が入射するように設定したことをふまえれば、最大発電量は 100W/m² 程度で、最大集熱量は 200W/m² 前後であると推定される。

本報ではルーバー受光面に入射する日射量に対する発電量の割合を発電効率とし、同様に熱回収量の割合を熱回収効率として算出した。夏季の結果を図-6に、冬季の結果を図-7に各々示す。

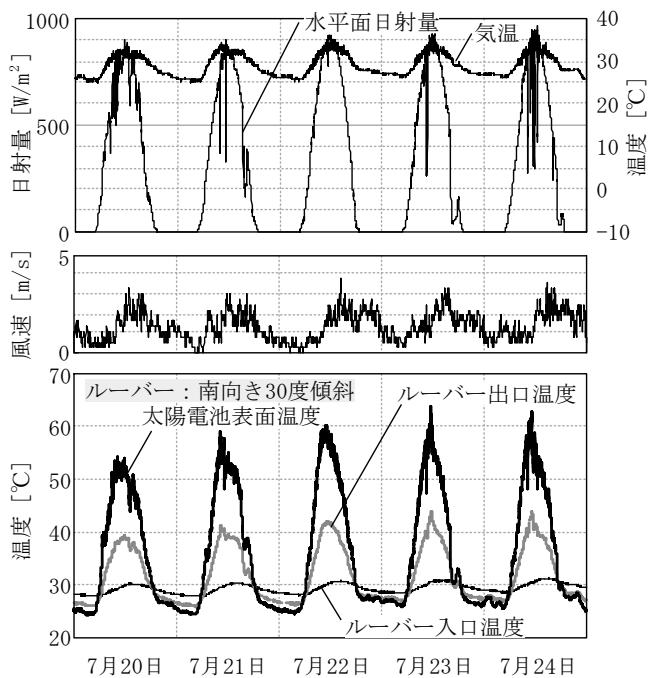


図-2 気象状況とルーバーの熱挙動の推移(夏季)

Fig. 2 Weather condition and thermal condition of hybrid solar louver in summer

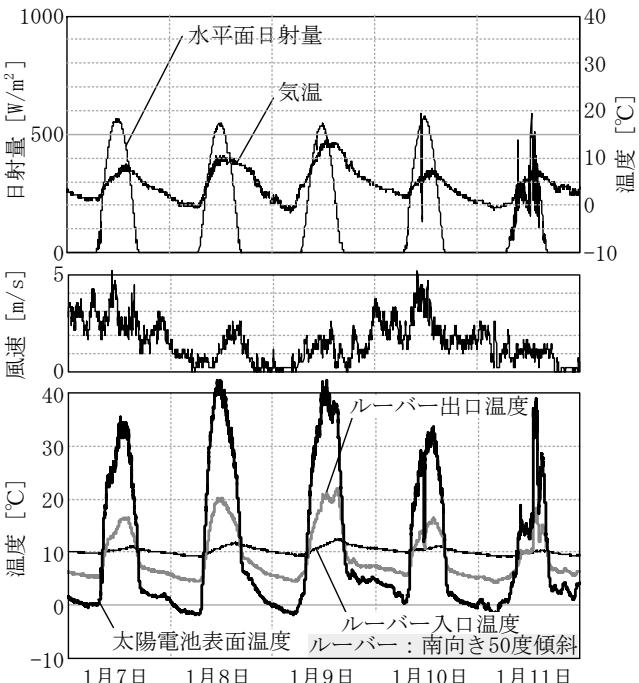


図-3 気象状況とルーバーの熱挙動の推移(冬季)

Fig. 3 Weather condition and thermal condition of hybrid solar louver in winter

発電効率は夏季と冬季共に最大で 10% 弱であった。一方、熱回収効率は最大で 20% 前後であった。従って、これらを合計した総合効率は最大で 30% 程度となった。つまり、検討したルーバーは太陽エネルギーの約 3 割を生活に必要なエネルギーとして創出できることを確認した。

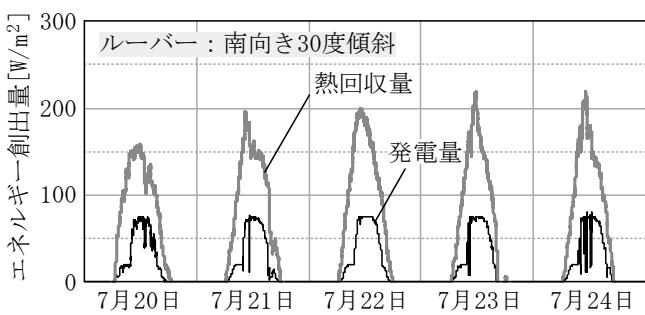


図-4 エネルギー創出量(夏季)
Fig. 4 Energy production in summer

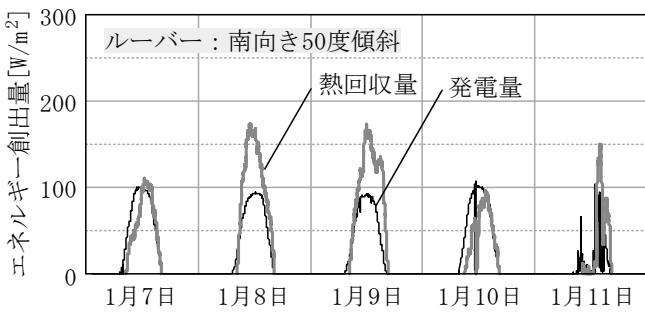


図-5 エネルギー創出量(冬季)
Fig. 5 Energy production in winter

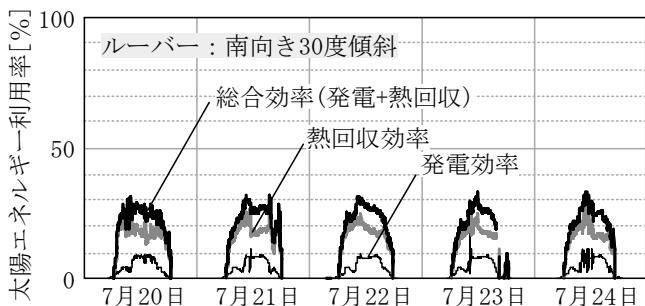


図-6 太陽エネルギー利用率(夏季)
Fig. 6 Efficiency of energy production from solar energy in summer

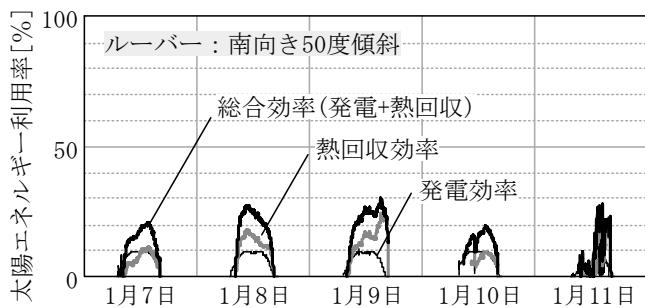


図-7 太陽エネルギー利用率(冬季)
Fig. 7 Efficiency of energy production from solar energy in winter

4. CO₂排出削減量推定の試み

測定結果に基づき発電量とルーバー出口水温の予測を重回帰分析で試みた。測定期間における気象 3 要素(水平面日射量、気温、風速)とルーバー入口水温を

説明変量にした。分析の結果、以下の回帰式を得た。

$$Y_1 = 0.09X_1 - 4.22X_2 + 2.00X_3 + 6.24X_4 - 72.40 \quad R^2 = 0.87 \quad (1)$$

$$Y_2 = 0.01X_1 + 0.77X_2 - 0.27X_3 + 0.68X_4 - 12.82 \quad R^2 = 0.98 \quad (2)$$

$$Y_3 = 0.18X_1 - 1.66X_2 - 0.06X_3 + 8.38X_4 - 81.22 \quad R^2 = 0.96 \quad (3)$$

$$Y_4 = 0.01X_1 + 0.57X_2 - 0.31X_3 + 0.82X_4 - 3.10 \quad R^2 = 0.94 \quad (4)$$

ここで

Y_1 : 発電量 (夏季)	[W/m ²]
Y_2 : 出口水温 (夏季)	[°C]
Y_3 : 発電量 (冬季)	[W/m ²]
Y_4 : 出口水温 (冬季)	[°C]
X_1 : 水平面日射量	[W/m ²]
X_2 : 気温	[°C]
X_3 : 風速	[m/s]
X_4 : 入口水温	[°C]
R^2 : 自由度調整済み決定係数	[—]

測定値と回帰式による計算値の比較結果を図-8から図-11に示した。図-8では式(1)による夏季の発電量の計算値を、図-9では式(2)による夏季の出口水温の計算値を、図-10では式(3)による冬季の発電量の計算値を、図-11では式(4)による冬季の出口水温の計算値を測定値と共に示した。

図-8から図-11に示したとおり式(1)から式(4)の予測精度は比較的に良く、得られた回帰式で測定値を再現できることを確認できた。

これらの回帰式で夏季と冬季のエネルギー創出量とCO₂排出削減量の推定を試みた。その内容を表-2に示す。計算では東京における昨年の気象庁観測値を用いた。入口水温は夏季(8月)で30°Cを冬季(1月)で10°Cを各々仮定した。ルーバーは南向きで夏季(8月)で30度傾斜を冬季(1月)で50度傾斜を各々仮定した。

計算の結果、受光単位面積あたりの発電量は夏季(8月)で12.6[kWh/(m²・月)]で冬季(1月)で13.1[kWh/(m²・月)]となった。熱回収量は夏季(8月)で109.9[MJ/(m²・月)]で冬季(1月)で79.8[MJ/(m²・月)]となり、A重油の発熱単位39.1[MJ/L]で計算すると1ヶ月で受光単位面積あたりA重油で2Lから3L相当の節約ができる。

また、CO₂排出削減量は発電起因と熱回収起因の合計で受光単位面積あたり夏季(8月)で14.3[kg-CO₂/(m²・月)]で、冬季(1月)で11.9[kg-CO₂/(m²・月)]という結果が得られた。

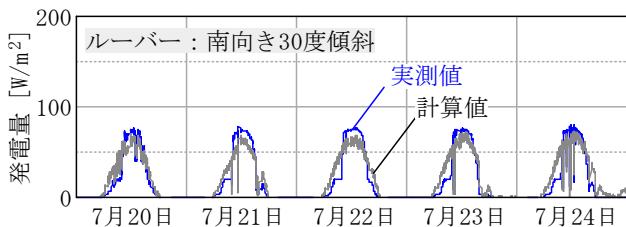


図-8 発電量(夏季)の計算値と実測値の比較

Fig.8 Comparison between calculation and field test on generation of electricity in summer

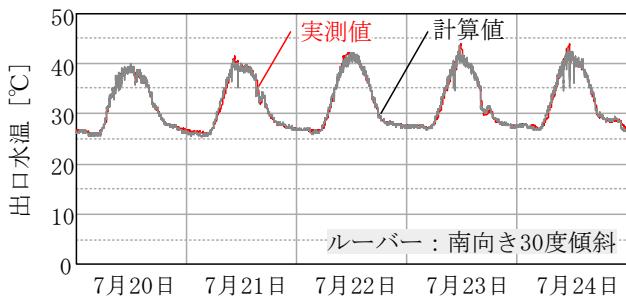


図-9 出口水温(夏季)の計算値と実測値の比較

Fig.9 Comparison between calculation and field test on water temperature passed through hybrid solar louver in summer

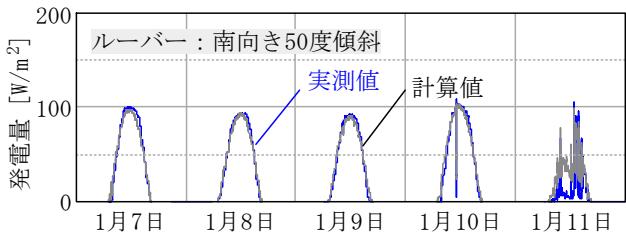


図-10 発電量(冬季)の計算値と実測値の比較

Fig.10 Comparison between calculation and field test on generation of electricity in winter

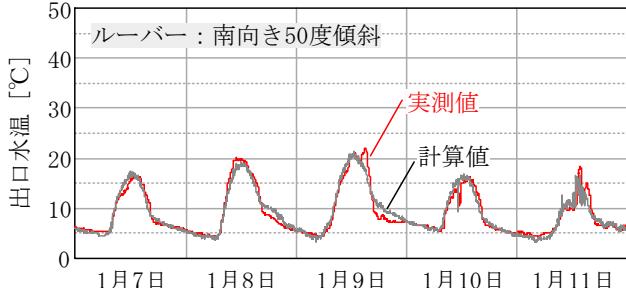


図-11 出口水温(冬季)の計算値と実測値の比較

Fig.11 Comparison between calculation and field test on water temperature passed through hybrid solar louver in winter

表-2 エネルギー創出量とCO₂排出削減量の計算結果
Table2 Calculated results of energy production and CO₂ reduction

項目	夏季	冬季
計算条件	東京	東京
	2)全天日射量	気象庁(2010年8月)
	3)気温	気象庁(2010年1月)
	4)風速	
	5)入口水温	30[°C]
	6)設置内容	南向き30度傾斜
計算結果	1)エネルギー創出量	
	①発電量	12.6 [kWh/(m ² ・月)]
	②熱回収量	109.9 [MJ/(m ² ・月)]
	2)CO ₂ 排出削減量 ^(注)	
①発電起因	4.8 [kg-CO ₂ /(m ² ・月)]	5.0 [kg-CO ₂ /(m ² ・月)]
	②熱回収起因	9.5 [kg-CO ₂ /(m ² ・月)]
②熱回収起因	6.9 [kg-CO ₂ /(m ² ・月)]	

注)文献3)を参考にCO₂排出係数には次の値を用いた。

電力 : 0.378 [kg-CO₂/kWh]、A重油 : 2.71 [kg-CO₂/L]

5. まとめ

試作した熱回収型太陽電池ルーバーのエネルギー創出量と太陽エネルギー利用率について、夏季と冬季の比較的良く晴れた期間における屋外実験結果を示した。

また、夏季と冬季の発電量と出口水温を重回帰分析による回帰式で推定できることを示し、エネルギー創出量とCO₂排出削減量を計算した。

今後は日射遮蔽による冷房負荷削減効果を検討して総合的な評価をする予定である。また、病院等の給湯負荷の多い建物への適用を検討する予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、旭ビルウォール株式会社と積水化学工業株式会社の関係者の方々には、多大なるご協力を戴きました。ここに記して、深く感謝いたします。

参考文献

- 梅田和彦,生天目泰 : 热回収型太陽電池ルーバーに関する実験的研究,日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 II,pp.179-180,2010.9
- 梅田和彦,生天目泰 : 热回収型太陽電池ルーバーに関する実験的研究,人工気象室実験と屋外実験による検討,大成建設技術センター報 第43号,2010.12
- 環境省地球環境局 : 事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン(試案)ver1.6,2003.7