

コケ植栽による屋上緑化システムの熱的性能に関する研究  
 (第6報) コケ植栽と芝植栽の熱収支比較

Study on the Thermal Characteristics of Rooftop Greening System of Moss planting  
 (Part6) Comparison of Heat Balance of Moss planting and Grass planting

正会員 馬 蓉蓉 (日建設計)      正会員 加治屋 亮一 (明治大学)  
 正会員 酒井 孝司 (明治大学)      正会員 久保 隆太郎 (日建設計総合研究所)

Rongrong MA\*<sup>1</sup> Ryoichi KAJIYA\*<sup>2</sup> Koji SAKAI\*<sup>2</sup> Ryutaro KUBO \*<sup>3</sup>

\*<sup>1</sup> Nikken Sekkei. \*<sup>2</sup> Meiji University. \*<sup>3</sup> Nikken Sekkei Research Institute.

In this paper, heat balance expenditure specification is analyzed based on the experimental measurement for moss planting and grass planting. As a result for moss planting, 1) the effect of prevention from scorch crowding and heat insulation is verified, 2) because of the larger sensible heat amount, it showed great anticipated effectiveness for easing of heat-island effect and decreasing of the cooling and heating load of heat resource equipment.

はじめに

既報<sup>1),2)</sup>では、コケ植栽による屋上緑化システムの測定実験を行い、焼け込み防止・照り返し防止効果があることを確認した。また、コケ植栽による屋上緑化のヒートアイランド現象の緩和効果を定量的に評価するために、蒸発散量の測定実験を行い、コケ植栽と芝植栽を用いて、蒸発散作用について気象データとの関連の検討を行った。夏季の保水状態において、コケ植栽屋上緑化周りの熱改善効果が認められ、冬季の保水状態において、コケ植栽と芝植栽の蒸発散量が同程度の値が認められた。

本報では、散水等の維持管理が必要なく、低コストで軽量なコケ植栽による屋上緑化に着目し、ヒートアイランド現象緩和効果を明らかにすることを目的とし、芝植栽とコケ植栽を対象にその熱収支特性を分析した。

1. 屋上緑化システム温度測定実験概要

1.1 実験概要

実験は、明治大学生田キャンパス第2校舎5号館屋上で行った。図-1、表-1に屋上緑化システムの概要と各試験体の構成を示す。工法・構成の違いにより4つのエリアに分け、エリア<sup>1</sup>とエリア<sup>2</sup>は芝植栽で、エリア<sup>3</sup>とエリア<sup>4</sup>はコケ植栽を使用した。各試験体の構成部材にはエコマテリアルを使用した。エリア<sup>1</sup>のロックウールとエリア<sup>2</sup>の土壌の厚さは10cmである。芝植栽は夏季のみ一日一回散水を行った。コケ植栽は自然の降雨とした。コケ植栽による屋上緑化システムの断熱効果を検証するため、表-2に示す測定機器により、気象概況と図-2に示す各層の温度を測定した。

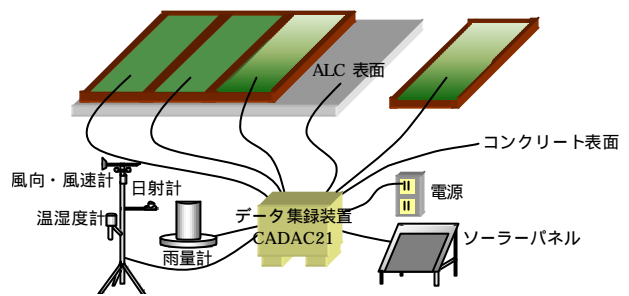


図-1 屋上緑化システム概要図

表-1 各試験体の構成

エリア	構成
エリア <sup>1</sup>	芝+ロックウール+ALC
エリア <sup>2</sup>	芝+ロックウール+土壌+防水マット+ALC
エリア <sup>3</sup>	生コケ+ロックウール+ALC
エリア <sup>4</sup>	生コケ+ロックウール+トレイ

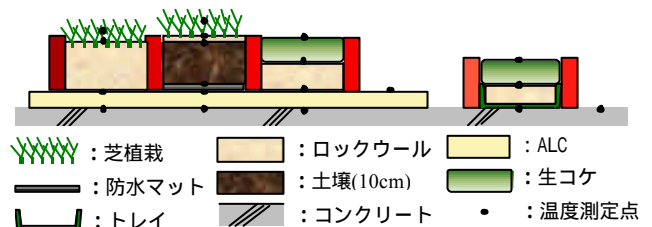


図-2 屋上緑化システム概要図

表-2 屋上緑化システム温度測定実験時の測定機器

測定項目	測定機器		
	名称(型番)	メーカー	主な仕様
温度	熱電対 (0.32×12PT, G=π)	江藤電気株	T型、ビニル被覆、素線径0.32mm
温湿度	温湿度プローブ (HMP45A/HMP46D)	VAISALA株	湿度計: HUMICAP180高分子薄膜センサ 温度計: 厚膜抵抗センサ(Pt100, Pt1000)
日射量	全天日射計 (PCM-03A)	株ブリード	波長範囲: 305~2800nm
雨量	雨量計 (370)	株ブリード	転倒升方式: 分解度0.5mm/min
風向・風速	風向風速計 (034s)	株ブリード	測定範囲: 風速0~60m/s、風向0~360°

## 1.2 実験結果

図 - 3 に夏季 (2008/07/04 ~ 06)、図 - 4 に冬季 (2008/12/05 ~ 07) における屋上緑化システムの温度測定データを示す。測定データは、1 日目が降雨日、2、3 日目が晴天日となる期間を選択した。測定結果より、夏季において、各エリアのコケ植栽表面温度とコンクリートスラブ表面温度を比較すると、1 日目において、全てのエリアの表面温度が、コンクリートスラブ表面温度より低い値を示し、エリア で最大 11 の差を生じた。これは、屋上緑化システムが保水状態であったため、蒸発潜熱により、各エリアの表面温度が低下したためだと考えられる。また、2、3 日目エリア 以外の各エリアの表面温度がコンクリートスラブ表面温度より低い値を示し、エリア との差が一番大きく、これは使用しているロックウールの保水性が優れ、他のエリアよりも保水状態が長く続いたためである。コンクリート表面の温度変化は非常に大きく、日較差で約 25 で、屋上緑化システム約 10 であり、断熱効果が認められた。下部温度に着目すると、エリア 下部温度経時変化が他のエリアより 2 時間異なり、この原因は 10cm の土壌の断熱性だと考えられる。冬季においても、表面温度で比べると、エリア の表面温度が日中において一番低く、夜間において一番高く、他のエリアより保水性が優れている。保水状態で、コケ植栽表面温度が芝植栽より低いことが認められた。下部温度でみると、夏季と同じ傾向であり、エリア の下部温度の変動が少なく、断熱性一番優れている。以上より、コケ植栽による屋上緑化システムの日射の焼けこみ防止効果、断熱効果が認められた。

## 2. 屋上緑化システム温度測定実験概要

### 2.1 実験概要

本実験では、日射計と分光反射率が既知の白、黒 2 枚の標準板を用いた日射反射率の現場測定法 (以下、二点校正法) を用いて、日射反射率を測定する<sup>3)</sup>。

### 2.2 実験方法

分光特性を考慮した日射反射率の測定は 2008 年 7 月 2 日の 12:00 から 13:15 まで行った。当日の天候は雲が少ない晴れで降水がなかった。芝植栽は緑が茂る状態である。表 - 3 に長短波放射計の主な仕様を示す。長短波放射計を測定対象面から 30cm の高さに固定し、それぞれ上下方向に設置し、表 - 4 に示す性能値を持った白及び黒の標準板を用い、実験を行った。

### 2.3 実験結果

式(1)に二点校正法の基本式を示す。芝植栽、標準白板、標準黒板、コケ植栽の日射反射率の測定結果を表 - 5 に示す。この測定結果を用いて式(1)に示す二点校正法の基本式により日射反射率の算出を行った。図 - 5 に算出結果を示す。コケ植栽と芝植栽のアルベド (日射反射率実

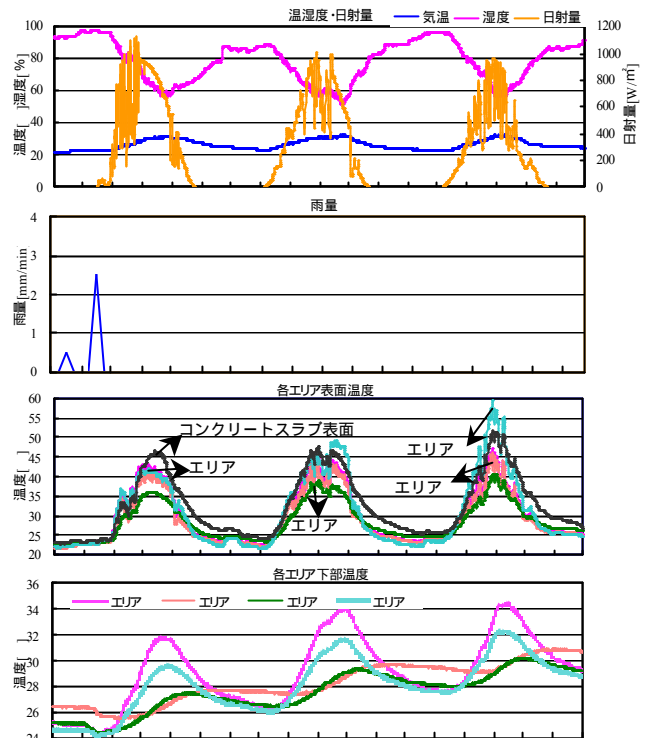


図 - 3 夏季屋上緑化システム温度測定データ(2008/07/04~06)

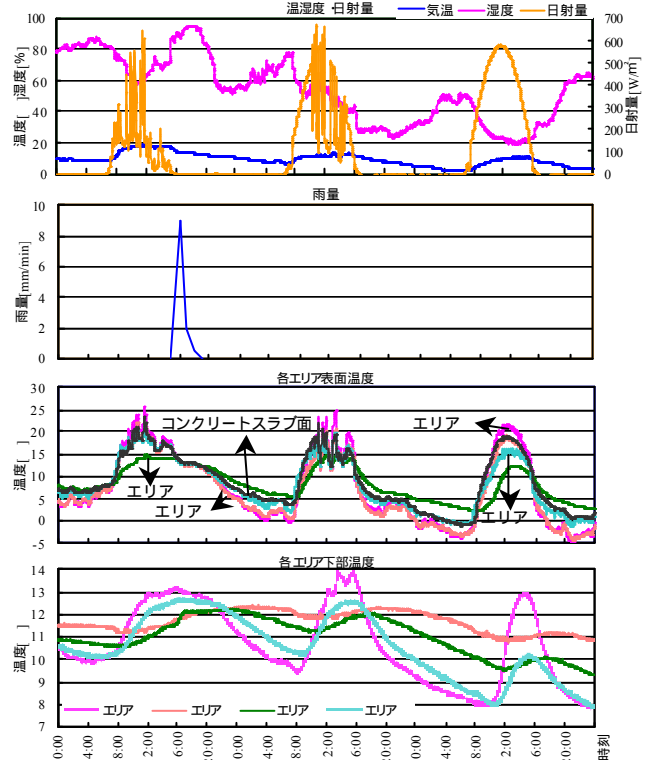


図 - 4 冬季屋上緑化システム温度測定データ(2008/12/05~07)

表 - 3 長短波放射計の主な仕様

測定項目	測定機器		
	名称(型番)	メーカー	主な仕様
日射量放射計	長短波放射計 (MR-50)	英弘精機(株)	日射計部: スペクトル範囲305~2800nm (50%点) 赤外放射部: スペクトル範囲5~50μm

$$r_x = \frac{r_w - r_b}{R_w - R_b} R_x + \frac{R_w r_b - R_b r_w}{R_w - R_b} \dots \dots \dots (1)$$

$r_x, r_w, r_b$ : 試験体、標準白板、標準板黒の日射反射率(性能値)  
 $R_x, R_w, R_b$ : 試験体、標準白板、標準板黒の日射反射率(実測値)

表 - 4 標準板の性能値

標準白板( $r_w$ )	標準黒板( $r_b$ )
0.898	0.142

表 - 5 日射反射率の測定結果

	標準白板( $R_w$ )	標準黒板( $R_b$ )
コケ( $R_x$ )	0.161	0.582
芝( $R_x$ )	0.160	0.128

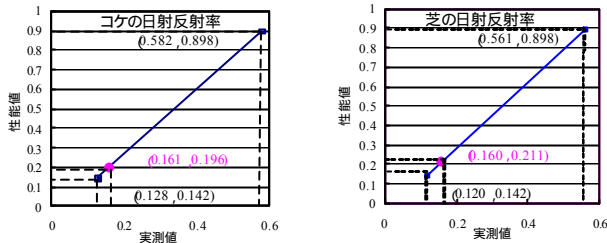


図 - 5 日射反射率の測定結果

測値は 0.161、0.160 でほぼ同程度であった。二点校正法による値は、コケが 0.191、芝が 0.211 であった。二点校正法の精度から考えると、コケと芝植栽の日射反射率は同程度と思われる。

### 3. 屋上緑化システムの熱収支による評価

#### 3.1 概要

コケ植栽による屋上緑化のヒートアイランド現象緩和効果を定量的に評価するため、コケ植栽エリア 表面と芝植栽エリア 表面の熱収支を解いた。図 - 6に測定断面図を、図 - 7に屋上面の熱収支の概要を示す。屋上面では、短波放射と長波放射をまとめた量である正味放射量、屋上の表面と外気の温度差によって生じる顕熱量、屋上面の水分が蒸発する際に消費される潜熱量、屋上面と下層の温度差によって伝わる伝導熱が入り出している。収支関係は式(2)で表される。本研究の各測定実験で得られた測定データを基に、熱収支を算出した。

$$R_n = H + IE + G \quad \dots\dots\dots (2)$$

$R_n$  : 正味放射量 [ $W/m^2$ ]     $H$  : 顕熱量 [ $W/m^2$ ]  
 $IE$  : 潜熱量 [ $W/m^2$ ]         $G$  : 伝導熱量 [ $W/m^2$ ]

正味放射量  $R_n$  は、式(3)において、長短波放射計により測定した日射量、反射日射量、大気放射量、地表面放射量から算出を行った。

$$R_n = S \downarrow - S \uparrow + L \downarrow - L \uparrow \quad \dots\dots\dots (3)$$

$S \downarrow$  : 日射量 [ $W/m^2$ ]         $S \uparrow$  : 反射日射量 [ $W/m^2$ ]  
 $L \downarrow$  : 大気放射量 [ $W/m^2$ ]     $L \uparrow$  : 地表面放射量 [ $W/m^2$ ]

また、蒸発量から求めた蒸発速度と式(4)により求めた気化の潜熱を掛け合わせるにより算出を行った。

$$I = 2.5 \times 10^6 - 2400 \cdot q_s \quad \dots\dots\dots (4)$$

$I$  : 気化の潜熱 [ $J/kg$ ]  
 $q_s$  : 表面温度 [ ]

伝導熱量  $G$  は、コケ植栽と芝植栽に測定した通過熱量を用いた。顕熱量  $H$  に関しては、式(2)の残差として算出した。

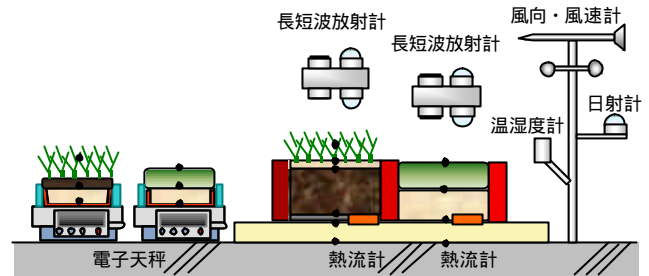


図 - 6 測定項目及び測定点断面図

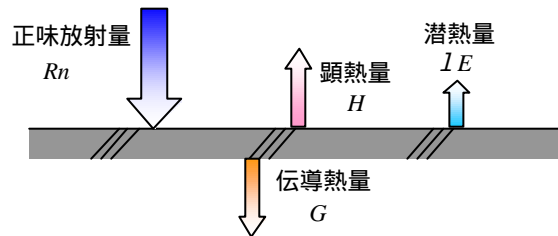


図 - 7 屋上面の熱収支概要

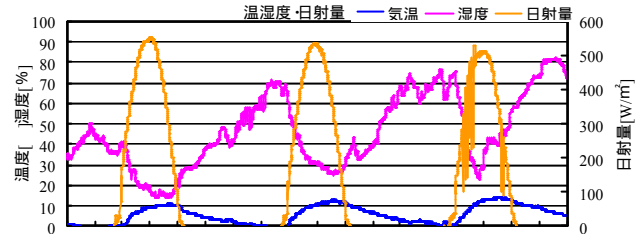


図 - 8 気象状況 (2008/12/27 ~ 12/29)

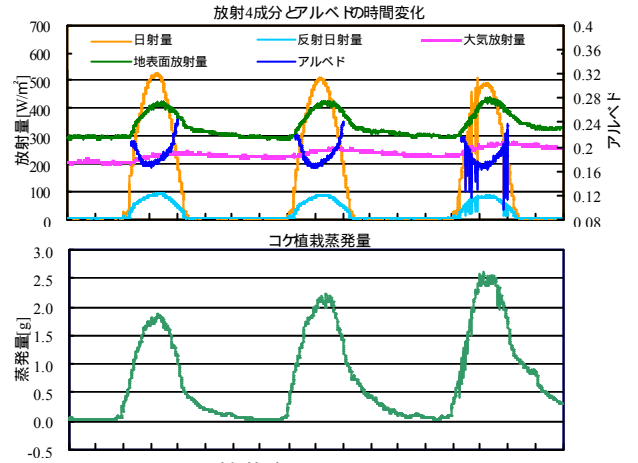


図 - 9 コケ植栽表面 (2008/12/27 ~ 12/29)

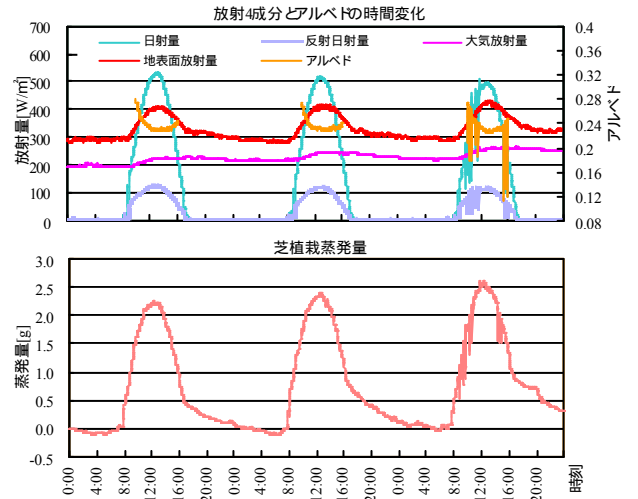


図 - 10 芝植栽表面 (2008/12/27 ~ 12/29)

### 3.2 解析結果

図 - 8~ 図 - 10 に、2008/12/27 ~ 12/29 における気象概況と、コケ植栽表面及び芝植栽表面で測定した値を示す。図 - 11 ~ 図 - 12 に、熱収支の経時変化を示す。なお、コケ植栽のデータエリア の測定値を、芝植栽のデータはエリア の測定値を用いた。結果より、芝とコケ植栽のアルベドを注目すると、冬季においても、コケ植栽のアルベドは夏季測定値と同程度の値を示した。一方、冬季における芝植栽のアルベドは夏季に比べて若干高い値となった。これは芝が冬季に近づくと、色が緑色から黄色に変わっていくためと考えられる。正味放射量は日中において、コケ植栽の方が高い値を示し、夜間において、コケと芝植栽はほぼ同じ値を示した。日中におけるコケと芝植栽の熱収支をみると、コケの伝導熱量が芝より最大約 40W/m<sup>2</sup>の差が見られ、建物内部に伝わっていく熱量を減らし、建物上層階の室内熱負荷低減が期待できる。潜熱量で比べると、コケ植栽の日中における潜熱量が芝植栽より低く、最大約 20W/m<sup>2</sup>の差を生じた。夜間における潜熱量が、コケ・芝植栽とも同じ値を示した。顕熱量に着目すると、日中において、コケの顕熱量は芝より多く、最大 70W/m<sup>2</sup>の差を生じた。夜間において、コケ植栽の顕熱量が芝より低い値を示した。この原因は芝植栽の蒸発量がコケより多く、蒸発散作用が優れていると考えられる。日中においてもコケ・芝の顕熱が負の値となることもある。顕熱が直接大気を暖めると考えれば、屋上緑化システムはヒートアイランド緩和が期待できる。

### 4. まとめ

コケ植栽による屋上緑化のヒートアイランド現象の緩和効果を定量的に評価するため、各測定実験を基に、コケ植栽と芝植栽の熱特性や熱収支の検討を行った。

その結果、以下の知見を得た。屋上緑化システム温度測定実験より、コケ植栽による屋上緑化システムの日射の焼けこみ防止効果、断熱効果が認められた。日射反射率測定実験より、二点校正法を用いて、コケ植栽と芝植栽の日射反射率ほぼ同程度であることを明らかにした。屋上緑化システムの熱収支による評価より、コケ植栽表面では、日中に顕熱が芝植栽より大きく、潜熱、伝導熱が小さくなった。伝導熱が室内への熱負荷であるとするれば、コケ植栽による屋上緑化システムにより、ヒートアイランド現象の緩和や、冷暖房負荷の低減が期待できる。

#### 参考文献

- 1) 加治屋ら：屋上のコケ植栽による熱的性能に関する研究、空気調和・衛生工学会、(第1報～第5報)、2005-2008
- 2) 加治屋ら：屋上緑化システムの蒸発散作用に関する研究-コケ植栽と芝植栽の比較-、日本建築工学会学術講演会研究発表論文集、pp.177-178、2008.10
- 3) 村田ら：高反射率塗料施工面の日射反射率現場測定法に関する研究 標準板二点校正法の提案及び水平面における精度確認、日本建築学会環境系論文集、pp.1209-1215、2008.8

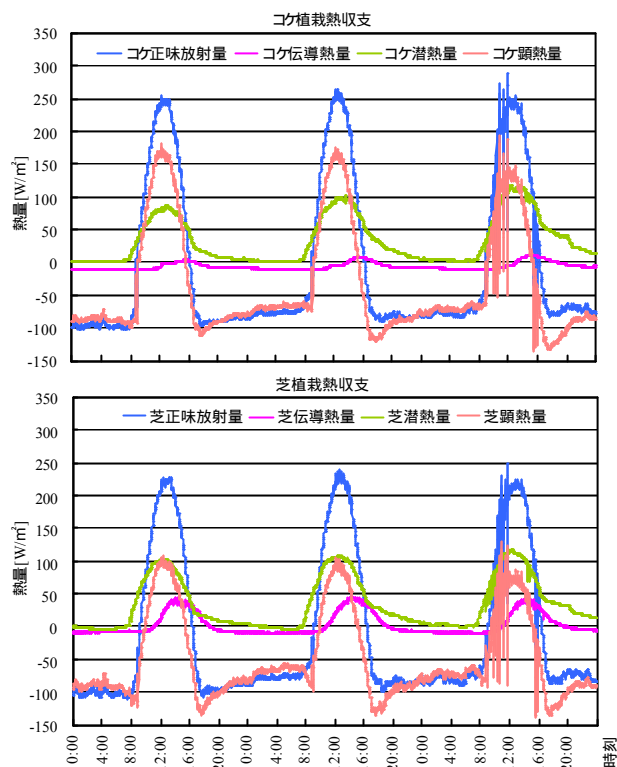


図 - 11 熱収支の経時変化 (2008/12/27 ~ 12/29)

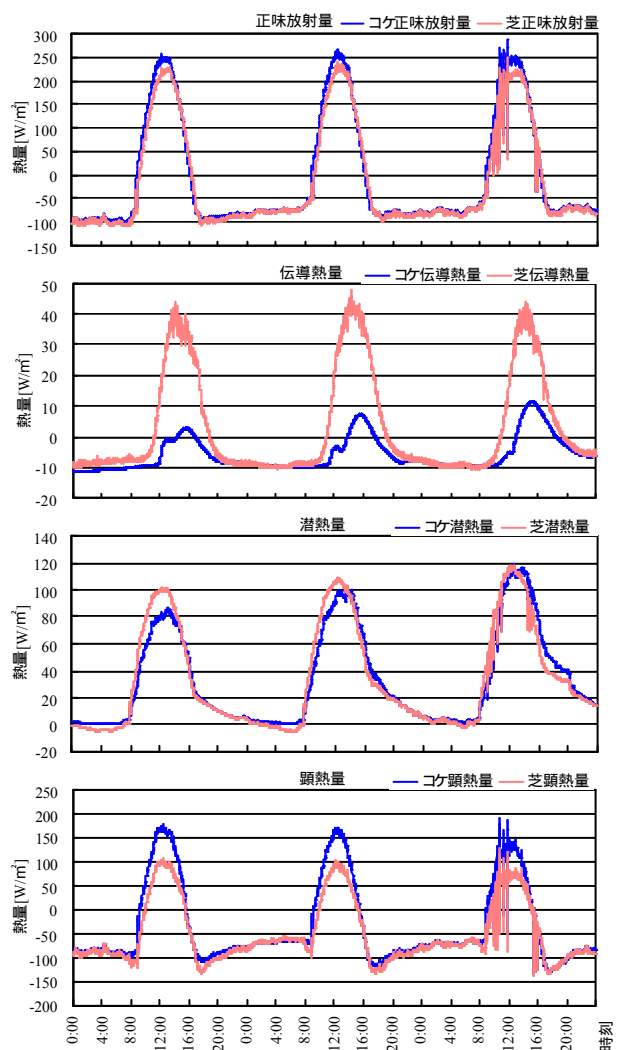


図 - 12 熱収支項別の比較 (2008/12/27 ~ 12/29)