

日射遮蔽シートによる金属製折板の遮熱性能向上効果に関する実測

報告書

平成 23 年 5 月

日本ワイドクロス株式会社

目 次

第1章 序論

- 1.1 実証背景
- 1.2 実証目的
- 1.3 本報告書の構成

第2章 実測による日射遮蔽シートの遮熱効果の把握

- 2.1 本章の目的
- 2.2 対象建物
- 2.3 測定概要
 - 2.3.1 測定期間
 - 2.3.2 日射遮蔽シートの概要
 - 2.3.3 測定項目と測定機器
 - 2.3.4 測定点
 - 2.3.5 測定状況
- 2.4 本章のまとめ

第3章 夏季の実測結果と考察

- 3.1 本章の目的
- 3.2 屋根表面温度分布
 - 3.2.1 シート半分条件時の屋根上熱画像
 - 3.2.2 各条件における屋根表面温度の結果
- 3.3 各条件における天井及び各壁面からの流入熱量の結果
- 3.4 各条件におけるエアコンの消費電力量の結果
- 3.5 各条件における鉛直温度分布の結果
- 3.6 遮蔽シート有無時に於ける等価外気温と天井からの流入熱量の関係
- 3.7 本章のまとめ

第1章 序論

1.1 実証背景

ヒートアイランド現象を緩和するためには建物からの排熱抑制が求められ、近年、建物における冷房負荷削減に関する関心が高まっている。大きな冷房負荷源である室内への侵入熱量の削減方法として日射遮蔽シートが有効である。

1.2 実証目的

本実証では、夏季に天井からの流入熱量が膨大である金属製折板屋根を有する建物を対象とした実測を行い、エコ改修手法として日射遮蔽シートを屋根に敷設することにより改善される屋根の遮熱性能を定量的に評価することを目的とする。本測定は、①遮熱シートの敷設有無が室内流入熱量と消費電力低減に及ぼす影響の把握、②屋根・天井間熱移動解析を行うための境界条件と精度検証用データの収集を目的とする。

1.3 本報告書の構成

本報告書の構成図を図 1.1 に示す。

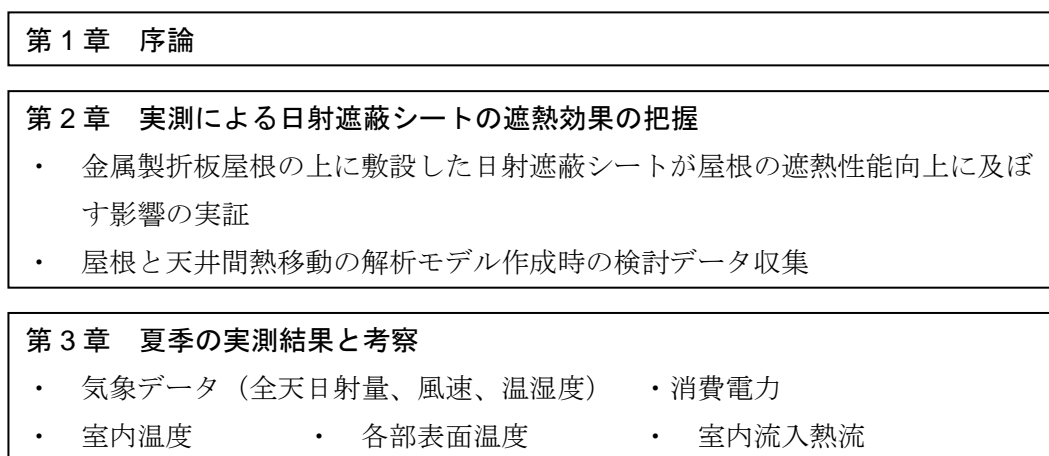


図 1.1 本報告書の構成

1.4 実証協力機関

大阪大学工学研究科地球総合工学専攻建築・都市環境工学領域

第2章 実測による日射遮蔽シートの遮熱効果の把握

2.1 本章の目的

本章では、実測概要について報告する。測定は以下の2か所で行った。国設大阪大気環境測定所では気象データ、温度、熱流、消費電力などを行っており、南海団地では室内温湿度1か所、室外温湿度1か所、消費電力と簡易測定を行った。しかし、南海団地では遮熱効果の評価を行うにはデータが不足しているため、本報告書では国設大阪大気環境測定所の実測結果のみを報告する。

- 国設大阪大気環境測定所（詳細測定）：大阪市東成区中道 1-3-62



図 2.1 測定場所（国設大阪大気環境測定所）

- 南海団地（簡易測定）：阪南市舞 4-6-14



図 2.2 測定場所（南海団地）

2.2 対象建物

■ 国設大阪大気環境測定所

測定対象の建物は4階建ての建物の屋上に位置する小屋である。建物の周辺に建物はあるが屋根の日射を遮る可能性のある障害物はない。

測定建物を図2.3、図2.4に示す。平面寸法は4.1×7.3m、天井高2.1mであり、金属製の折板屋根を有する鉄骨造耐火建物である。建物は折板屋根にはロックウールが吹きつけられており、天井から屋根までの天井裏空間の高さは0.09～0.25mである。室内には換気扇、エアコン、大気測定機器数台があり、東側のみ窓（1.8×0.9m×2か所）が施されている。北側にはポンベ室が設けられており、換気扇が施されている。



図 2.3 実証対象(屋上)



図 2.4 実証対象の折板屋根

■ 南海団地

建物の周辺に建物はないが、西側に木が屋根の日射を遮る可能性がある。
建物を図 2.5、図 2.6 に示す。

室内側の平面寸法は 3.5×5.8m、金属製の折板屋根を有するコンクリートブロック造の建物
である。室内に換気扇、エアコン、大気測定機器数台があり、窓はない。



図 2.5 実証対象



図 2.6 実証対象の折板屋根

2.3 測定概要

2.3.1 測定期間

全測定期間を表 2.1 に示す。測定期間の内、夏季測定期間を 2010 年 7 月 1 日～2010 年 8 月 31 日とする。

表 2.1 測定期間

測定場所	測定期間
国設大阪大気環境測定所	2010 年 5 月 26 日～2011 年 3 月 22 日
南海団地	2010 年 6 月 4 日～2011 年 3 月 22 日

■ 国設大阪大気環境測定所の測定条件

国設大阪大気環境測定所における夏期の測定条件を表 2.2 に示す。

表 2.2 夏期測定条件（国設大阪大気環境測定所）

条件	測定期間	測定結果代表日
シートあり	2010.7.1 - 7.21	2010.8.15
	2010.8.11 - 8.31	
シート半分	2010.7.22 - 7.27	2010.7.23
シートなし	2010.7.29 - 8.9	2010.8.1

2.3.2 日射遮蔽シートの概要

評価対象の日射遮蔽シート（以下、遮熱シート）は金属製の折板屋根の山形頂部のボルトにブラケットを取り付け、ブラケットの上部に遮熱シートを固定するものである。遮蔽シートは幅 30cm の帯状であり、シートとシートの間からの通気によって、シートと屋根の間(以下、シート下部空間)に停滞しやすい高温の空気の除去が促進されると考えられる。遮熱シートは黒色のポリエチレン樹脂織物、日射を授受する遮熱シートの上面はステンレス蒸着が施されている。遮熱シートの施工例を図 2.7 に、施工後の断面図を図 2.8 に示す。

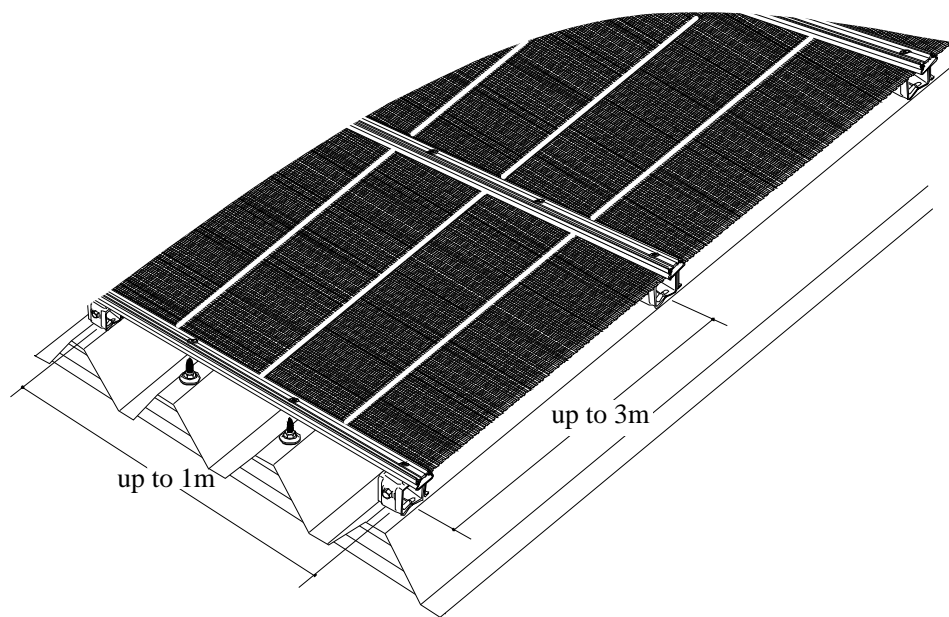


図 2.7 遮熱シート施工例

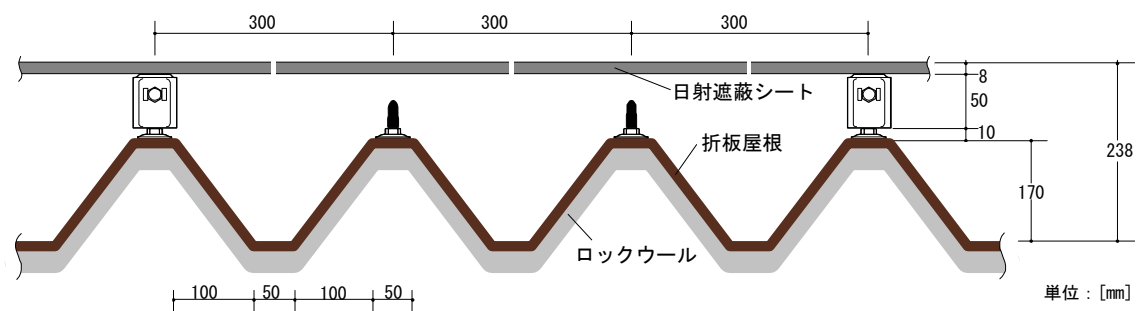


図 2.8 遮熱シート施工後の断面図

2.3.3 測定項目と測定機器

測定項目、測定機器、測定間隔を表 2.3、表 2.4 に示す。

表 2.3 国設大阪大気環境測定所の測定項目・機器・間隔

測定項目	メーカー	型番	測定間隔
気象データ（気温、湿度、降水量、日射量、風向、風速）	SEC	Weather Bucket TA-WL-2S	10分
消費電力量	Panasonic 電工	KW1MH	10分
室内温湿度（平面分布）	T&D	おんどとり RTR53	5分
外気温湿度	T&D	おんどとり RTR53	5分
室内温度（鉛直分布）		φ 0.3mm T型熱電対	1分
エアコンの吸込み口温湿度 吹出し口温湿度	T&D	おんどとり RTR53	5分
熱流（天井・床）	英弘精機	MF-200	1分
熱流（壁面）	江藤電気	M55A	1分
エアコンの吸込み口風速 吹出し口風速	本田工業 KANOMAX	ホンフィールド風速計 Anemomaster 4ch Model 1570	1分
エアコン風量	Swema	Flow2000	1秒
全天日射量(屋上)	英弘精機	MS-402	1秒
換気量測定 (IAQ モニター)	KANOMAX	Model 2211	1秒

測定機器	メーカー	型番	測定間隔
データロガー	YOKOGAWA	DA100	

表 2.4 南海団地の測定項目・機器・間隔

測定項目	メーカー	型番	測定間隔
室内外温湿度	T&D	おんどとり RTR53	15分
消費電力量	Panasonic 電工	KW1MH	15分

2.3.4 測定点

■ 国設大阪大気環境測定所（詳細測定）

国設大阪大気環境測定所の配置図と屋外測定点を図 2.9 に、平面図、断面図と測定点を図 2.10 に示す。屋根伏図を図 2.11 に、天井裏・屋根上部鉛直温度測定点を図 2.12 に示す。

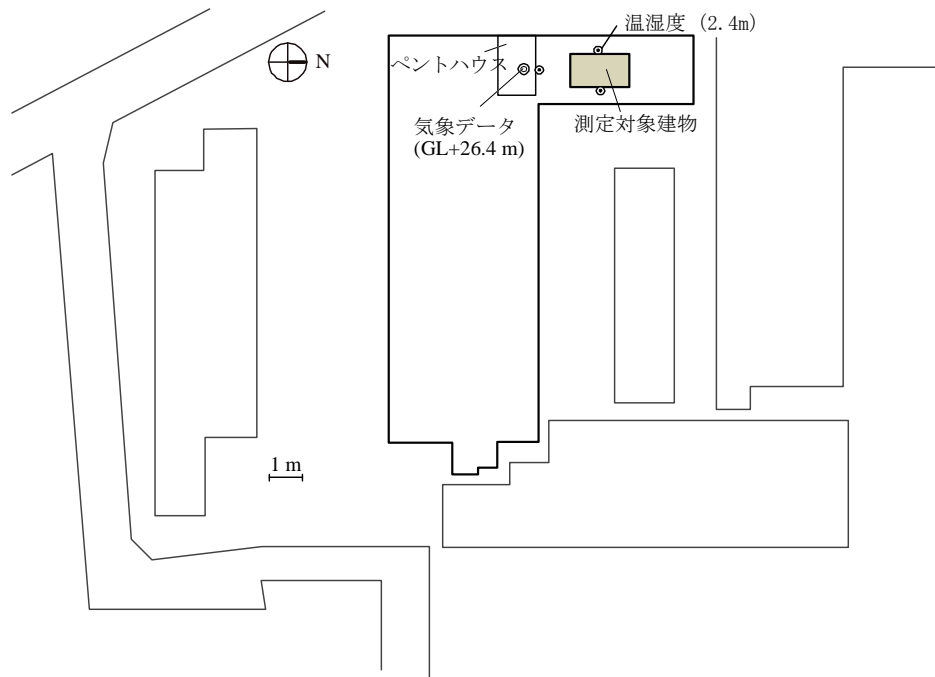
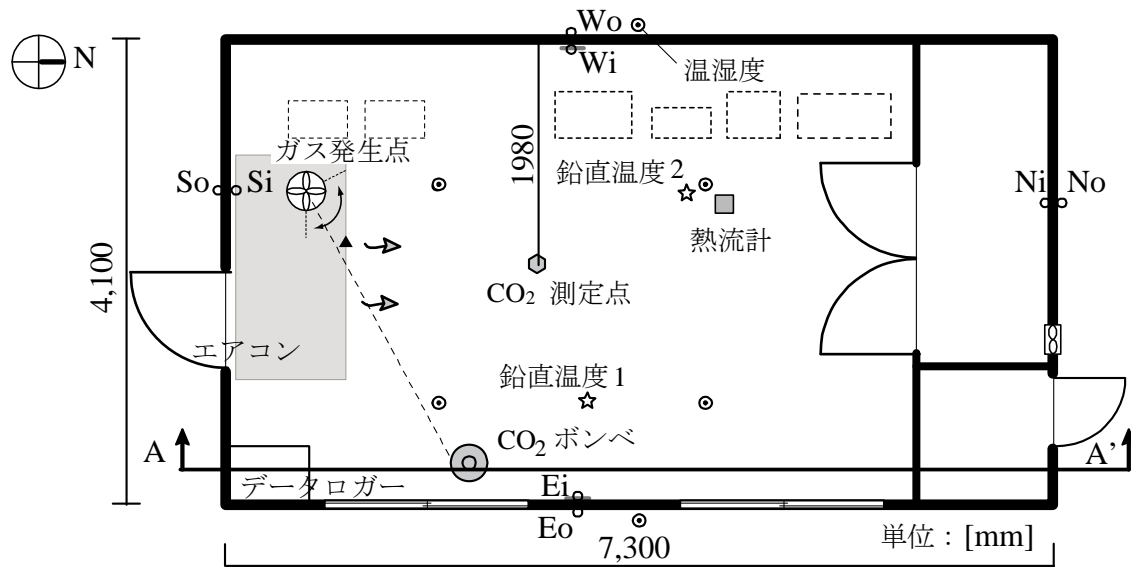
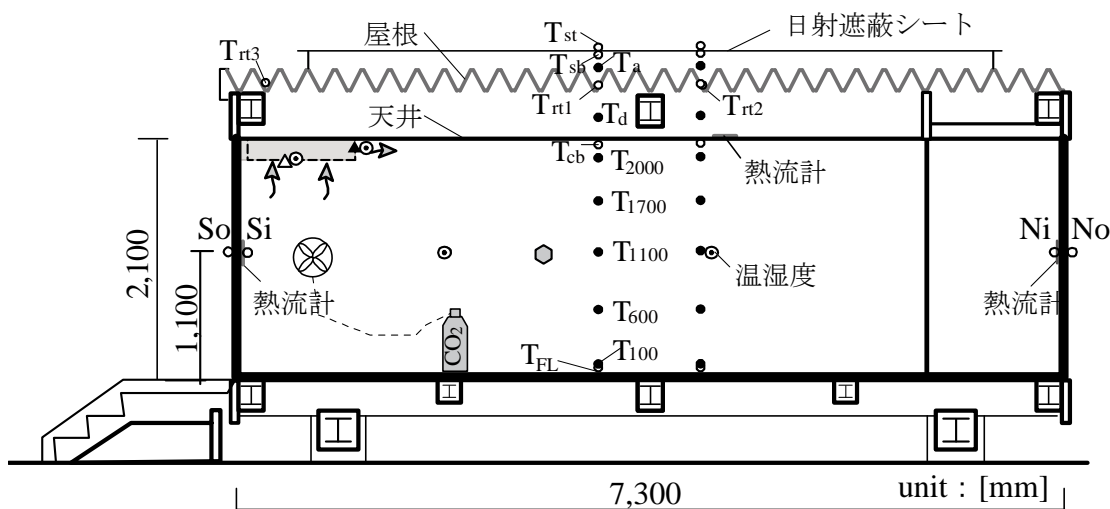


図 2.9 配置図と屋外測定点



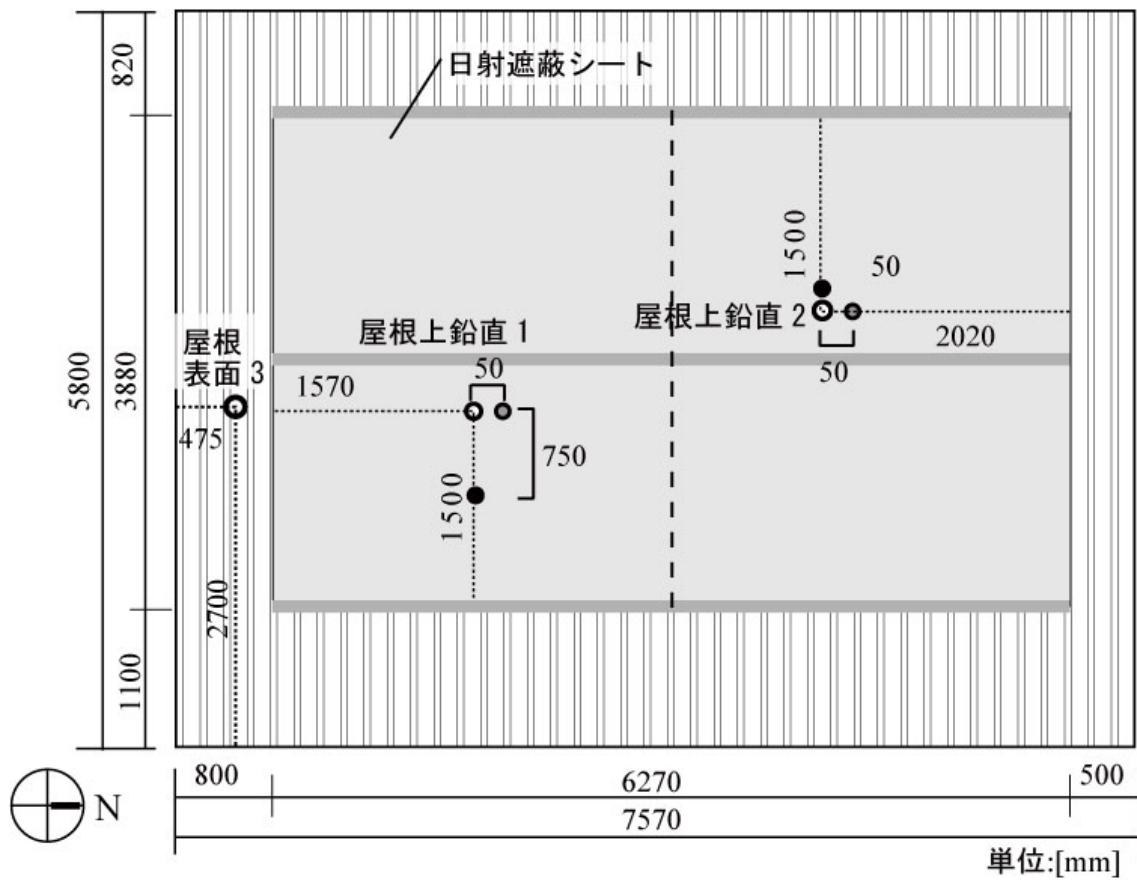
平面図



断面図

▲ 風速 1	エアコン吹出し口 (ホンフィールド)
△ 風速 2	エアコン吸込み口 (ホンフィールド、4CH)
☆ 温度の鉛直分布測定2	代表2カ所
● 空気温度 14	☆2カ所×7
◎ 温湿度 9	平面4、室外3、エアコン2
○ 表面温度 21	☆2カ所×6、屋根面 (T _{rt} 3)、壁面8
■、— 熱流 6	☆天井裏1、床面1、壁面4
● CO ₂ 濃度	
※ 室内温湿度、壁表面温度、CO ₂ 濃度の測定位置 : FL+1100mm	

図 2.10 建物平面図・断面図及び測定点



*シート半分条件：上図の点線より南側はシート無、北側はシート有

図 2.11 屋根伏図と屋根上測定点

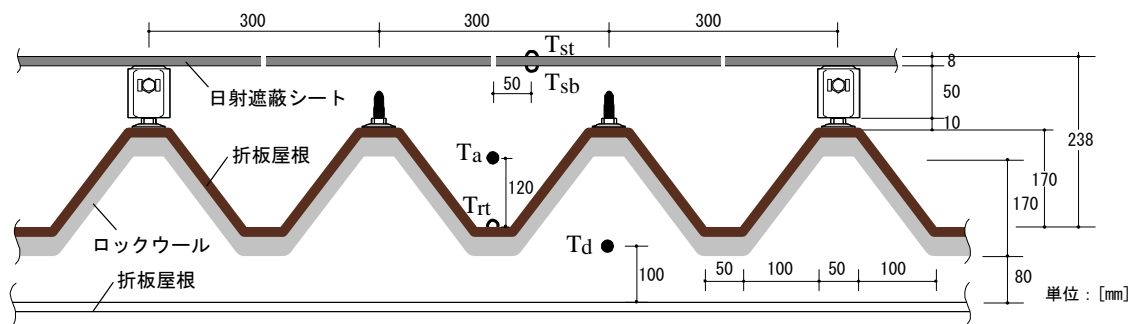


図 2.12 天井裏・屋根上部の温度測定点

測定点補足

- ・ 気象データ
：測定建物の南側にあるペントハウスの上に設置した。
- ・ 室内温度測定
：鉛直分布 FL+100、600、1100、1700、2000mm 高さの 5 点、2 カ所
- ・ 温湿度測定
：FL+1100mm の水平空気温度測定点（4 カ所）、屋外（3 カ所）、エアコンの吹出し口 1、吸込み 1
- ・ 表面温度測定
：日射遮蔽シート上下面、折板屋根上下面、天井上下面、床上下面の表面温度 及び 4 方位の壁面（FL+1100mm）の室内外表面
- ・ 熱流測定
：壁面 4 カ所（室内壁表面温度測定点近傍）、天井裏面 1 カ所（鉛直温度分布の測定点近傍）、室内側天井表面 5 カ所（2010.12.17 追加）
- ・ 消費電力量測定
：電灯（室内）の主幹：1、照明：1、動力の主幹：1
※ 換気扇、隙間-換気負荷を明確にするため、塞いで測定。

■ 南海団地（簡易測定）

- ・ 温湿度測定
：室内 FL+1100mm の水平空気温度測定点（1 カ所）、屋外西側（1 カ所）
- ・ 消費電力量測定
：電灯（室内）の主幹：1、動力の主幹：1

2.3.5 測定状況

■ 国設大阪大気環境測定所

各測定場所における測定状況を図 2.13～図 2.34 に示す。

① 気象データ



図 2.13 ウェザーバケット設置状況

②室内代表点における鉛直温度分布（2カ所）+ 室内温湿度



図 2.14 鉛直代表測定点 1



図 2.15 鉛直温度測定 2 及び室内温湿度

③天井裏空間温度



図 2.16 天井裏空間温度

④エアコンの吸込み・吹出し口の風速、温湿度



図 2.17 エアコン周りの設置状況

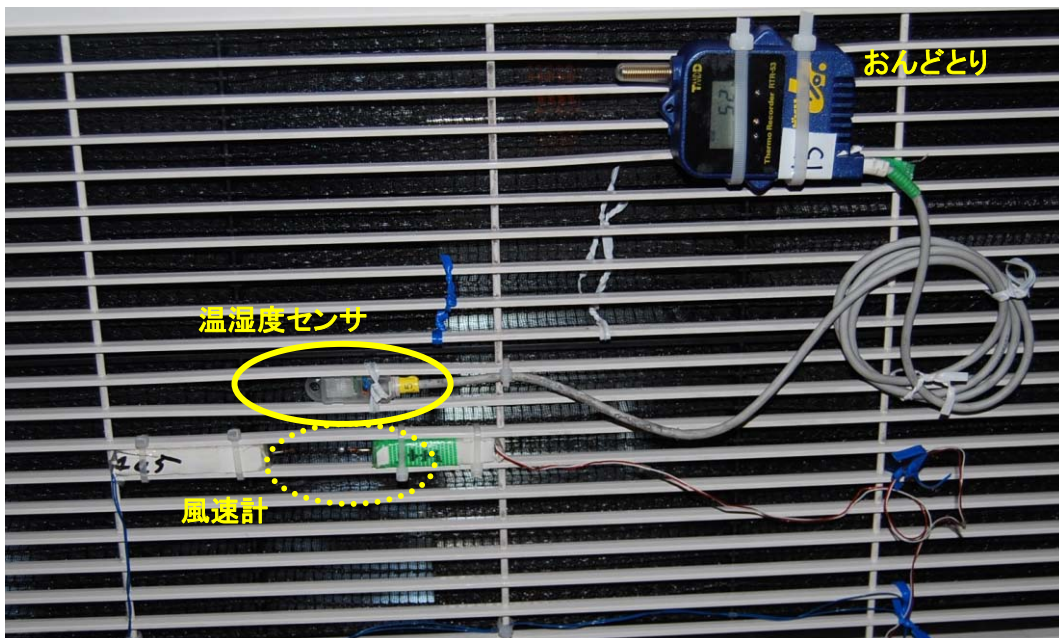


図 2.18 吸込み口温湿度・風速

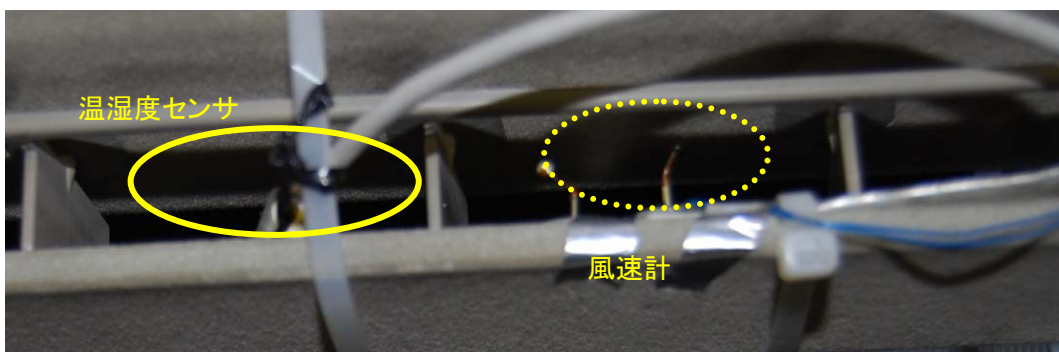


図 2.19 吹出し口温湿度・風速

⑤ 屋上の測定状況



図 2.20 シート上面温度 (測定点 Tst)



図 2.21 シート下面温度 (Tsb)



図 2.22 シート下部空間温度 (Ta)



図 2.23 日射除け (Ta)



図 2.24 屋根上面 (Trt)

⑥ 屋外空気温湿度（軒下）



図 2.25 南側



図 2.26 西側

⑦ 壁面温度・熱流計



図 2.27 北側壁面温度及び熱流計



図 2.28 屋外壁面温度

⑧ 消費電力

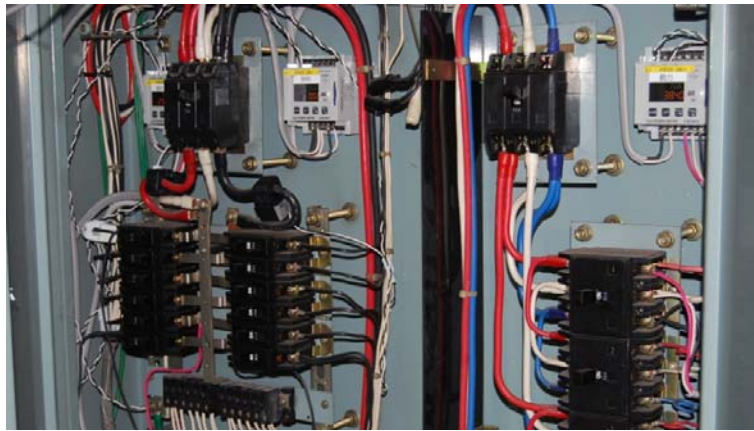


図 2.29 電力量計（電灯、照明、動力）

⑨ 換気扇及び隙間の封鎖



図 2.30 貫通穴



図 2.31 がらり



図 2.32 北側換気扇

■ 南海団地（簡易測定）



图 2.33 室内温湿度（室中央）



图 2.34 屋外温湿度

2.4 本章のまとめ

本章では日射遮蔽シートの遮熱効果の把握とともに、屋根・天井間熱移動解析モデルの構築をするため、行った実測概要について述べた。測定点、測定機器、測定間隔、測定状況などを報告した。

第3章 夏季の実測結果と考察

3.1 本章の目的

本章では国設大阪大気環境測定所で行った夏期の実測結果を各条件における代表日の結果を用いて、考察を行う。また、測定点は第2章の図2.10を参照されたい。

3.2 屋根表面温度分布

3.2.1 シート半分条件時の屋根上熱画像

日射遮蔽シートを折板屋根の上に半分施工した条件の屋根上写真と赤外線カメラを用いて撮影した各表面温度の熱画像を図3.1、図3.2に示す。

- ・ 画像撮影日時：2010年7月21日11時44分
- ・ 外気条件：国設大阪大気環境測定所データ（2010年7月21日11時40分代の10分平均値）
温度：32.4 [°C]、湿度：60 [%]、日射量：3.36 [MJ/m²]、風速：西南西、風速：2.1 [m/s]
- ・ 温度表示点位置（第2章参照）
点a：日射遮蔽シートの表面温度
点b：折板屋根の表面温度

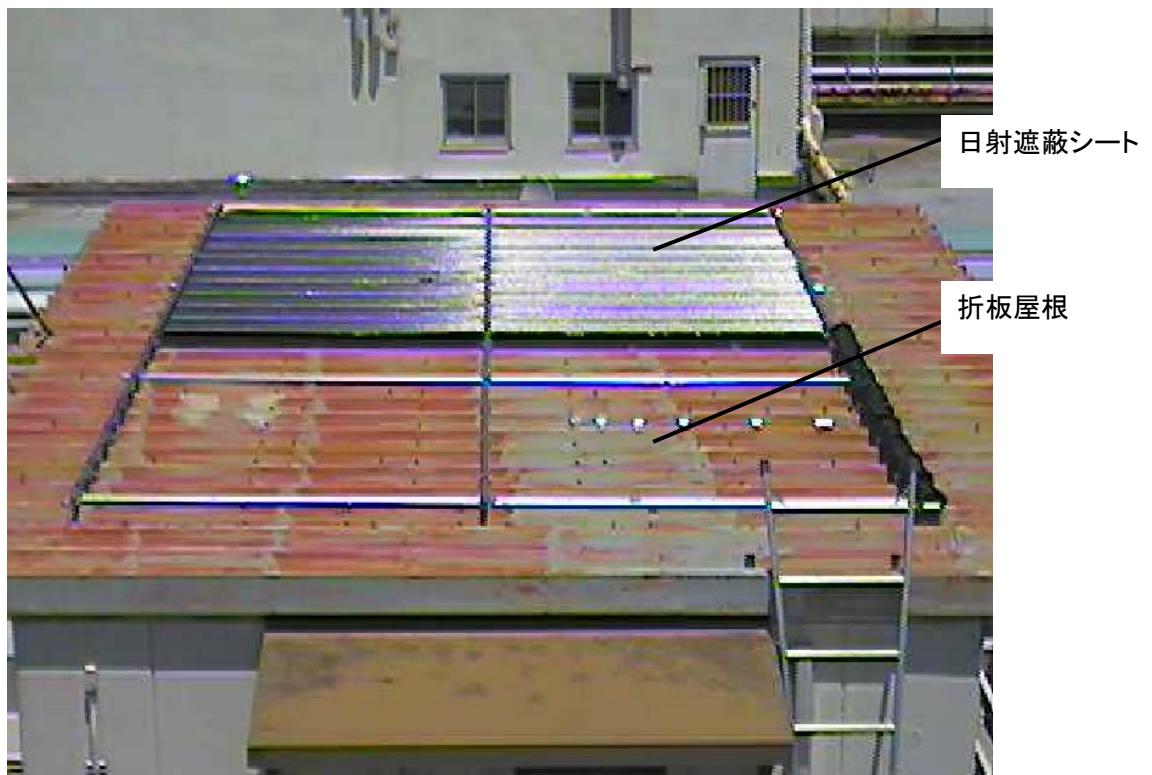


図 3.1 折板屋根上に日射遮蔽シートを半分敷設した屋根上の写真

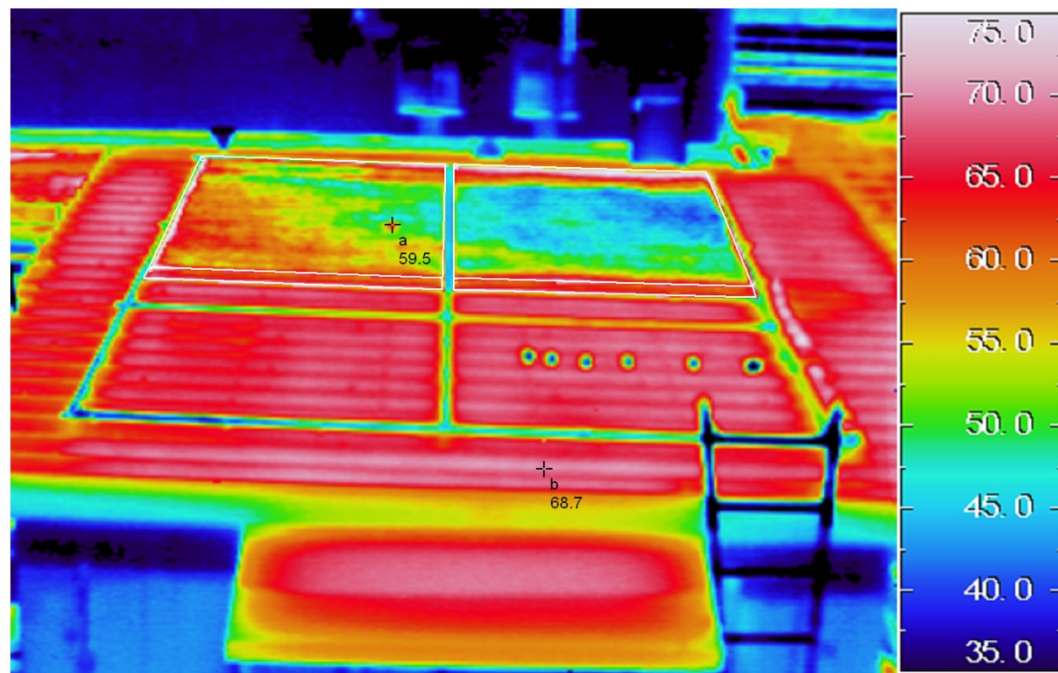


図 3.2 折板屋根上に日射遮蔽シートを半分敷設した条件の屋根上熱画像

3.2.2 各条件における屋根表面温度の結果

日射遮蔽シートなし条件の日射量、外気温、屋根表面温度結果を図3.3に、シートあり条件の結果を図3.4に示す。外気温はほぼ同じ約30～35℃であるが、日射量は8月15日（シートあり条件）は8月1日（シートなし条件）に比べ、約0.1MJ/(m²・24h)小さかった。

図3.3において、T_{rt}2は、T_{rt}1及びT_{rt}3に比べて、日中低い値をとっている。これは、屋根上空気温度（T_a）を測定する際に、放射よけを設けていたが、T_{rt}2の測定場所が放射よけの影に隠れたことによることが原因であると考えられる。

屋根表面温度を比較すると、両条件ともに12時頃シートのない測定点T_{rt}3の温度はほぼ同じく60℃を超えているが、測定点T_{rt}1ではシートあり条件は約40℃とシートなし条件に比べて約20℃低い。

シート半分条件の代表日の結果を図3.5に示す。遮蔽シートを半分施工したシート半分条件の一日の変化より、同じ外気条件下でのシートの有無時の屋根表面温度（T_{rt}1～T_{rt}3）の比較を行う。6時～18時にはシートが施工されていない測定点T_{rt}1、T_{rt}3では11時頃65℃以上であるが、シート下部の測定点rt2では約45℃と約20℃低い温度を示す。0時～6時、18時～0時の夜間に於いてはT_{rt}1、T_{rt}3の温度がrt2の温度より最大3.8℃低く昼間とは逆の傾向が見られる。これは、夜間の天空への放射が遮蔽シートにより遮られたためであると考えられる。

冬期においては、昼間の日射取得量の低下と夜間冷却防止による保温効果が考えられる。遮蔽シートの省エネルギー性を評価する際には夏期の昼間及び冬期の夜間における空調負荷削減効果だけでなく、夏期の夜間と冬期の昼間における負荷増大効果についても評価を行う必要があることが示唆される。

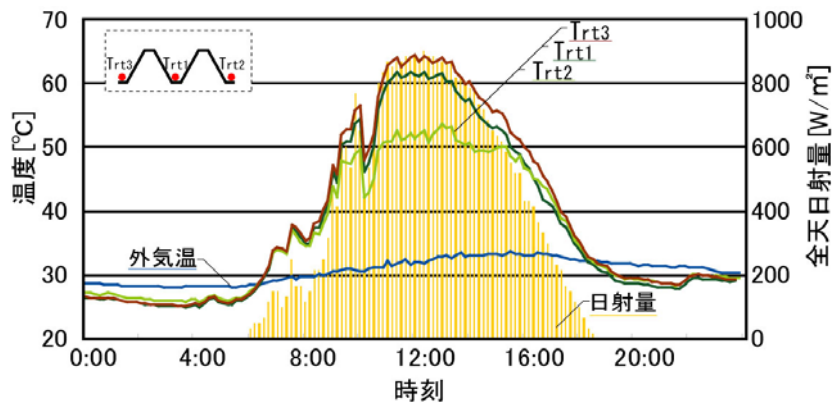


図 3.3 外気条件と屋根表面温度（シートなし条件：2010年8月1日）

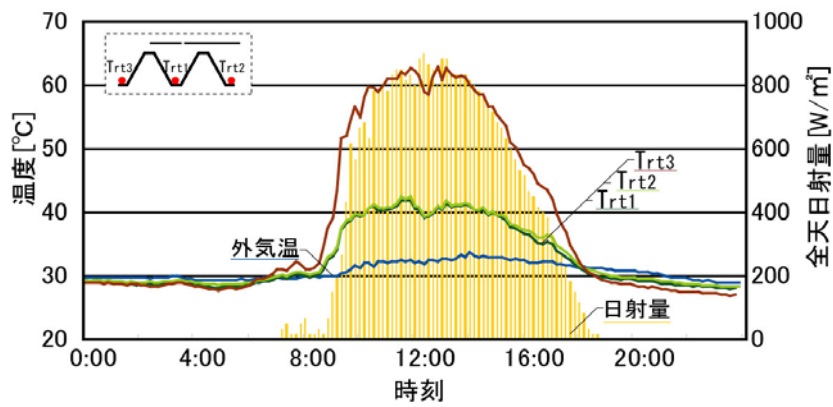


図 3.4 外気条件と屋根表面温度（シートあり）条件：2010年8月15日）

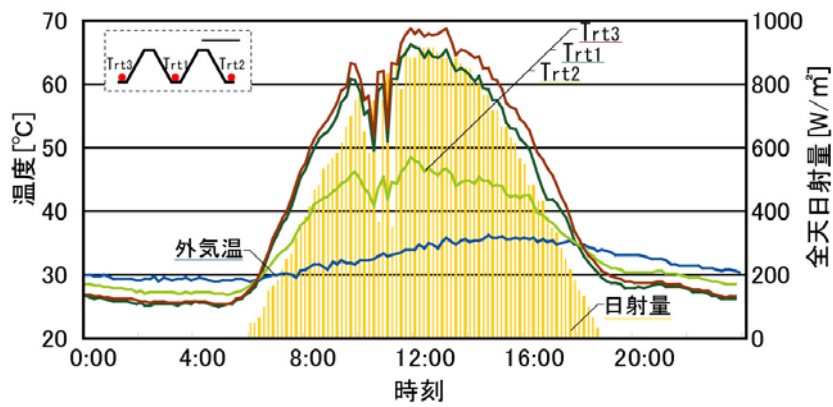


図 3.5 外気条件と屋根表面温度（シート半分条件：2010年7月23日）

3.3 各条件における天井及び各壁面からの流入熱量の結果

日射遮蔽シートなし条件の天井及び各壁面からの流入熱量結果を図3.6に、シートあり条件の結果を図3.7に、シート半分条件の結果を図3.8に示す。シート有無の両条件結果を比較すると、壁面からの流入熱量は両条件ともにほぼ同じであるものの、天井からの流入熱量はシートあり条件で最大約30[W/m²] 低い。これは、日射遮蔽シートにより直達日射量が小さくなった遮蔽効果であると考えられる。図3.3と図3.4に示したとおり、シートあり条件では、シートなし条件よりも一日の屋根表面温度の温度変動幅が小さい。また、図3.6と図3.7に示すとおり、天井から室内への流入熱量の熱流変動は、屋根表面温度の温度変動とほぼ同様の傾向を示し、シートあり条件の方が一日の変動幅は小さい。つまり、日射遮蔽シートによって昼間の屋根面での日射取得量が低下することで、日中の屋根表面温度の低下、流入熱量の低減につながったことがうかがえる。

夜間の0時～6時においては、屋根表面温度分布の傾向と同様に、シートなし条件では室内から室外への流出熱量（負の熱流）がわずかながら見られるものの、シートあり条件では見られず、夜間には日射遮蔽シートによって放熱が妨げられるという逆効果が見られる。

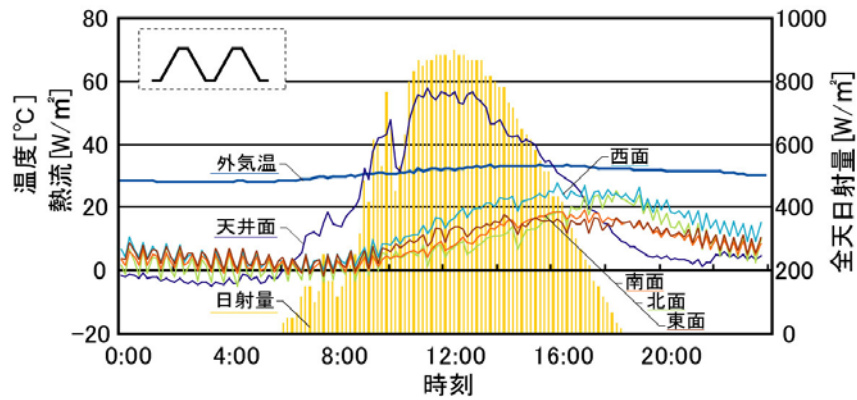


図 3.6 外気条件と流入熱量（シートなし条件：2010年8月1日）

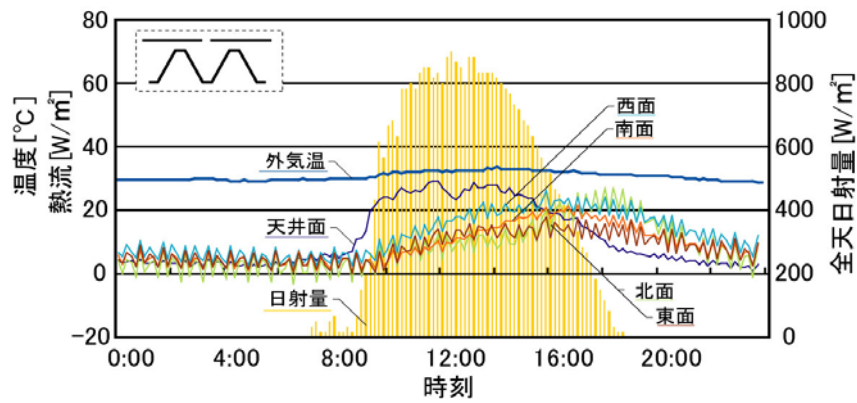


図 3.7 外気条件と流入熱量（シートあり条件：2010年8月15日）

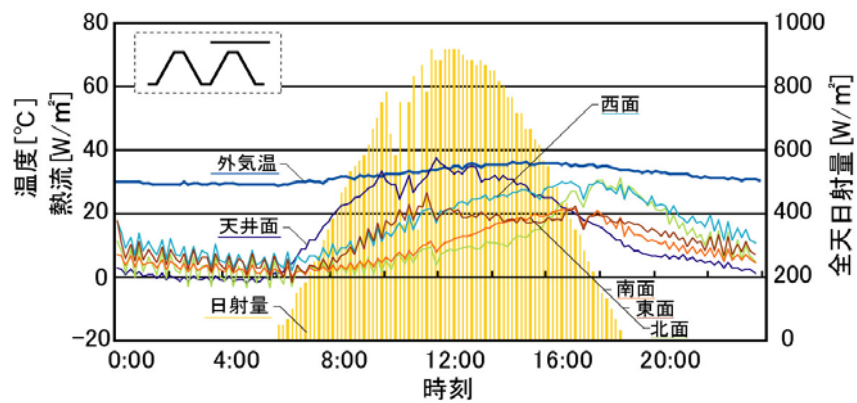


図 3.8 外気条件と流入熱量（シート半分条件：2010年7月23日）

3.4 各条件におけるエアコンの消費電力の結果

日射遮蔽シートなし条件のエアコンの消費電力結果を図3.9に、シートあり条件の結果を図3.10に示す。結果を比較すると、シートなし条件では11時～16時頃まで台型の電力消費が見られる。シートなし条件はシートあり条件より屋根面で授受する直達日射量が大きく、天井からの流入熱量が冷房負荷になったことが推察できる。

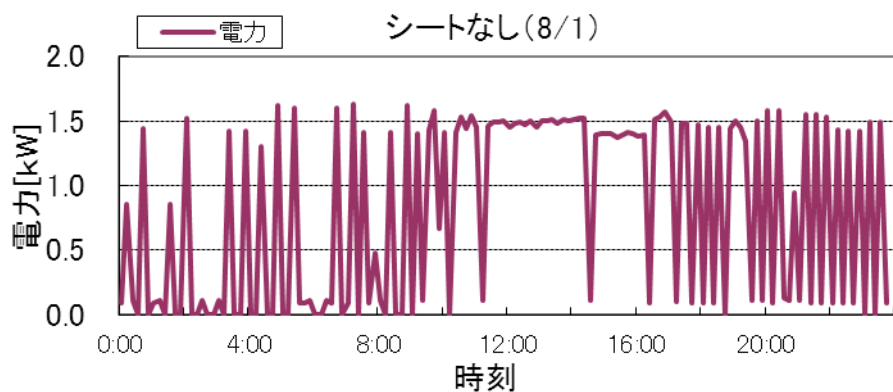


図 3.9 エアコンの消費電力（シートなし条件：2010年8月1日）

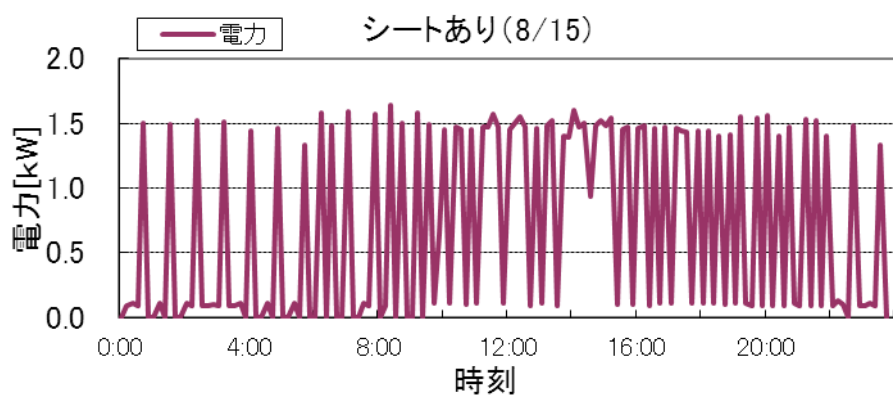


図 3.10 エアコンの消費電力（シートあり条件：2010年8月15日）

3.5 各条件における鉛直温度分布の結果

日射遮蔽シートなし条件の室内鉛直温度分布結果を図 3.11 に、シートあり条件の結果を図 3.12 に示す。結果を比較すると、全体的に室内の床面～FL+2000mm まではエアコンで 28℃制御をしているため大きな温度分布は見られないものの、天井下面から上部の温度に於いては日射の影響を受ける昼間には日射遮蔽シートの有無による差が大きいことが分かる。シート下部の空気温度 (T_a) を比べると 10 時～16 時において両条件共に時間による温度変化は約 5℃の範囲である。しかし、屋根上面温度 (T_r) はシートあり条件 では約 5℃の温度変化が見られるが、シートなし条件 では約 15℃の大きい温度変化が見られる。図 3.9 と図 3.10 の結果より時間による空調負荷の変化が大きいことが分かる。シートあり条件はシートなし条件より天井表面温度が低下していることより、室内温熱環境として改善される可能性があると考えられる。

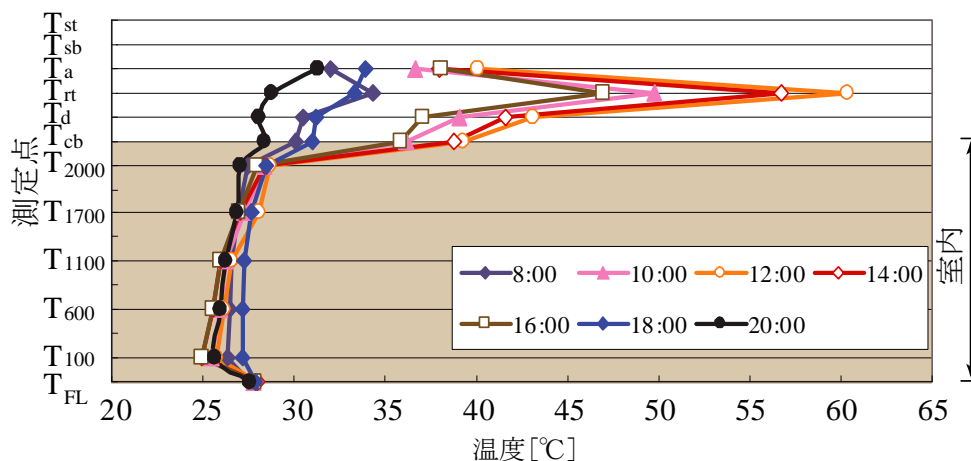


図 3.11 鉛直温度分布（シートなし：2010年8月1日）

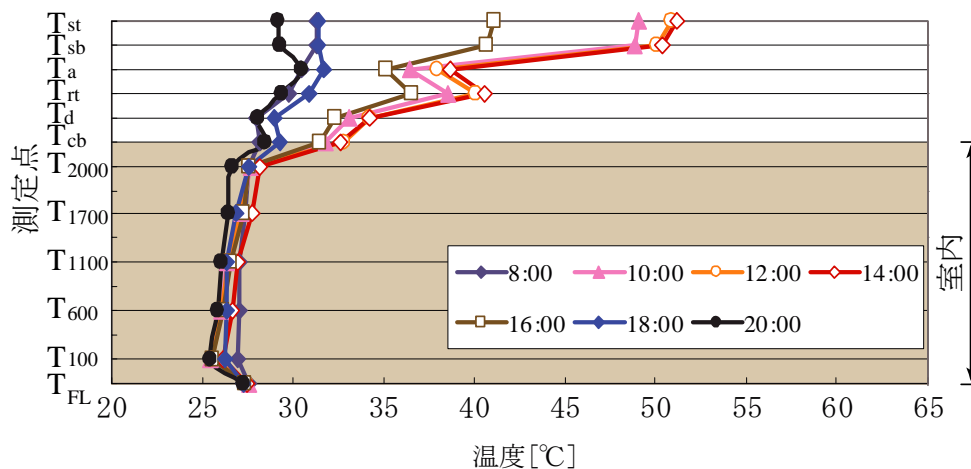


図 3.12 鉛直温度分布（シートあり：2010年8月15日）

3.6 遮蔽シート有無時における等価外気温と天井からの流入熱量の関係

昼間（6時～18時）における水平面の等価外気温と天井からの流入熱量の関係を図 3.14-(1)に、夜間（18時～6時）との関係を図 3.14-(2)に示す。

等価外気温は、日射の効果を同等な外気温の上昇とみなした仮想的な温度を意味する。等価外気温の概念図を図 3.13 に示す。等価外気温 θ_e は式 (3.1) より算出した。なお、夜間放射分については考慮されていない。ここで日射吸収率 A は、シート、折板屋根のいずれも 0.90 を用いた。

図の縦軸の流入熱量の単位 ($[\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot 12\text{h}]$) は、昼間（6時～8時）及び夜間（18時～6時）の各流入熱量の測定値 ($[\text{kW}/\text{m}^2]$) の 12 時間分の積算値を意味する。

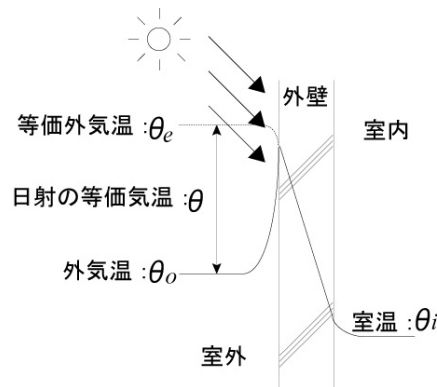


図 3.13 等価外気温概念図

$$\theta_e = \theta_o + \frac{AJ}{\alpha} \quad (3.1)$$

θ_e : 等価外気温 $[\text{°C}]$

θ_o : 外気温 $[\text{°C}]$

A : 日射吸収率 (=0.9)[-]

J : 水平面全天日射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$

α : 外気側総合熱伝達率 (=20) $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$

昼間においては等価外気温と熱流量は遮蔽シートの有無に関わらず、相関が強い。等価外気温 θ_e が 50°C の場合、天井からの流入熱量はシートなし条件がシートあり条件より約 $400\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot 12\text{h})$ 大きい。しかし、夜間においては等価外気温 θ_e がエアコン設定温度(28°C)より低い場合、シートなし条件の方がシートあり条件より室内からの流出熱量が大きいことが分かる。これは、シートあり条件について、夜間に、シートによって天空への放射が遮られ屋根面が冷えにくくなることと、シートと屋根面の間の空間が断熱効果として働くことにより、シートなし条件に比べて室内からの流出熱量が抑えられたことが原因であると考えられる。

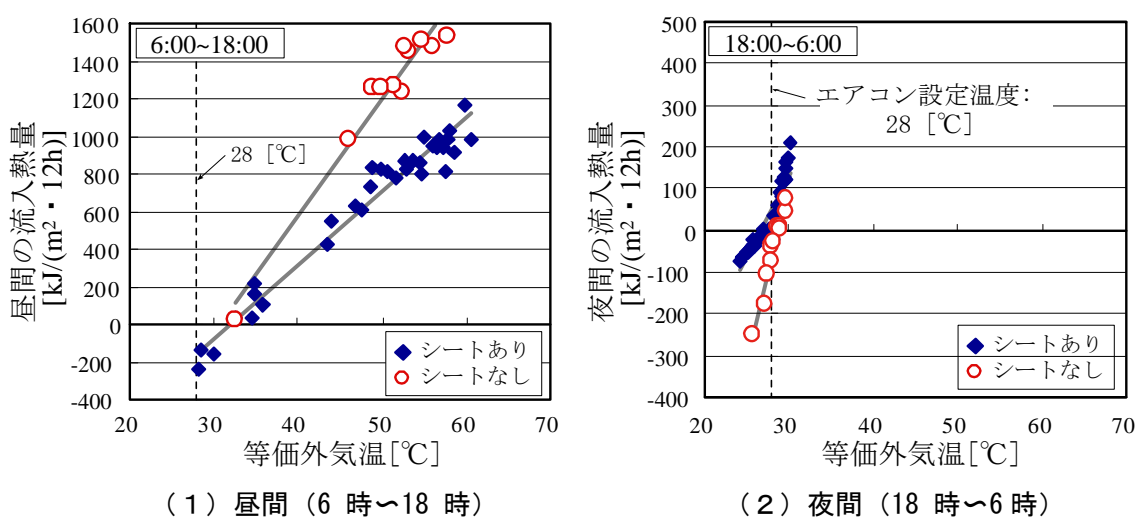


図 3.14 水平面の等価外気温と天井からの流入熱量の関係

3.7 本章のまとめ

金属製の屋根上に設置する日射遮蔽シートによる夏季冷房負荷削減効果の実証計測を行った。屋根上に日射遮蔽シートを設置することで、測定期間の代表日（シート半分条件）は屋根表面温度が最大で 22.8℃低くなることが分かった。また、日射遮蔽シートにより、昼間には天井からの室内への流入熱量の低減が期待できることが示された。一方、夜間には天空への放射が遮られ屋根面が冷えにくくなるため、遮蔽シートの省エネルギー性を評価するには注意が必要であることが分かった。エアコンの消費電力においては、日射遮蔽シートを敷設しない条件では、シートを敷設する条件より屋根面で授受する直達日射量が大きく、天井からの流入熱量が冷房負荷になったことが示された。

外部条件は常に変動するものであるが、瞬時定常伝熱モデルでの数値計算を行うことで様々な条件について遮熱性能評価を行うことができる。今回の実測により、モデル計算を行い定量的に遮熱性能について評価するために必要な境界条件と精度検証用データの収集を行うことができた。