

第 2 章 建築物外皮としての膜の利用効果検証

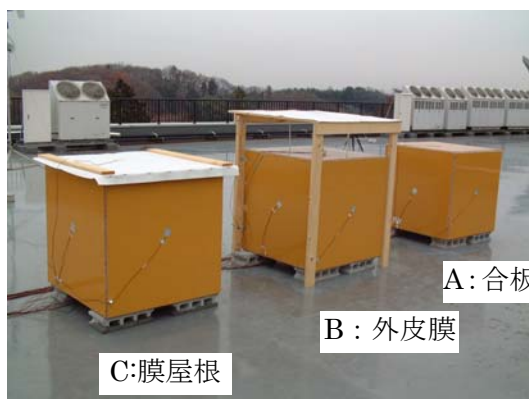
2. 建築物外皮としての膜の利用効果検証

現在、外壁における日射遮蔽や、ヒートアイランド現象を緩和する手法の一つとしてクールルーフの普及が進んでいるが、人工被覆の上面や、住宅等建物の外側に白色膜を設置した場合(以降、外皮膜と称す)においても、日射反射によるヒートアイランド現象の緩和効果が期待できるだろう。また、外皮膜は、建物に対する日射遮蔽効果も期待できるため、民生分野における CO₂ 排出量削減のための省エネルギー手法としても有用な建材の 1 つと考えられる。また、膜材料は、熱容量が小さいため、建物外皮に設置した場合、日中の膜温度は外気温と同等に保たれる可能性がある。更に膜で影となる建物外表面への日射侵入が抑制されるため、躯体の温度上昇を抑制できる可能性があり、総じてヒートアイランド現象を緩和する効果が期待できる。そこで、既存住宅に外皮膜を設置して温熱環境の実測を行い、外皮膜の利用効果について検証を行った。

2.1 小型模型による熱環境性能の予備検討

1)測定概要

明治大学理工学部 4 号館屋上に合板・外皮膜・単層膜模型を設置し、建築物外皮としての膜の利用可能性を検討した。実測概要を図 2-1-1 に示す。模型寸法は、縦・横・高さ 900mm で、壁・床材は合板である。外皮膜模型とは、合板模型の屋根上部 30cm に膜を設置したものである。膜には A 種膜を用いた。温度測定点は壁、床、屋根の外側・内側の表面温度、模型内部中央気温である。同時に外気温と全天日射量、外皮膜・単層膜模型では膜下に日射計を設置し、膜を透過する日射量を測定した。測定は 5 分間隔で行った。



明治大学理工学部 4 号館屋上
寸法：900×900×900mm、
模型 A：合板製(内部は空洞)
模型 B：A+膜(屋根上 300mm)
模型 C：膜屋根
測定点：各面内外表面温度、室中央温度
水平面全天日射量(MS-801)
膜下日射量(模型 B, ML-20)
膜内日射量(模型 C 内部, ML-20)
大気放射量(MR-40)

図 2-1-1 小型模型実測の概要

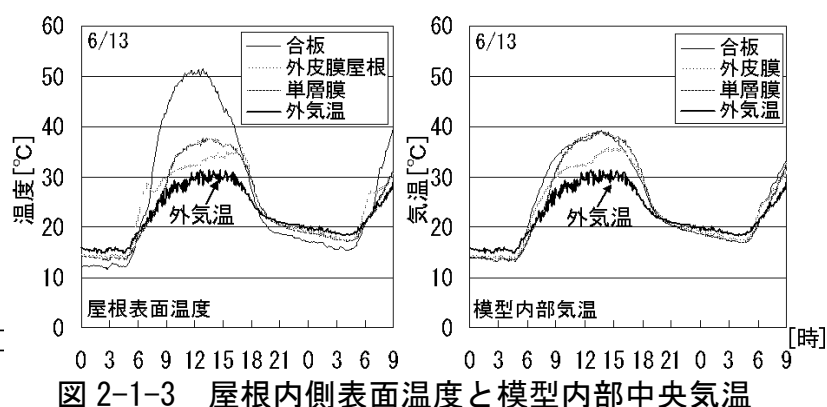
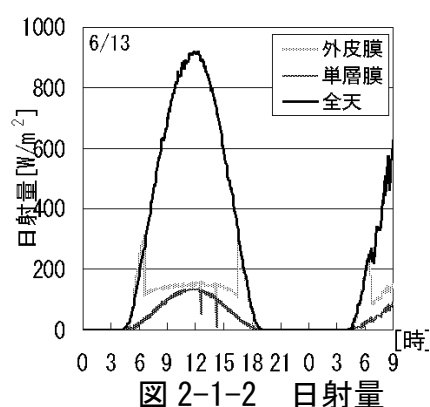
2)測定結果

2008年6月13日の晴天日の測定結果を図2-1-2から図2-1-3に示す。日射量は12時頃に全天日射量が 900W/m^2 、外皮膜日射量が 150W/m^2 である。7時から17時までの間で膜を透過した日射量は全天日射量の15%程度である。朝から夕方までの長時間に外皮膜によって屋根が受ける日射量を減少させた。

合板模型と外皮膜模型の屋根表面温度では、外皮膜模型の屋根が最大で 17°C 低くなり、外皮膜による日射遮蔽効果を確認した。合板模型と単層膜模型では、単層膜模型の屋根が最大で 15°C 低くなっている。これは膜の日射反射率が高いためであると考えられる。

合板模型と外皮膜模型の内部中央気温では、外皮膜模型が 5°C 低くなっている。外皮膜による表面温度の上昇抑制効果が模型内部にも表れることを確認した。合板模型と単層膜模型の最高気温は同程度の 38°C である。膜は反射率が高く、表面温度は低くなるが、透過日射が多いため、内部気温が上昇したと考えられる。

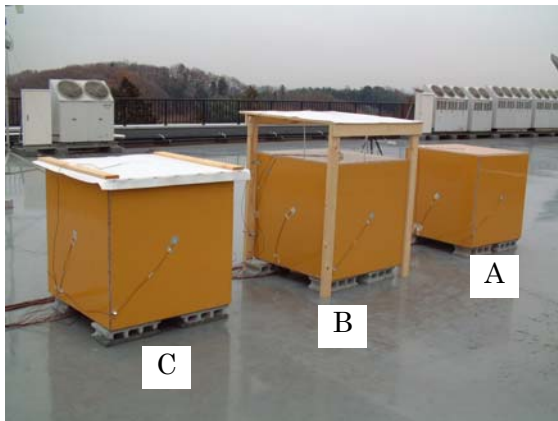
膜を建築物外皮として利用することによって、屋根表面温度の上昇を抑制し、内部気温を低下させることができたため、ヒートアイランド抑制に建築物外皮としての膜の利用可能性があることを確認した。



2.2 外皮膜の夜間放射遮蔽性能の把握

1) 実験概要

屋外暴露時における膜材の熱環境性能把握を目的に、小型模型を作成し、屋外暴露実験を行った。模型は、A：熱箱、B：A＋外皮膜、C：膜屋根(Aの屋根を膜としたもの)の三種である。模型の概要を図2-2-1に示す。なお、膜材には、A種膜材（白色、ガラス繊維織布、PTFEコーティング）を用いた。



(a)南面



(b)北面

図 2-2-1 模型概要

明治大学理工学部 4 号館屋上
寸法：900×900×900mm,

模型 A：合板製(内部は空洞)

模型 B：A＋膜(屋根上 300mm)

模型 C：膜屋根

測定点：

各面内外表面温度，室中央温度

水平面全天日射量(MS-801)

膜下日射量(模型 B の屋根面，ML-20)

膜内日射量(模型 C の内部，ML-20)

大気放射量(MR-40)

2) 実験結果

日射に関する測定結果を図 2-2-2、2-2-3 に示す。模型 C の膜内で測定した日射量は、全天日射量の 13% 程度となった。模型 B の日射計には、直射が入射している(太陽高度が低いため)。夜間の大気放射量は、およそ $70\text{W}/\text{m}^2$ であった。

図 2-2-4 に、模型屋根面の温度変化を示す。日中、日射の影響により、模型 A、C の温度が上昇している。模型 B は、他に比べて $3\sim 5^\circ\text{C}$ 程度低くなっている。模型 A が最も高くなるのは、表面の日射吸収率の影響と考えられる。

夜間、各模型の屋根面温度は、放射冷却により、外気より低い値を示す。模型 A は、外気に比べて 6°C 程度低い。模型 C(膜屋根)と模型 B 上部の膜の温度は、ほぼ同程度となっている。模型 A に比べて温度が高いのは、熱容量の差異に起因すると思われる。膜で覆われている模型 B では、表面温度の低下が他に比べて小さく、外気温 -2°C 程度となっている。

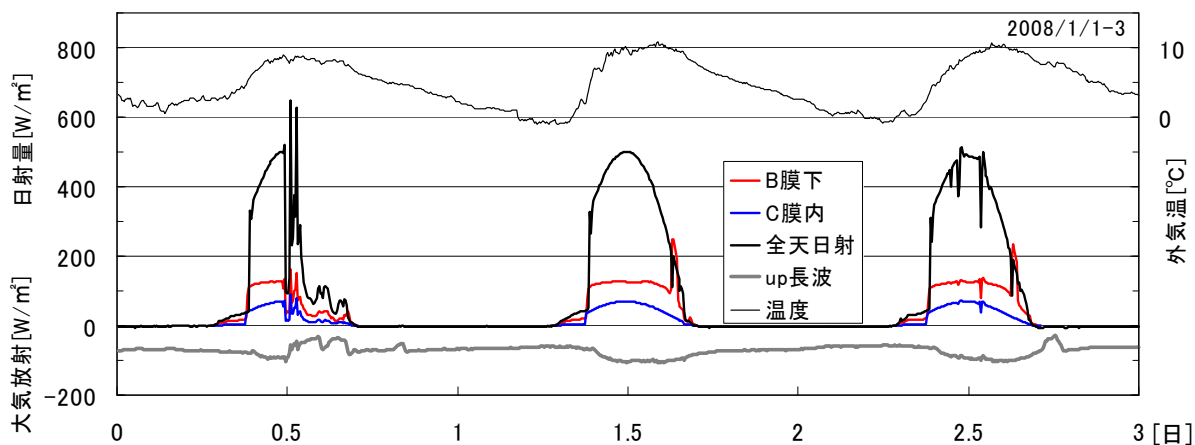


図 2-2-2 全天日射量と大気放射量

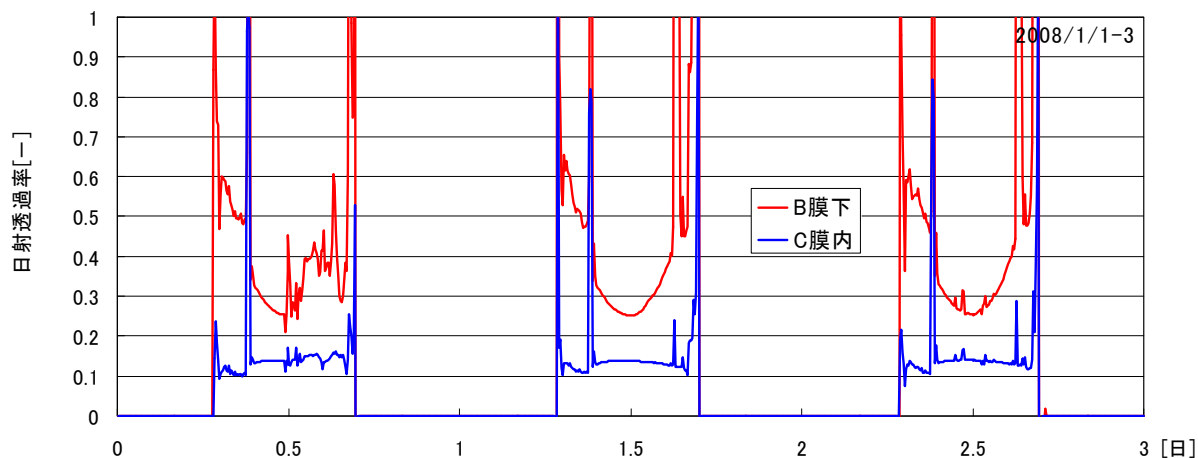


図 2-2-3 日射透過率

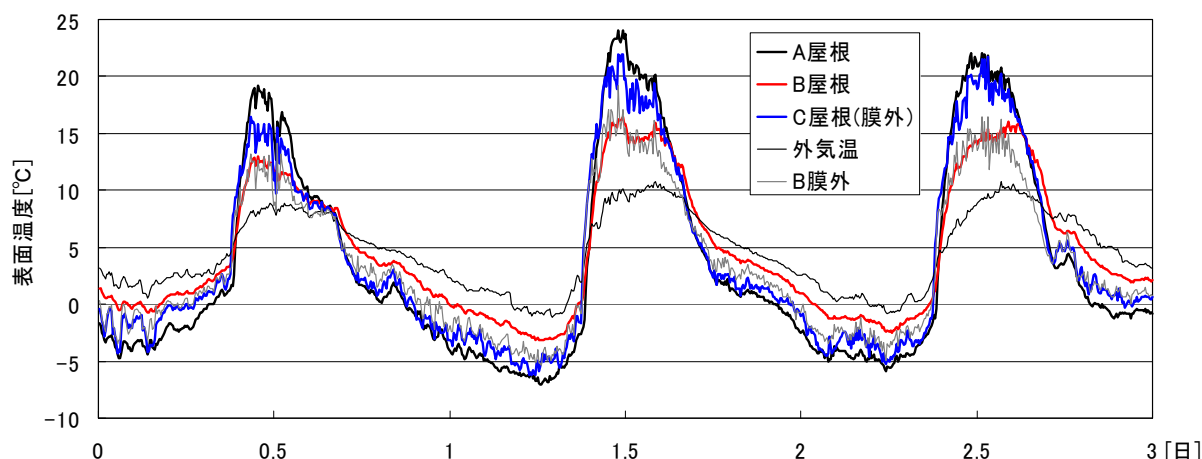


図 2-2-4 屋根面(外気側)の温度変化

なお、模型 B における、測定点⇒上部膜の点面形態係数は 0.76、屋根面⇄上部膜の面々形態係数は、0.58 である。今回の測定では、天空の影響が 3～4 割程度含まれている。屋根－膜間の形態係数を大きく(距離を短く)することにより、温度低下を更に緩和可能と思われる。

図 2-2-5 に、模型内中央の空気温度の経時変化を示す。各模型の室温は、9 時半頃に外気温を越え、17 時以降に外気温を下回る。晴天日の日中(1/2)は、外気温に比べ、A・B で 5℃、C が 8℃程度高い。膜屋根の模型 C は、日中他に比べて温度が高い。逆に夜間は、他に比べて低温となる。日中の温度上昇は、透過日射の影響によるものと考えられる。夜間は、膜の熱抵抗が小さいため、他に比べて低温となったのだろう。

屋根面を膜で覆った模型 B では、夜間の室温が模型 A に比べて 1℃程度高い。膜により放射冷却を遮蔽しているためと考えられる。側面等も膜で覆うことにより、遮蔽効果の向上が期待できる(実際の建物では、天空率の高い壁面に外皮膜を設けるのが望ましいと思われる)。

曇天時(1/1 夕方)では、各模型の室温は同程度となった。様々な要因の影響があるため、即断はできないが、膜屋根の場合、日中であれば、透過日射による熱取得で、膜面の熱損失をキャンセルできる可能性があると思われる。今後、建物を想定した室温変動シミュレーションにより、効果の検討を行う予定である。

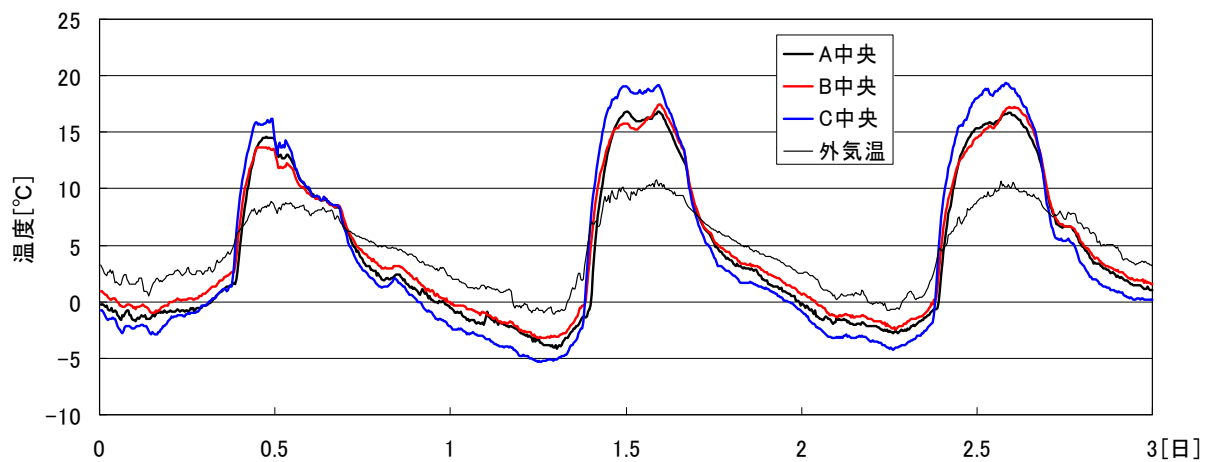


図 2-2-5 模型内部の空気温度変化

3) まとめ

膜材の熱物性把握を目的に、分光反射率等の基礎資料の取得と、膜模型を用いた屋外暴露実験を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- ・分光特性：今回測定した膜材の反射率は、70%以上あり、ヒートアイランド現象の緩和に貢献可能であることがわかった。
- ・物性値調査：物性値を把握しているメーカーが少ないことがわかった。今後、環境建材としての普及促進を図るためには、熱物性の測定が急務であると考えられる。
- ・模型実験：日射透過率は、カタログ値とほぼ同等であった。模型外皮に遮蔽膜を設けることで、放射冷却の緩和が可能であることがわかった。

2.3 既存住宅における外皮膜のヒートアイランド緩和効果の検証

1)測定概要

屋上に外皮膜を設置した既存の戸建住宅にて熱環境実測を行い、外皮膜の利用効果を検証した。外皮膜の設置概要を図 2-3-1 に示す。図 2-3-2 は、午後の西からの日射を遮蔽するために屋上の西側に膜を設置したもので、外皮膜の効果とともに、外皮膜と西膜を併用した場合の日射遮蔽効果を検証した。測定概要を図 2-3-3 に示す。測定点は、屋上床・屋上壁・屋根・膜表面温度、屋上気温、屋上隣室や屋上の下の部屋の室内気温、外皮膜下日射量、全天日射量である。屋上床表面温度は、太陽位置によって日影位置が変動するため、測定点を 5 点設置した。屋上床表面の測定詳細を図 2-3-4 に示す。測定間隔は 5 分で、測定期間は 8 月 15 日から 9 月 13 日である。



図 2-3-1 外皮膜の設置概要



図 2-3-2 西膜の設置概要

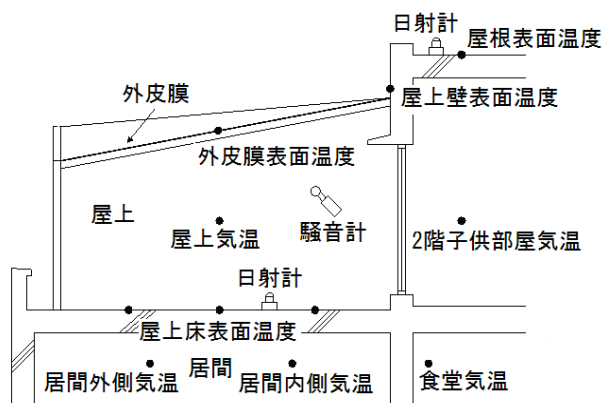


図 2-3-3 測定概要

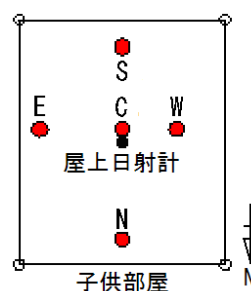


図 2-3-4 屋上床測定詳細



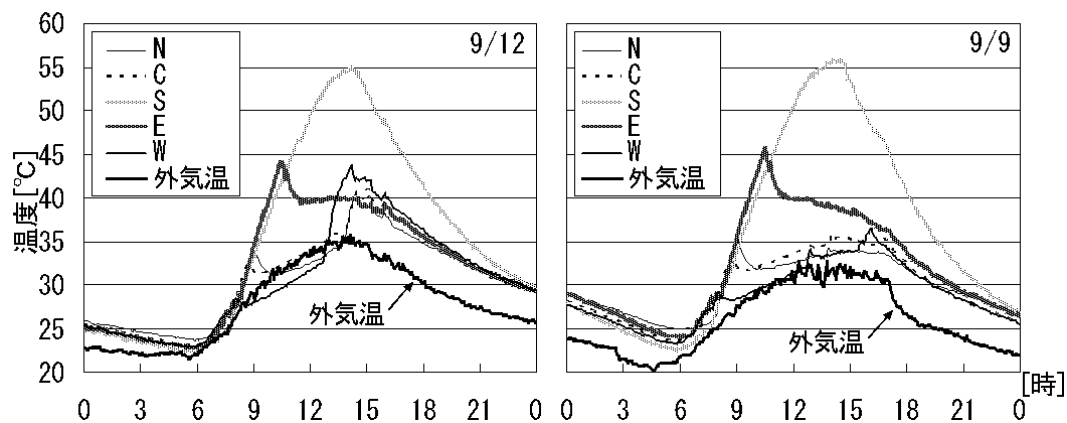


図 2-3-5 屋上床表面温度(左図:外皮膜のみ, 右図:外皮膜と西膜)

2) 温熱環境測定結果

外皮膜のみを設置した 9 月 12 日, 外皮膜と西膜を設置した 9 月 9 日の屋上床表面温度を図 2-3-5 に示す。終日日射を受けている点 S と膜によって日影になった測定点では 10~15°C の差がある。外皮膜のみの場合に 13 時頃から表面温度が上昇していた点 C・N・W が, 外皮膜と西膜を併用した場合には上昇せず, 終日日射を受けている点 S に比べ約 20°C 低くなっている。外皮膜による表面温度の上昇抑制効果と, 西膜による日射遮蔽効果を確認した。また, 日没後の 18 時以降では, 点 S と他の 4 点の測定点との温度差は 5°C 程度ある。外気温と比較すると, 点 S は 10°C, 他の 4 点では 5°C 程度高くなっている。日没後に屋上床表面温度と外気温の温度差が大きいと大気中に放射される熱量が多くなり, ヒートアイランドの原因となることから, 外皮膜の日射遮蔽によるヒートアイランド抑制効果を確認した。

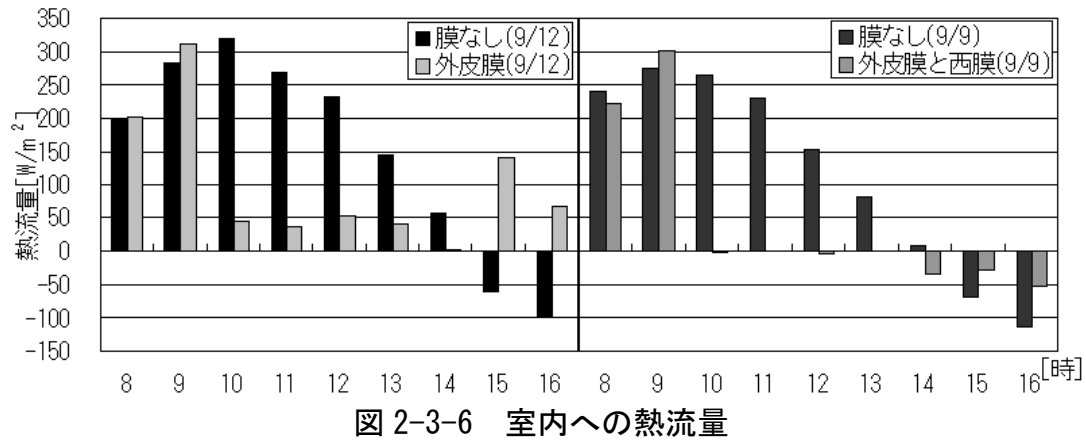
測定した表面温度より, 表 2-3-1 の式(2.3.1)を用いて室内への熱流量を算出した結果を図 2-3-6 に示す。膜なしには終日日射を受ける点 S, 外皮膜を設置した場合は屋上中央の測定点である点 C の表面温度を用いた。熱流が屋外から室内へ流入する場合を正, 室内から屋外へ流出する場合を負とした。

外皮膜を設置することで, 太陽高度が大きくなる 10 時以降に屋上床面が日影となり, 室内へ流入する熱流量を膜なしに比べ, 80% 以上削減している。西膜を設置した場合は, 13 時以降さらに室内へ流入する熱流量を削減している。室内流入熱流量を比較すると, 外皮膜を設置した場合は, 膜なしに比べ約 40% 削減し, 外皮膜と西膜を設置した場合で約 58% 削減した。外皮膜の設置で, 屋

上床表面温度を低下させる効果により、室内への熱流量が減少し、冷房負荷を削減できると考えられる。小型模型と住宅での実測より、外皮膜による日射遮蔽効果はヒートアイランド抑制対策及び省エネルギー対策になることを確認した。

表 2-3-1 熱流量算出式

$q = \alpha_o (SAT - \theta_{so})$		(2-1)
α_o : 屋外側総合熱伝達率(18W/m ² K)		
SAT : 相当外気温度[°C], $SAT = \theta_o + a_s I / \alpha_o$		
θ_o : 外気温[°C]	a_s : 日射吸収率	I : 日射量[W/m ²] θ_{so} : 屋外側表面温度[°C]



3)騒音環境測定

外皮膜を設置した際に問題になると考えられるのが、風や雨によって膜が出す騒音である。そこで、膜が出す騒音の大きさの測定を A 邸にて行った。測定には図 2-3-7 に示す普通騒音計 NL - 21 と図 2-3-8 に示す 4ch データレコーダ DA - 20 を用いた。

測定方法は、周囲が静かな夜間に騒音計で測定を行い、データレコーダに録音する。録音したデータから膜の出す騒音レベルを算出した。騒音計は膜から 64 cm 離れたところに三脚で固定し、測定を行った。騒音レベルの算出方法は、図 2-3-9 に示すような録音データから、安定したデータが録音されている 5 分間を抜き出し、解析する。解析を行うと図 2-3-10 に示すような各周波数の 1 オクターブバンド毎の騒音レベルと全周波数[オールパス]での騒音レベルが算出され、全周波数での騒音レベルを膜の出す騒音レベルとした。



図 2-3-7 普通騒音計 NL - 21



図 2-3-8 データレコーダ

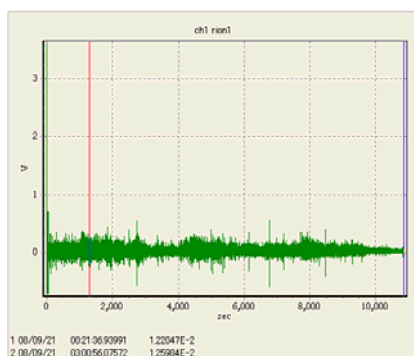


図 2-3-9 録音データ

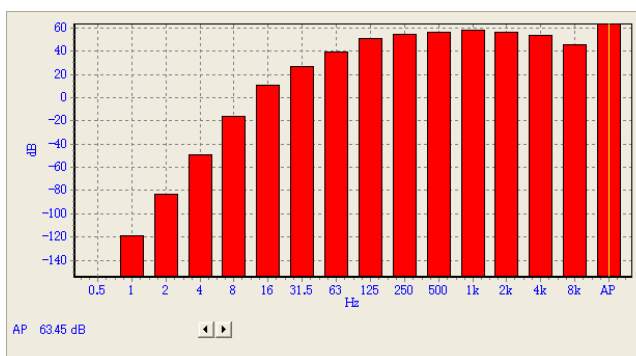


図 2-3-10 騒音レベル

測定日は9月13日23時から14日0時、9月15日0時から1時、9月20日0時から3時の3日間である。13日は晴れた夜間の日で、膜から出される騒音以外の暗騒音の録音を行った。15日は弱い雨が降った日で、20日は台風が接近した強雨の日である。騒音レベルの解析結果を表2-3-2に示す。解析結果とともに、その時刻の風速、降水量を示す。風速、降水量は気象庁アメダスより埼玉県さいたま市の観測データを用いた。

表 2-3-2 騒音レベルの解析データ

	風速[m/s]	降水量[mm]	騒音レベル[db]
9月14日0時00分	2.0	0.0	48.21
9月15日1時00分	2.0	0.5	50.01
9月20日0時30分	2.0	8.5	64.53
9月20日1時00分	2.0	8.5	68.87
9月20日1時30分	2.0	8.5	63.45
9月20日2時00分	2.0	4.0	60.51
9月20日2時30分	2.0	4.0	61.60
9月20日3時00分	2.0	2.0	52.77

120db	飛行機のエンジン付近
110db	車のクラクション
100db	列車が橋を通過するときの音
90db	犬の吠える声、機器作動中の工場
80db	電車内、ピアノの音
70db	電話のベル音、街の騒音
60db	通常の話し声、静かな車内
50db	静かな事務所内
40db	図書館内、静かな住宅街
30db	郊外の深夜
20db	微風、葉音

消音技研株式会社ホームページより引用

U 邸の周辺は静かな住宅街であり、夏の夜間のため虫の鳴き声等で暗騒音は48.21dbとなった。弱い雨の降っていた15日は騒音レベルが50.01dbとなり、弱い雨であれば騒音はほとんど発生していないことがわかる。20日の台風が接近した夜間は60dbを超え、最高で68.87dbとなった。20日の3時には台風が去り、弱い雨が降っていたと考えられ、騒音レベルは52.77dbとなった。騒音レベルが60dbで、静かな車内相当なので、降水量が4mm程度の雨では、問題になるほどの騒音は発生しないと考えられる。膜を図2-3-11のようにゴムバンドで強く張って固定しているため、風による振動音はないと思われる。

この測定では騒音レベルに膜が発生させた騒音以外に、雨や風の音、膜以外のものが発生させる音が入っているため、実際に膜が発生させた騒音は特定できない。外皮膜が設置してある屋上から離れた場所でも測定を行い、その場所の騒音レベルと屋上の騒音レベルを比較する必要がある。それでも今回の測定で問題になるほどの騒音レベルにはならなかったもので、外皮膜を設置しても騒音は問題にはならないことが確認できた。

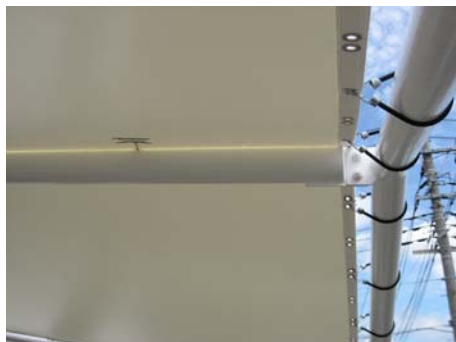


図 2-3-11 外皮膜の固定の様子

4) まとめ

住宅等建物の外側に、膜を設置(外皮膜)することで、建物に対する日射遮蔽効果および日射蓄熱低減によるヒートアイランド現象の緩和が期待できる。本年度は、小型模型を用いて夏期における日射遮蔽性能の把握を行った。外皮膜を設置した模型では、日中の屋根表面温度、模型内部気温の上昇が抑制されることを確認した。

RC 造の既存戸建住宅の屋上に外皮膜を設置し、日射遮蔽効果、ヒートアイランド緩和効果の実測を行った。外皮膜を設置することにより、屋上に達する日射量が 80%低減され、屋上表面温度の上昇が抑制されることを確認した。また、晴天日において、外皮膜無しに比べて、室内への熱流量が 80%程度削減されることを確認された。既存住宅の測定では、騒音測定を行い、外皮膜の有無の影響について実測を行った。その結果、外皮膜設置時に、風、雨の影響による騒音の増加はみられなかった。

以上の結果より、外皮膜は日射遮蔽による冷房負荷削減効果と、ヒートアイランド緩和効果を有することを確認した。

2.4 外皮膜を設置した仮設建物における冷房消費エネルギー削減効果の実測

住宅等建物の外側に、膜を設置(外皮膜)することで、建物に対する日射遮蔽効果および室内温熱環境の緩和効果が期待できる。そこで、外皮膜を設置した仮設建物を対象に実測を行い、外皮膜設置による温熱環境改善効果と冷房負荷削減効果について検討を行った。

1) 測定概要

仮設小屋の設置場所として、明治大学生田キャンパス内体育館に隣接する北テニスコート裏で、2棟並べて配置した。その内1棟には、建築物外皮として白色膜を取り付けた。仮設小屋の設置状況を図2-4-1、外側各面概要を図2-4-2、内側各面概要を図2-4-3に示す。仮設小屋は、1棟あたりの寸法が縦2404×横3700×高さ2650mmの鉄骨構造建築物である。各棟の北、南、西面に横1700×高さ1060mmの窓が設置されている。仮設小屋矩計図を図2-4-4に示す。仮設小屋には、表2-4-1に示す測定機器を配置した。仮設小屋測定点を図2-4-5に、外皮膜測定点を図2-4-6に示す。空調機の電源コードに電流計、部屋中心部に照度計、屋根面に日射計を配置した。仮設小屋の天井、床、壁、窓各面に熱流計、それに加えて、外皮膜各面、空調機の吹込み口、吹出し口を加えた測定点に熱電対を配置した。熱電対は、アルミテープで貼り付けて固定した。建築物外皮として膜を取り付ける事によるエネルギー負荷削減効果、日射遮蔽効果の検証をする。



図 2-4-1 仮設小屋の設置状況



外皮膜-有(左) 外皮膜-無(右)

図 2-4-2 仮設小屋外側各面概要[北西面(上)、東南面(下)]



外皮膜-有(左) 外皮膜-無(右)

[東面(1 段目)、西面(2 段目)、南面(3 段目)、北面(4 段目)]

図 2-4-3 仮設小屋内側各面概要

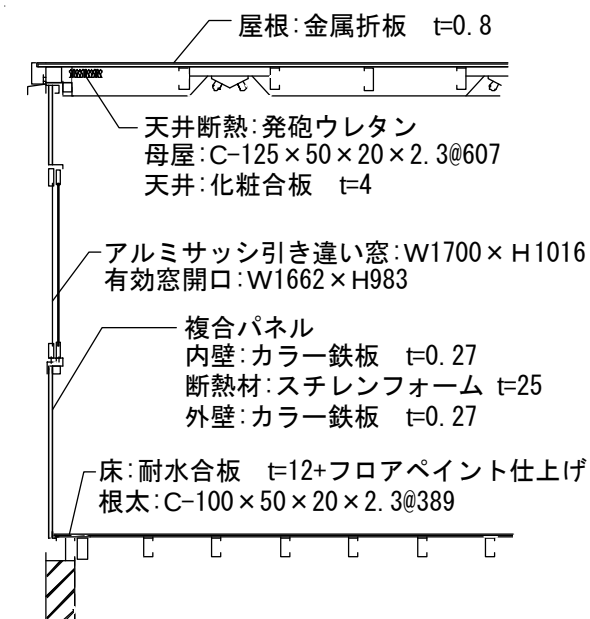


図 2-4-4 仮設小屋矩計図

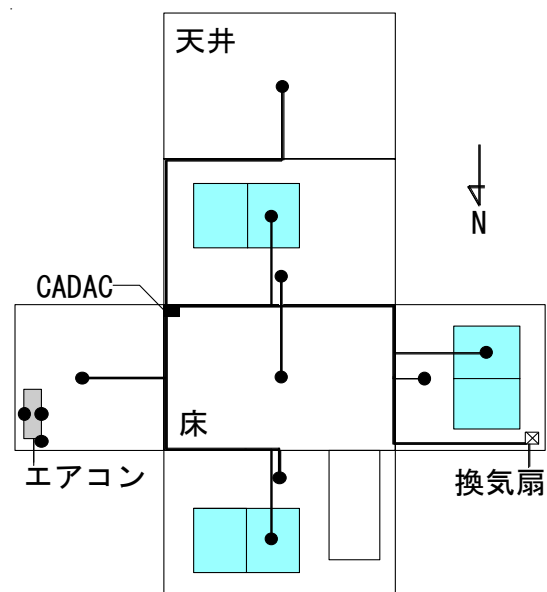


図 2-4-5 仮設小屋測定点

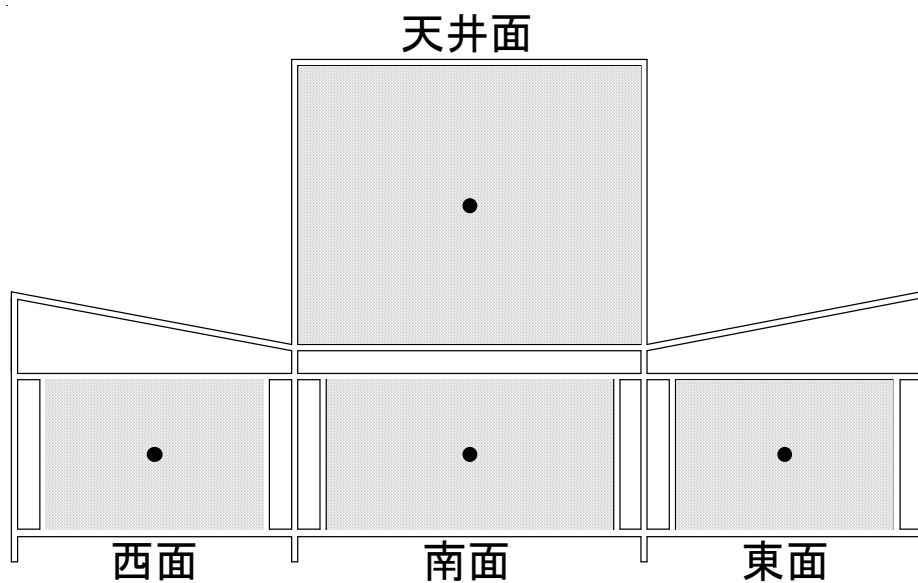


図 2-4-6 外皮膜測定点

表 2-4-1 測定機器の仕様

測定箇所	測定機器	メーカー
データロガー	CADAC21	江藤電気株式会社
温度	T型熱電対	二宮電線工業株式会社
温度	おんどとり TR-73U	株式会社ティアンドデイ
熱流量	熱流計 MF-200	英弘精機株式会社
日射量	小型日射計 ML-020VM	英弘精機株式会社
照度	照度計 照度ロガー 3640	日置電機株式会社
電流	電流計 クランプロガー 3636	日置電機株式会社

2.4.1 温熱環境の評価

1) 測定概要

仮設小屋各面の温度変化、MRT、PMV、室中央照度、屋根面直達日射から比較し、外皮膜の有無によるエネルギー負荷削減効果、日射遮蔽効果を検証する。測定方法は、空調機を設定温度 26℃、風量を弱とした状態で測定した。空調機概要を図 2.4-7 に示す。測定間隔は 5 分で行なった。PMV の計算には外気温を用いた。MRT は測定値から、風速 0.5m、湿度 50%、着衣量 1.02clo、仕事量 1.1met とした。測定期間は、8 月 12 日から 9 月 23 日までである。8 月 28 日、31 日の膜未装着仮設小屋の北側窓面温度データについては、データ欠損によりグラフには転載していない。



図 2-4-7 空調機概要(パナソニック株式会社ホームページより)

1) 8月代表日の測定結果

8月28日(晴天日)のデータを図2-4-8から図2-4-13に示す。

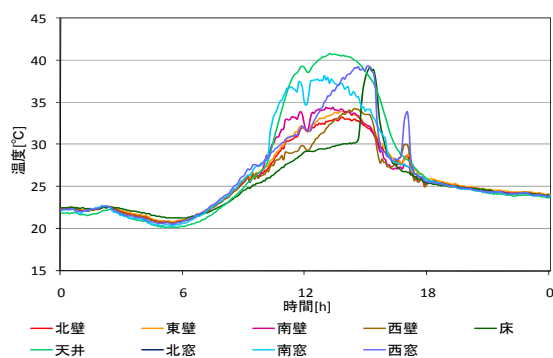


図2-4-8 仮設小屋各面の温度(外皮膜-無)

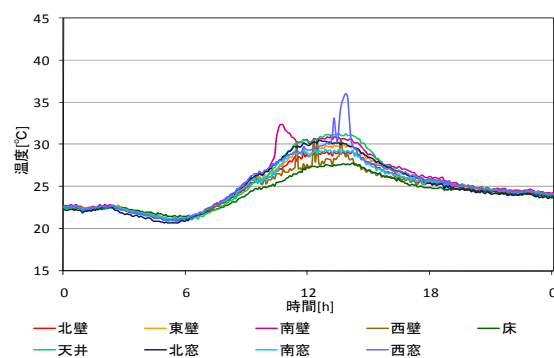


図2-4-9 仮設小屋各面の温度
(外皮膜-有)

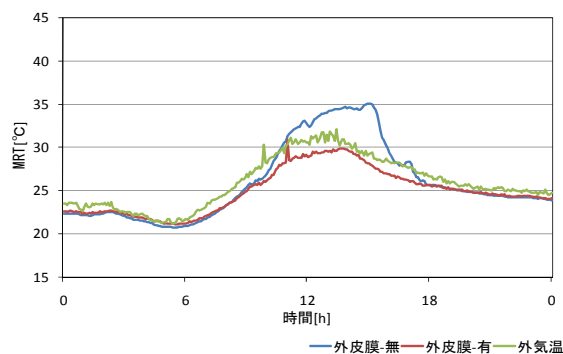


図2-4-10 MRT

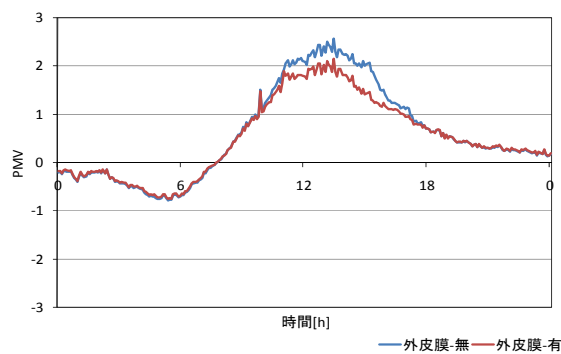


図2-4-11 PMV

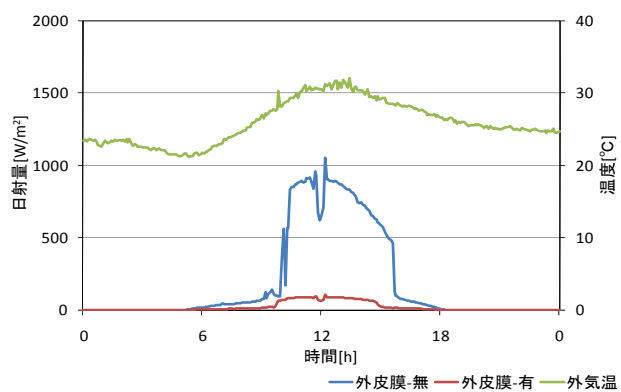


図2-4-12 屋根面直達日射量

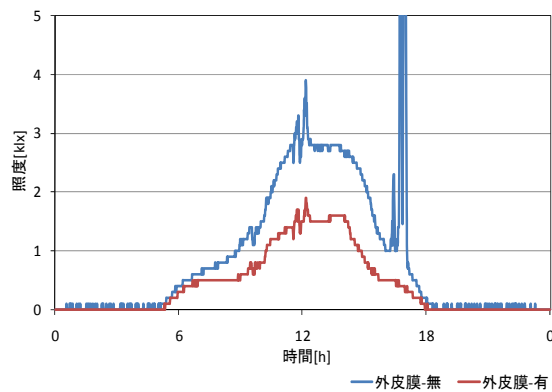


図2-4-13 室中央照度

仮設小屋各面の温度、MRT：

外皮膜を装着した場合は、膜を装着していない場合に比べて温度変化が小さい。特に、天井面では約 9°C の差が生じた。北面、東面、西面では約 4°C 、南面で約 3°C 、床面で約 2°C 、南窓面で約 8°C 、西窓面で約 5°C の差となった。MRT では最大で約 7°C の差が生じた。総じて、外皮膜を装着していない場合の方で温度が高く、外皮膜の日射遮蔽による温度上昇の抑制があると考えられる。

PMV：

PMV は、夜間には大きな差は見られないが、日中には約 0.4 の差が生じた。 0 に近い方が快適な空間に近いとされているため、外皮膜を取り付けた場合の方が快適な空間だといえる。外皮膜を取り付ける事によって、MRT が低下するため、温度の低い方が好ましい夏季において、PMV が 0 に近かったと考えられる。

屋根面直達日射量、室中央照度：

屋根面に当たる日射量は、膜未装着時で $940\text{w}/\text{m}^2$ 、膜装着時で $98\text{w}/\text{m}^2$ と、膜を装着する事で約 90% 減少した。室中央照度は、膜未装着時で 2.8klx 、膜装着時で 1.3klx と約 50% の照度が減少した。室中央照度は、西日を受けている時間帯では、膜未装着と比較すると約 95% 減少した。外皮膜による日射遮蔽、室内照度の調整に利用出来ると考えられる。

2) 9月代表日の測定結果

9月20日(晴天日)のデータを図2-4-14から図2-4-19に示す。

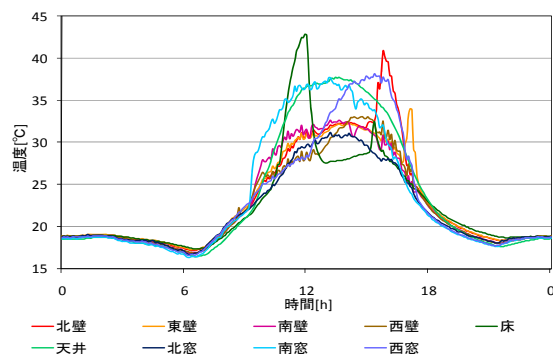


図2-4-14 仮設小屋各面の温度(外皮膜-無)

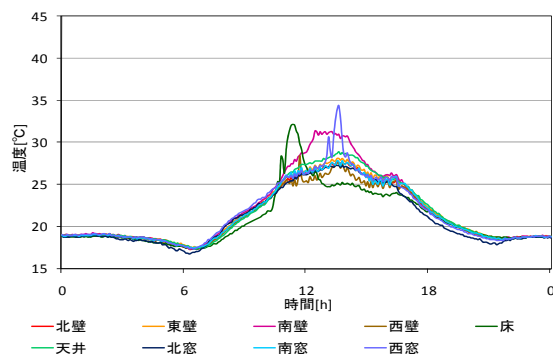


図2-4-15 仮設小屋各面の温度(外皮膜-有)

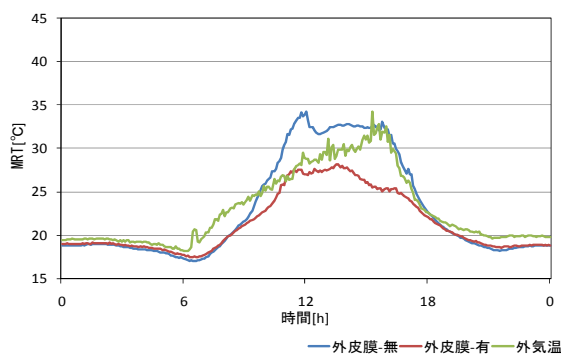


図2-4-16 MRT

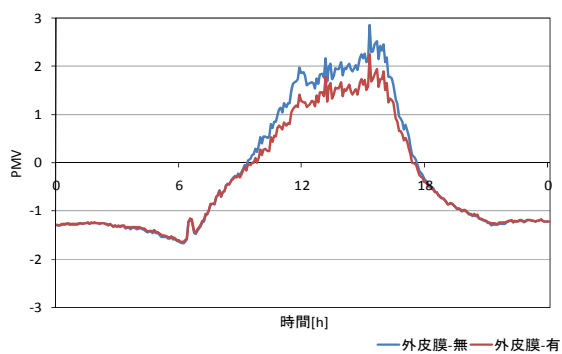


図2-4-17 PMV

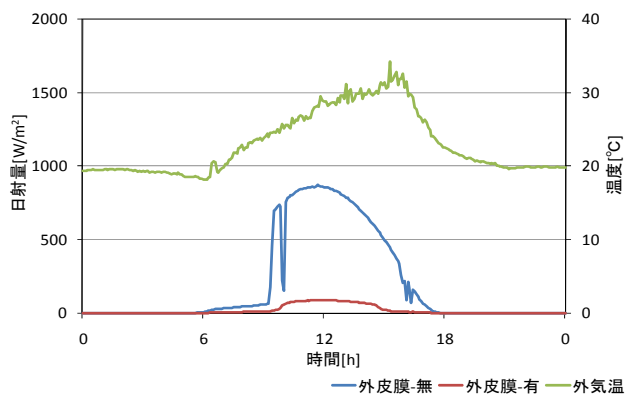


図2-4-18 屋根面直達日射量

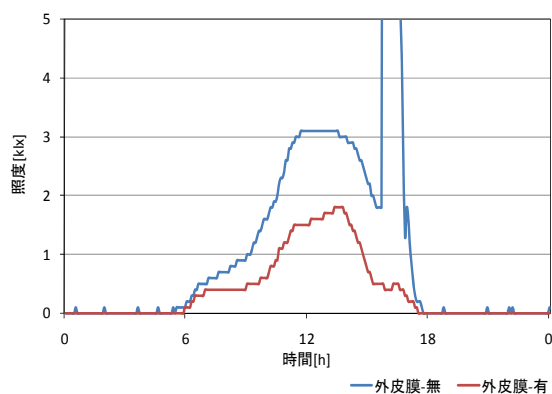


図2-4-19 室中央照度

仮設小屋各面の温度、MRT：

北面、西面で約5℃、東面で約4℃、南面、床面で約1℃、天井面、南窓面で約9℃、東窓面で約3℃、西窓面で約8℃の差が生じた。MRTでは約7℃の差が生じた。天井面は、ほぼ太陽の移動に沿って温度が上昇した。日中において

て、膜が装着されていない仮設小屋では、床面温度が大幅に上昇した。これは、南窓面から入った日射が直接床面を暖められたため、大幅に温度上昇したと考えられる。膜未装着時で、16 時前後に西窓面、北面での温度上昇は、西日の影響と思われる。

PMV :

夜間には PMV は 0 を下回り、外皮膜の有無で差は見られないが、6 時頃から上昇し、9 時から 17 時まで 0 を上回る。日中時、膜未装着と膜装着の場合で、最大約 0.6 の差が生じた。日射遮蔽による室内温度の違いが快適性に影響したと考えられる。

屋根面直達日射量、室中央照度 :

膜未装着時の屋根面直達日射量は、12 時前後で 852w/m^2 が最大となった。膜装着時は、 88w/m^2 が最大となり、外皮膜の効果で約 90%減少させる事が出来るという結果となった。同時刻の室中央照度は、膜未装着時で 3.1klx 、膜装着時で 1.5klx と約 50%削減された。西日を受けている時間帯では、膜を装着する事で照度が約 98%削減された。

3) 雨天日の測定結果

8月31日(雨天日)のデータを図2-4-20から図2-4-25に示す。

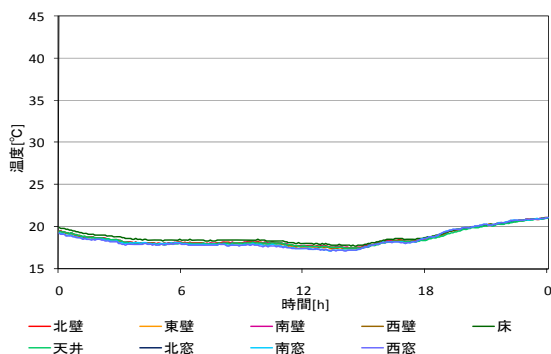


図 2-4-20 仮設小屋各面の温度(外皮膜-無)

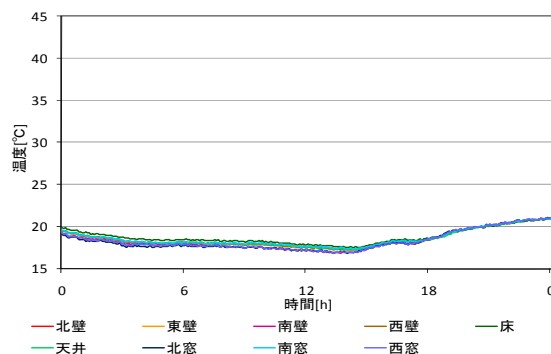


図 2-4-21 仮設小屋各面の温度(外皮膜-有)

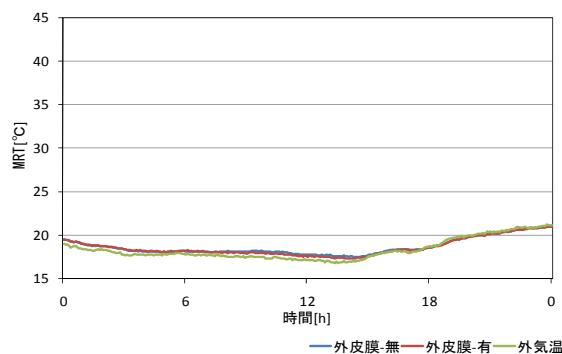


図 2-4-22 MRT

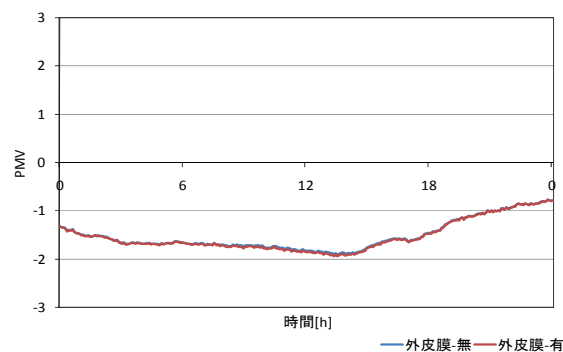


図 2-4-23 PMV

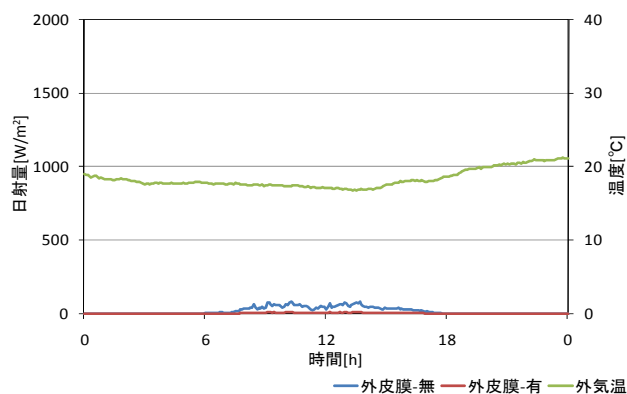


図 2-4-24 屋根面直達日射量

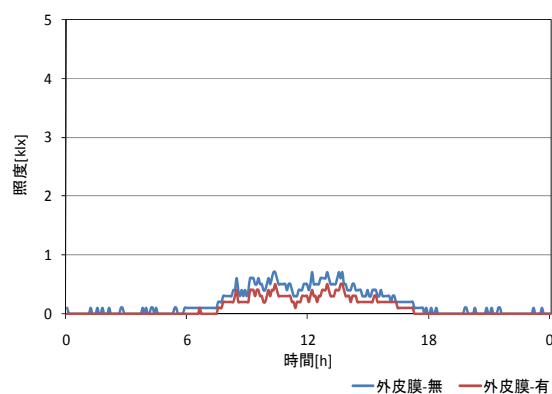


図 2-4-25 室中央照度

仮設小屋各面の温度 MRT :

仮設小屋各面の温度変化は、それぞれ 0.2 から 0.5°C程度、外皮膜を取り付けた方が小さい数値となった。外皮膜による温度上昇の抑制効果は見られるが、

微差であるため、雨天日には、効果はほとんどないと考えられる。MRT も外皮膜を取り付けた場合の方が、若干小さくなったが、それほどの差は見られなかった。外気温と比較しても、ほとんど差は見られなかった。

PMV :

終日を通して 0 を下回っており、大きな変化は見られなかった。外皮膜の有無で比較した場合においても変化がほとんどなく、時間帯によっては、外皮膜を取り付けた場合の方が小さい値をとるため、気温が低く、日射量が少ない日では、膜材の日射遮蔽効果が欠点となってしまうケースも考えられる。

屋根面直達日射量、室中央照度 :

屋根面直達日射量は、膜未装着時で 31w/m^2 、膜装着時で 3w/m^2 と、約 90% 削減しているものの効果は薄いと見られる。室中央照度は、膜未装着時で 0.4klx 、膜装着時で 0.2klx とこちらもほとんど差がみられなかった。室内で作業をするために必要な照度を考えると、膜未装着の方が雨天時には有効であると考えられる。

2. 4. 2 冷房負荷削減量の検証

1) 測定詳細

消費電力、積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金より、外皮膜の有無によるエネルギー負荷削減効果を検討する。測定方法は、空調機を設定温度 26℃、風量を弱とした状態で測定した。測定間隔は 5 分で行なった。寸法が縦 280mm、横 799mm、奥行 189mm の空調機を仮設小屋内部に設置した。空調機の仕様は、電源が単相 100V、運転電流が 5.0A、冷房能力が 2.2(0.8～2.8)kW、消費電力が 450(145～620)W、冷房時のエネルギー消費効率(COP)が 4.89 である。二酸化炭素排出量の算出には、二酸化炭素排出原単位 0.332kg-CO₂/kWh を用い、電気料金には、一般家庭向け電力量料金単価 25 円/kWh を用いた。測定期間は、8 月 1 日から 9 月 23 日までである。

实在消費電力を算出するにあたり、次のように求めた。まず、仮設小屋の熱損失係数を算出した[式(2.4.1)]。なお、仮設小屋の熱損失係数は 133.97W/K である。次に、負荷容量を求めるために、熱損失係数を Δt (室温から設定温度分を引いた値)で割り算出した[式(2.4.2)]。室温を測定温度に下げするために使用された余剰分の消費電力を求めるにあたり、負荷容量を COP で割り算出した[式(2.4.3)]。余剰分の消費電力と実測した消費電力の数値を足し合わせ、实在消費電力を算出した[式(2.4.4)]。

$$W = \left(\sum KA + C_p \rho n V \right) \quad [\text{W/K}] \quad (2.4.1)$$

$$W' = W / \Delta t \quad [\text{W}] \quad (2.4.2)$$

$$P' = W' / \text{COP} \quad [\text{W}] \quad (2.4.3)$$

$$P'' = P' + P \quad [\text{W}] \quad (2.4.4)$$

W : 熱損失係数[W/K] K : 各部位の熱貫流率[W/m²K]

A : 各部位の表面積[m²] C_p : 空気の比熱(1005[J/kgK])

ρ : 空気の密度(1.206[kg/m³]) n : 換気回数(0.5[回/h])

V : 室容積[m³] W' : 負荷容量[W]

Δt : (室温－設定温度(26℃)) [°C]

P' : 余剰分の消費電力[W] P : 実測した消費電力[W]

P'' : 实在消費電力[W]

2) 8月代表日の測定結果

8月28日(晴天日)のデータを図2-4-26から図2-4-28に示す。

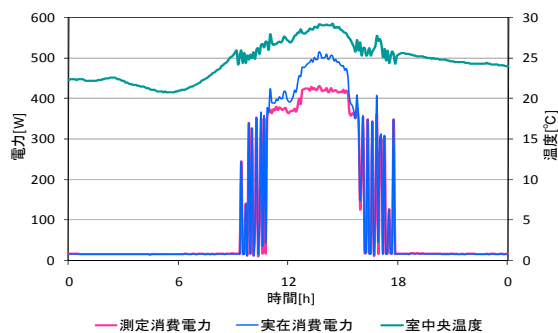


図2-4-26 消費電力(外皮膜-無)

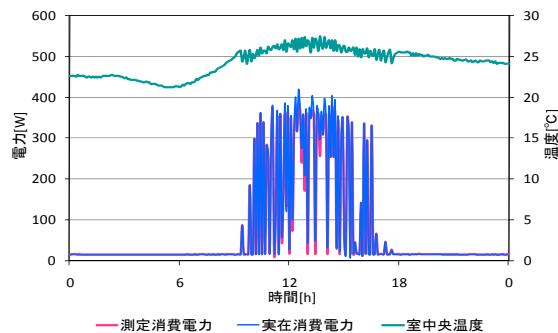


図2-4-27 消費電力(外皮膜-有)

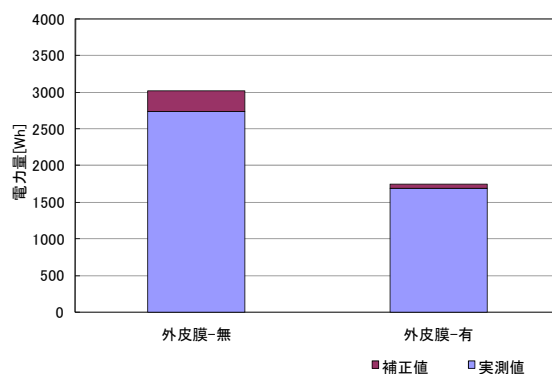


図2-4-28 積算消費電力量

消費電力、積算消費電力量：

膜未装着の場合では、11時から16時にかけて電力消費量が300Wを下回らず、空調機が常に稼働している状態になっていた。それに対して、膜装着の場合では、消費電力分布が日中でも上下に変移していたことから、空調機が稼働と停止を繰り返していたことになる。室内の温度においても、膜装着時では、26℃程度で安定した値となっているが、膜未装着時では、29℃程度と空調機の性能を超えるほどに室内温度が上昇した。積算消費電力量では、膜未装着の場合は3014Whとなり、膜装着の場合では1743Whとなった。外皮膜を取り付けた場合、約42%の消費電力を削減出来る結果となった。

3) 9月代表日の測定結果

9月20日(晴天日)のデータを図2-4-29から図2-4-31に示す。

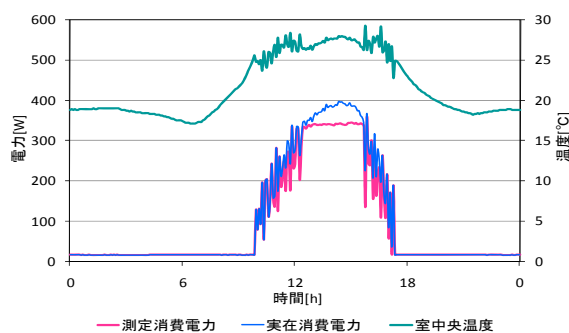


図 2-4-29 消費電力(外皮膜-無)

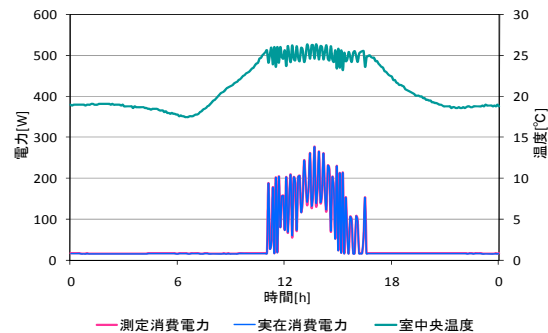


図 2-4-30 消費電力(外皮膜-有)

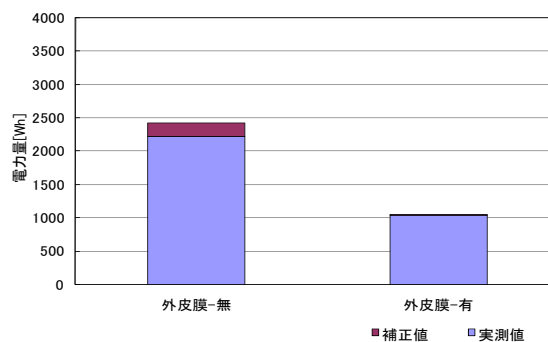


図 2-4-31 積算消費電力量

消費電力、積算消費電力量：

膜未装着の場合、10時頃から消費電力が上がり始め、12時から16時まで300Wを超える値となった。その間は300Wを下回る事はなく、空調機は常に稼動していた。膜装着の場合、空調機の使用時間が膜未装着の場合と比較しても2時間ほど短く、消費電力も300Wを超える時間帯がなかった。

室内温度においては、膜未装着時で26°Cの設定温度を上回り、最大29°C程度まで上昇するのに対し、膜装着時では、温度が最も高くても26°C程度で安定していた。

積算消費電力量は、膜未装着の場合で2417Wh、膜装着の場合で1043Whと、外皮膜を取り付ける事により、約56%の消費電力を削減する事が可能となった。

4) 雨天日の測定結果

8月31日(雨天日)のデータを図2-4-32から図2-4-34に示す。

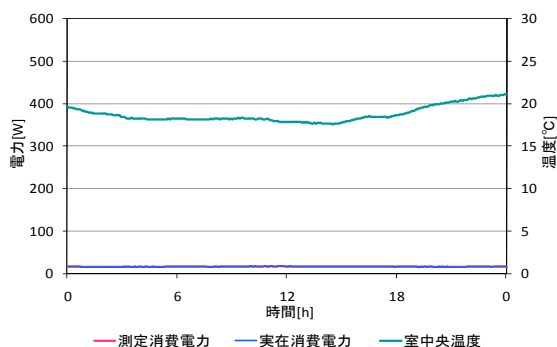


図 2-4-32 消費電力(外皮膜-無)

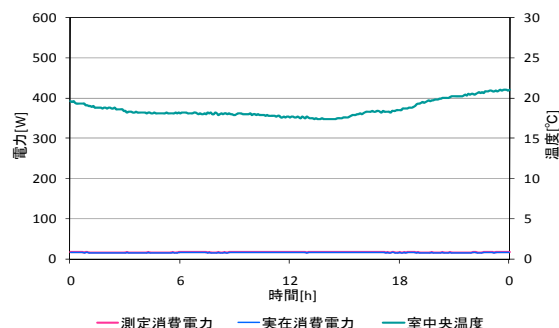


図 2-4-33 消費電力(外皮膜-有)

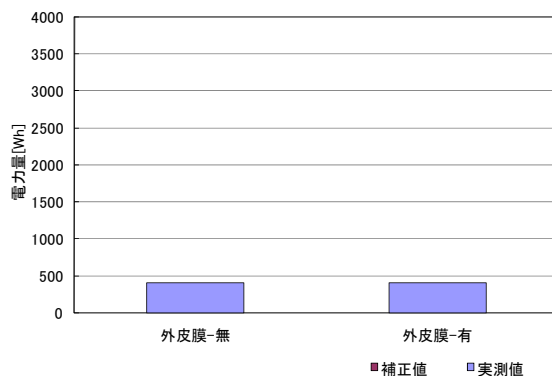


図 2-4-34 積算消費電力量

消費電力、積算消費電力量：

雨天日では設定温度を超える時間帯がないので、消費電力は、待機電力以外に使われていないと考えられる。積算消費電力量でみてもほぼ差が見られないのが分かる。気温が上昇しない日が多くなると、膜の日射遮蔽による温度抑制の必要性が薄くなるため、外皮膜は気温が高く、日差しの強い地域で効果的に利用可能と考えられる。

5) 月毎の積算消費電力量比較

8月、9月ごとに加え、2カ月全体の積算消費電力量のデータを図2-4-35から図2-4-37に示す。

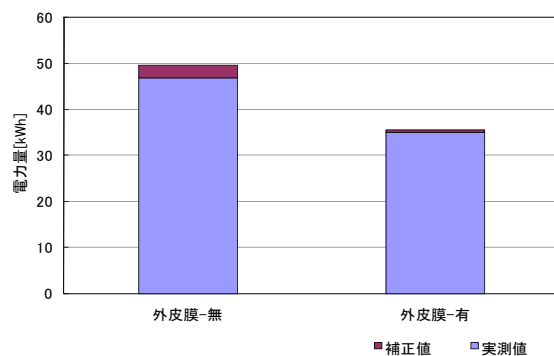


図 2-4-35 8月全体の積算消費電力量

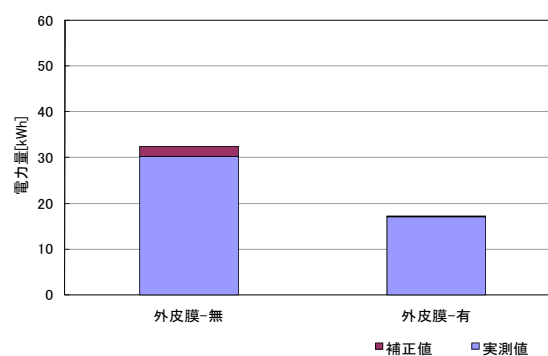


図 2-4-36 9月全体の積算消費電力量

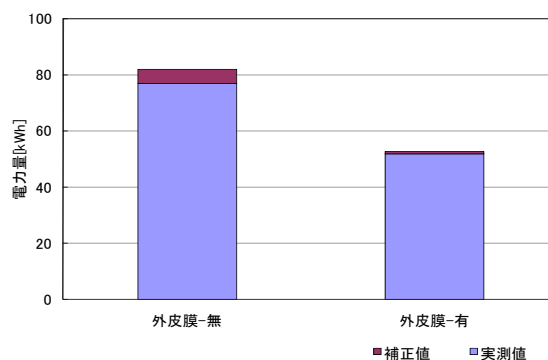


図 2-4-37 2カ月全体の積算消費電力量

積算消費電力量：

8月の積算電力量では、膜未装着が約50kWh、膜装着で約35kWhとなった。外皮膜を取り付ける事により、約30%の消費電力が削減された。9月の積算電力量では、膜未装着の場合で約32kWh、膜装着の場合で約17kWhとなった。外皮膜を取り付ける事により、消費電力が約50%削減された。8月全体を通して、消費電力削減量の割合が小さいのは、室内が予想以上に高温となるため、空調機の性能を最大限に発揮させ、室内を冷却する事が要因となり、消費電力削減量が小さくなったと考えられる。膜未装着の場合で、室温が設定温度を大きく上回っている事からもうかがえる。消費電力の大きい空調機を取り付けている建築物で膜を使用する事より、さらに、消費電力量に差が生じるのではないかと考えられる。

2 カ月全体の積算電力量では、膜未装着の場合で約 82kwh、膜装着の場合で約 52kwh となった。外皮膜を取り付ける事により、約 36%削減された。この結果から、夏季に外皮膜を取り付ける事で、消費電力削減に効果がある事が確認された。

6) 月毎の二酸化炭素排出量、電気料金の比較

8 月、9 月ごとに加え、2 カ月間全体の二酸化炭素排出量と電気料金のデータを図 2-4-38 から図 2-4-43 に示す。

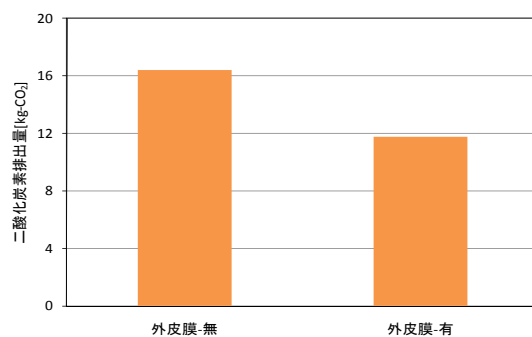


図 2-4-38 8 月全体の二酸化炭素排出量

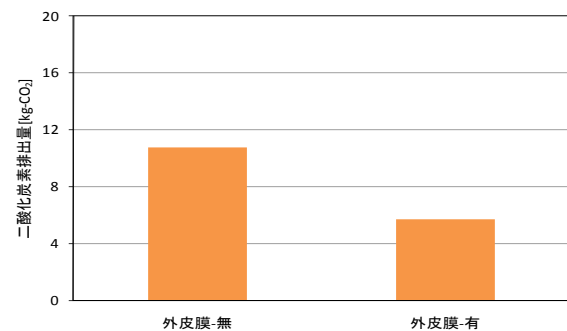


図 2-4-39 9 月全体の二酸化炭素排出量

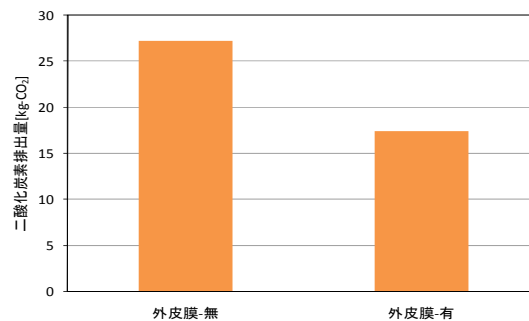


図 2-4-40 2 カ月全体の二酸化炭素排出量

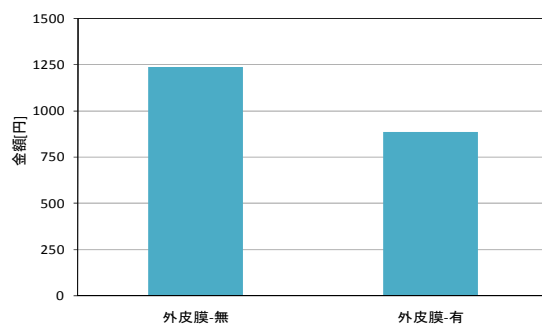


図 2-4-41 8 月全体の電気料金

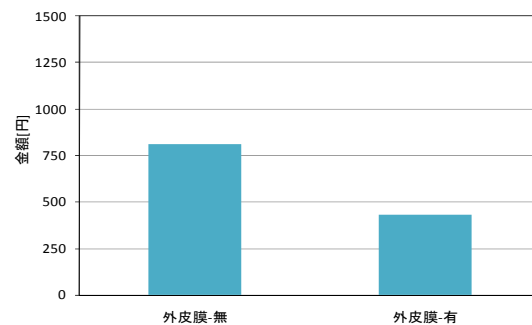


図 2-4-42 9 月全体の電気料金

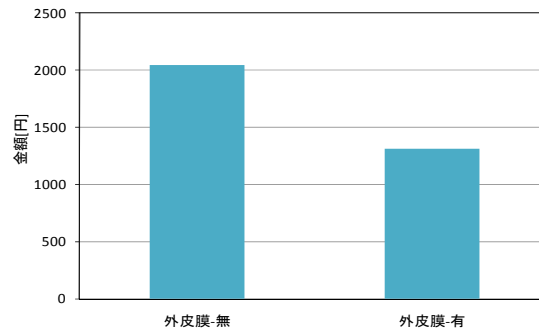


図 2-4-43 2 カ月全体の電気料金

二酸化炭素排出量、電気料金：

8 月全体の二酸化炭素排出量は、膜未装着の場合で約 16.4kg-CO₂、膜装着の場合で約 11.8 kg-CO₂ となった。外皮膜を装着する事により約 28%削減された。9 月全体の積算電力量では、膜未装着の場合で約 10.8 kg-CO₂、膜装着の場合で約 5.7 kg-CO₂ となった。外皮膜を取り付ける事により約 47%削減された。2 カ月全体の二酸化炭素排出量では、膜未装着の場合で約 27.2 kg-CO₂、膜装着の場合で約 17.4 kg-CO₂ となった。外皮膜を取り付ける事により、約 36%削減された。

8 月全体の電気料金は、膜未装着の場合で 1238 円、膜装着の場合で 885 円となり、外皮膜を装着する事で 353 円のコストが削減された。9 月全体の電気料金は、膜未装着の場合で 810 円、膜装着の場合で 430 円となった。外皮膜を取り付ける事により、380 円のコストが削減された。2 カ月全体の電気料金では、膜未装着の場合で 2048 円、膜装着の場合で 1313 円となった。膜を装着する事で、膜未装着時に比べて 735 円のコストが削減された。

この結果から、夏季に外皮膜を装着する事で、消費電力が抑えられ、二酸化炭素排出量と電気料金も抑制されることが確認された。

7) 考察

仮設小屋各面の温度：

膜未装着の場合では、日中時に 40℃を越えるほど温度が上昇し、仮設小屋各面の温度変動も非常に大きい。それに対して、膜装着の場合では、各面の温度が 35℃前後にしかならず、各面の温度差も比較的小さくなった。天

井面は、外皮膜の有無で約 10℃の差が生じた。天井以外の面でも、外皮膜を装着する事により、温度が低下する事が確認された。雨天日には、外皮膜の有無、各面の差がほとんど見られなかった。

MRT :

日中の時間帯には、外皮膜の有無で約 5℃の違いが生じた。一日の温度変化で見た場合、外皮膜を取り付けた場合の方が温度変化は小さく、夜間には膜未装着の方が若干、温度が低いという結果になった。膜材の断熱性能により、室内温度が逃げにくくなっていると考えられる。

PMV :

日中には、膜未装着の場合で PMV が高いが、夜間では大きな差は見られなかった。日中においては、外皮膜を取り付けた方が、値が 0 に近いため快適性が高いといえる。

屋根面直達日射量、室中央照度 :

外皮膜を装着する事で、膜未装着の場合より、屋根面直達日射量が約 1 割に、室中央照度が約 5 割に減少した。特に、照度では西日を遮蔽している時の減少幅が大きくなった。雨天日においても減少傾向は変わらないが、日射量、照度共に値が小さいため、大きな差は見られなかった。外皮膜は日射遮蔽により、温度抑制だけでなく、室内の照度調整にも活用出来る可能性がある。

消費電力、二酸化炭素排出量、電気料金 :

膜装着の場合、日中でも温度があまり上昇せず、空調機が停止する事があるのに対して、膜未装着の場合、空調機は継続して稼動していた。その結果、1 日の消費電力量は、2 日とも積算消費電力量に 1000W 以上の差が生じた。雨天時には、外皮膜の有無による差はほとんど見られなかった。

二酸化炭素排出量と電気料金も消費電力と同様の事が言える。晴天日において、外皮膜を取り付けない場合だと、消費電力が増加するので、結果として、二酸化炭素排出量と電気料金も増加してしまう。だが、外皮膜を取り付ける事で、1 日あたりの消費電力を抑える事が出来、二酸化炭素排出量と電気料金も抑制する事が出来る。この事から、膜を装着する事により、環境面だけではなく、経済面においてもコスト削減が出来る事を確認した。

2. 4. 3 まとめ

ヒートポンプを設置した仮設建物2棟の一方に外皮膜を設置し、8～9月に温熱環境、消費エネルギー量の実測を行った結果、外皮膜有りの冷房消費電力は、外皮膜無しに比べて43%程度削減されること確認した。また、日中の室内平均放射温度では、外皮膜無しが34℃に達するのに対し、外皮膜有では、29℃以下に保たれることを確認した。

以上の結果より、外皮膜は日射遮蔽による冷房負荷削減効果と、室内温熱環境の改善効果を有することを確認した。