

1. はじめに

近年、ヒートアイランド現象の緩和、夏季の室内温熱環境の改善、室内冷房負荷の低減などの効果を有する屋根や舗装の高反射化技術の関心が高まっている。その中で、高反射率塗料は、塗料の成分に近赤外線反射率を高める遮熱顔料を含み、建物の屋上や外壁の表面に塗布することにより躯体への日射熱の吸収を抑制することができ、温熱快適性を維持しながら冷房負荷低減を実現し、電力消費量の削減と二酸化炭素排出量の抑制が可能な建材として期待されている。また、2008年9月に「JIS K 5602 塗膜の日射反射率の求め方」、2011年7月に「JIS K 5675 屋根用高反射率塗料」が制定され、公的試験機関によって塗料・塗膜の遮熱性能評価がなされるようになり、さらに現場での実証実験によりその効果が広く確認されている。

ここで、一般に塗料表面の明度が高くなるほど日射反射率は高くなる。図1に示すように、全波長域での日射反射率では一般塗料と高反射率塗料の差異が明確ではないが、近赤外線（熱線と呼ばれる）の波長域（波長 780～2500nm）では両者の日射反射率の差が大きくなる。そこで、近赤外波長域の日射反射率と明度との関係から、近赤外波長域での日射反射率が、明度が 40.0 以下の場合には 40.0% 以上、明度が 40.0～80.0 の場合には明度以上の値、明度が 80.0 以上の場合には 80.0% 以上の製品を高反射率塗料と規定している。

ところで、塗料・塗膜の遮熱性能が日射反射率で一律に評価されるとしたら、同じ高反射率塗料に対して塗布される基材、たとえばコンクリート、金属、木質材料等の違いで遮熱性能に差異はないのであろうか、また塗布後の遮熱性能の経年変化について現場での日射反射率の測定基準の制定が

望まれているが、総合的な遮熱性能を天候条件が不確定な現場でなく、客観的再現性が得られる一定の試験条件で簡易に測定することができないであらうか。

そこで、本研究では、赤外線ランプ照射による簡易な遮熱性能試験により、高反射率塗料を塗布する基材や高反射率塗料色の違いが遮熱性能に及ぼす影響、ならびに高反射率塗料を塗布した鉄板の屋外暴露による遮熱性能の経時変化について実験的検討を行った。

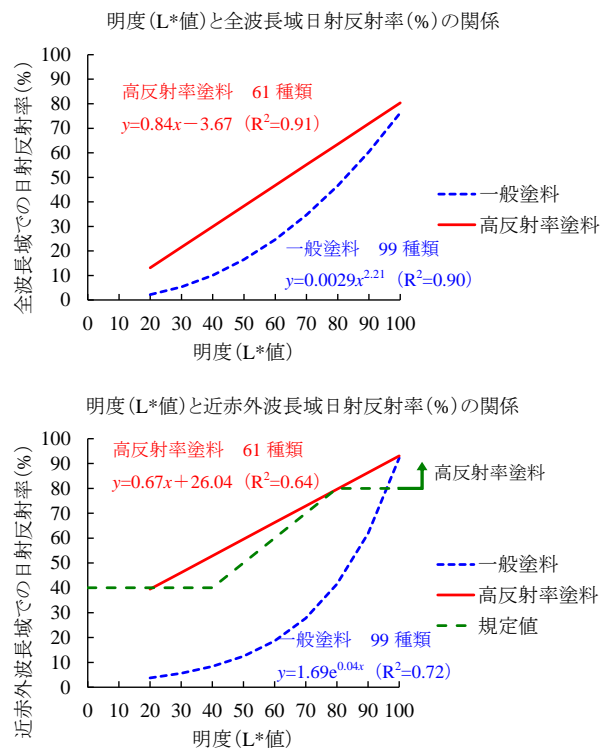


図1 高反射率塗料の明度と日射反射率の関係  
(文献1)より抜粋)

## 2. 試験方法

試験体の遮熱性能を簡易に測定するために、ここでは図2に示すように、厚さ50mmのポリスチレンフォームにより作製した簡易断熱箱の片面開口部に試験体を設置し（接合面は粘着テープでシール）、試験体表面と赤外線ランプ先端の距離を26cm一定とし、赤外線ランプ照射5時間、消灯後5時間の計10時間における試験体外側表面、内側表面、断熱箱内部および室内の温度を熱電対により自動計測を行った。なお、赤外線ランプには市販の家畜用電球（110V、200W）を用い、室内温度はエアコンにより約25℃一定に保持した。

表1に試験体基材の一覧を示す。なお、高反射率塗料（白色、灰色、黒色）には市販のものを用い、メーカーの仕様に沿って各基材に塗布した。また、比較として水性ペイント（白色、黒色）を用いた。

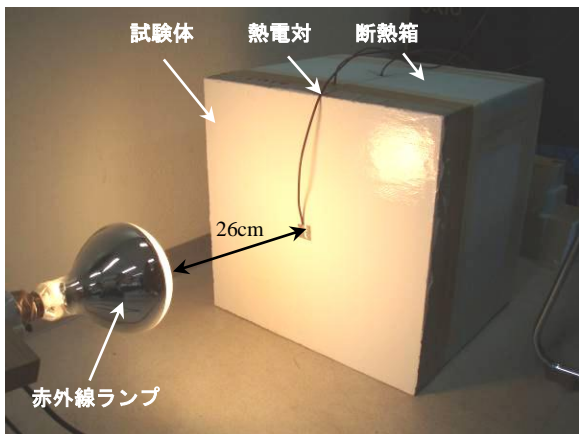


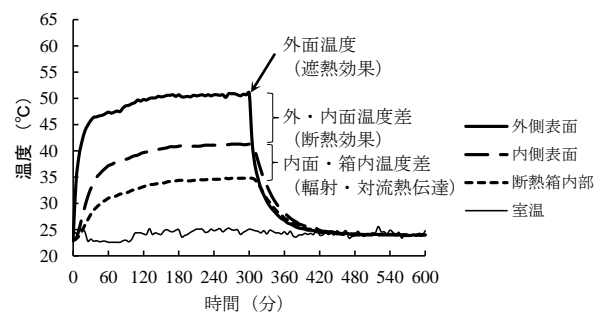
図2 赤外線ランプ照射試験

表1 試験体基材の一覧

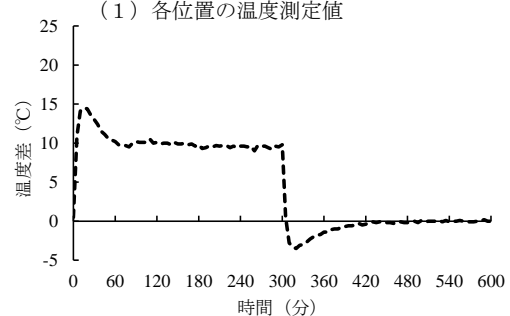
基材	厚さ
普通コンクリート板	60mm
単板積層材 (LVL)	24mm
鉄板 (黒皮付き)	3mm
アルミ板	3mm
銅板	3mm
ポリスチレンフォーム	50mm
エアミルク	50mm
合板	9mm
発泡ゴムマット	50mm

## 3. 試験体基材が熱的效果に及ぼす影響

図3に温度測定結果の一例を示す。ここで、試験体外側表面温度の大きさが遮熱効果、試験体外・内側表面温度差が断熱効果、試験体内側表面・断熱箱内部温度差が輻射・対流熱伝達をそれぞれ間接的に表している。なお、図4にはすべての試験体について試験体内側表面温度と試験体内側表面・断熱箱内部温度差との関係を示すが、試験体基材の違いに関わらず、両者の間にほぼ比例関係が認められる。



(1) 各位置の温度測定値



(2) 試験体外・内側表面温度差の測定値

図3 温度測定結果の一例

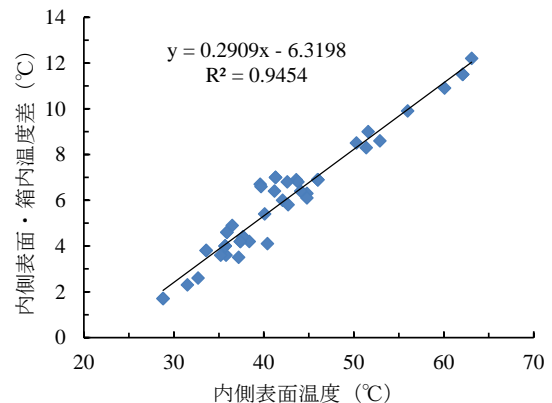


図4 内側表面・断熱箱内部温度差

図5に試験体基材の違いが熱的效果に及ぼす影響を示す。試験体外側表面温度で表される遮熱効果については、鉄板が黒皮付きのためにその色の影響によりもっとも遮熱効果が低く、表面温度は約60℃に達している。また、発泡ゴムマットも暗色系のため遮熱効果が低いが、アルミ板と銅板は表面の光沢により反射率が高く、遮熱効果がかなり高くなっている。試験体外・内側表面温度差で表される断熱効果については、金属板は熱伝導率が高いため断熱効果はほとんどないが、発泡ゴムマット、ポリスチレンフォーム、エアミルクの

ように内部に独立気泡を多量に含む材料の断熱効果はかなり高くなっている。図6は、合板に厚さ40mmのグラスウール、ポリスチレンフォーム、エアミルクを裏込め、アルミシート(厚0.1mm)を内・外張りした場合の熱的效果を示す。アルミシートを外張りした場合には、アルミシートの光沢により外側表面温度が大きく低下し、遮熱効果が高くなっている。また、グラスウール、ポリスチレンフォーム、エアミルクを裏込めした場合には、その断熱効果により内側表面および断熱箱内部の温度がかなり低下している。

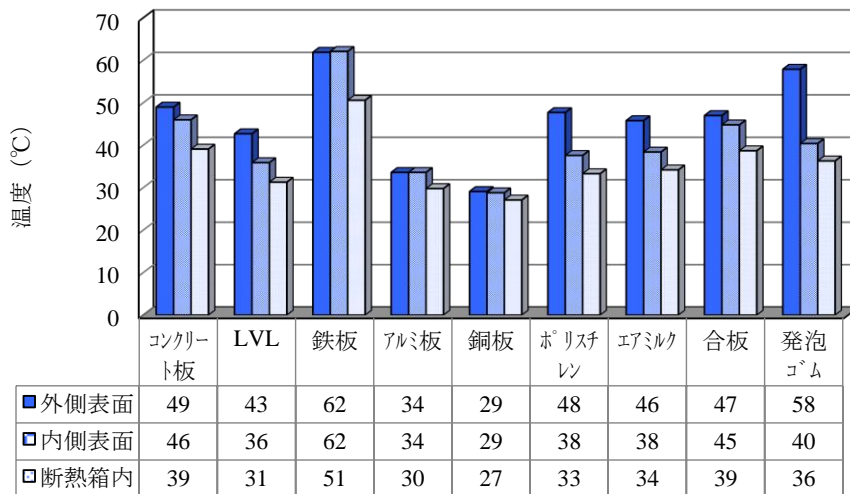


図5 試験体基材の違いが熱的效果に及ぼす影響

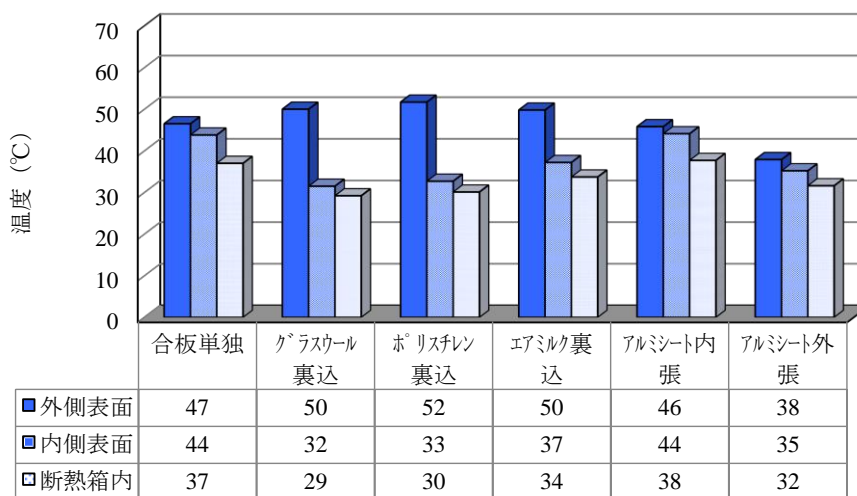


図6 合板に対するグラスウール、ポリスチレン、エアミルク裏込め、アルミシート内・外張りが熱的效果に及ぼす影響

#### 4. 高反射率塗料塗布基材および塗料色の違いが遮熱効果に及ぼす影響

図7に高反射率塗料を塗布する基材がコンクリート板および鉄板の場合のそれぞれについて塗料色の違いが遮熱効果に及ぼす影響を示す。コンクリート板の場合には、無塗布との比較で白色高反射率塗料および白色水性ペイント塗布で遮熱効果が高く、黒・灰色高反射率塗料塗布では遮熱効果はほとんどみられないが、これは塗料色の明度による影響と考えられる。ただし、黒色水性ペイントとの比較では、黒色高反射率塗料の大きな遮熱効果が認められる。また、鉄板の場合には、無塗布と黒色水性ペイント塗布で差はないが、高反射率塗料塗布による大きな遮熱効果が認められる。以上の結果より、塗料色の明度が遮熱効果に及ぼす

影響が大きい、暗色系の塗装が要求される場合には、高反射率塗料の大きな遮熱効果が期待できるものと考えられる。

図8には、試験体基材の熱伝導率の違いが無塗布、白色水性ペイントおよび高反射率塗料塗布の場合のそれぞれについて試験体外・内側表面温度および断熱箱内部温度に及ぼす影響を示す。なお、基材はLVL、コンクリート、鉄板、銅板、アルミ板、ポリスチレンフォーム、熱伝導率はそれぞれ0.12、1.637、80.4、401、237、0.03 (W/mK)とした。無塗布の場合には、前述のとおり、基材の遮熱あるいは断熱効果により特徴的な温度分布を呈しているが、白色水性ペイント塗布の場合には、基材の違いに関わらず外側表面温度は約40℃とほぼ一定となり、遮熱効果はその表面色に支配され

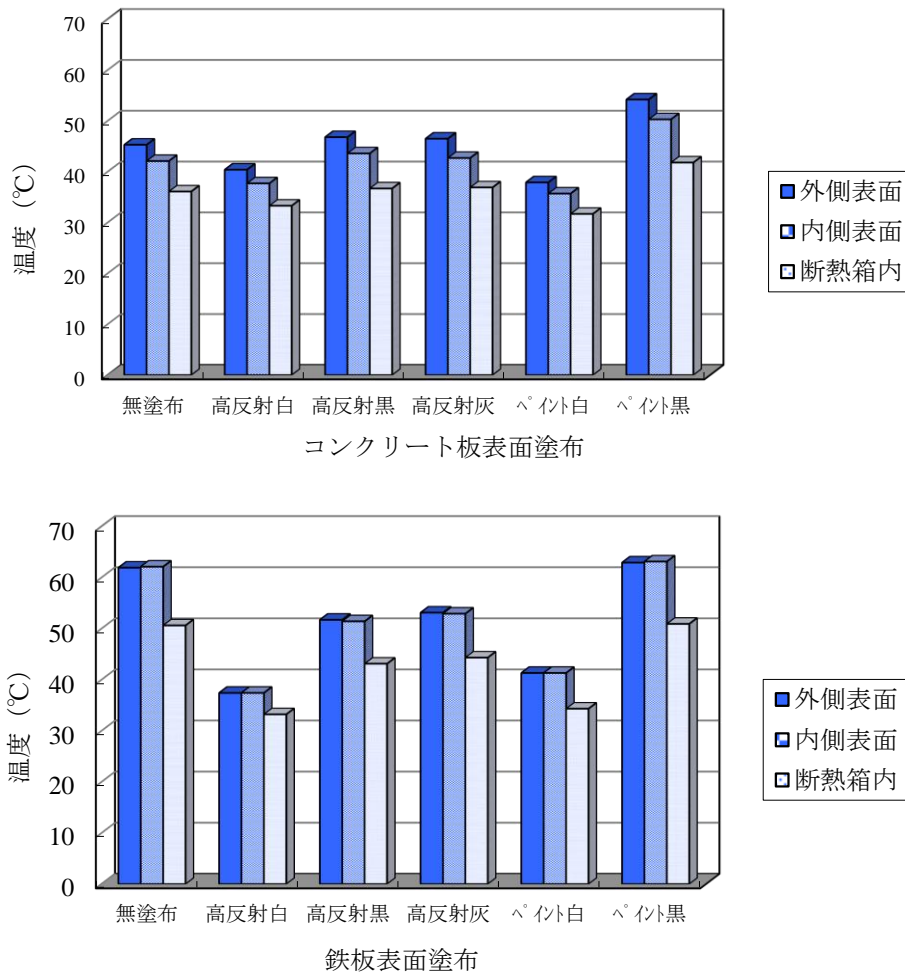


図7 高反射率塗料塗布基材と塗料色の違いが遮熱効果に及ぼす影響

ているように思われる。一方、高反射率塗料については、LVL およびポリスチレンフォームのように断熱効果が大きい基材に塗布した場合に外側表面温度の上昇がみられ、遮熱効果が低下する傾向が認められるが、外・内側表面温度差で表される断熱効果が増加し、結果として断熱箱内部の温度については他の場合と大きな差異はない。

以上の結果についてはさらに詳細な検討を要するが、1章で提示した“塗料・塗膜の遮熱性能が日射反射率で一律に評価されるとしたら、同じ高反射率塗料に対して塗布される基材、たとえばコンクリート、金属、木質材料等の違いで遮熱性能に差異はないのであろうか”について、一般塗料の場合には塗布基材に関わらず、その表面の明度に依存する日射反射率で遮熱性能が一律に評価できそうであるが、高反射率塗料の場合には、日射反射率だけでなく塗布基材の熱的性質が遮熱効果に影響を及ぼす可能性が予想される。

### 5. 高反射率塗料塗布鉄板の屋外暴露による遮熱性能の経時変化

無塗布の鉄板、アルミ板および銅板、白色高反射率塗料および水性ペイントを塗布した鉄板をキャンパス内の6階建てRC造校舎屋上に暴露し、所定の暴露材齢ごとに前述の赤外線ランプ照射試験を行った。

図9に無塗布の鉄板、アルミ板および銅板について暴露材齢に伴う試験体外・内側表面温度および断熱箱内部温度の経時変化を示す。銅板の場合には、暴露材齢4週時点で緑青の発生のために表面の光沢が失われ、初期に比べて各部温度の大きな上昇がみられ、遮熱効果が大きく低下しているが、それ以降については大きな変化は認められない。アルミ板の場合には、暴露材齢4週時点で表面の光沢は失われるものの白色の錆が発生し、その色的効果により初期よりも若干の温度低下がみられるが、それ以降については表面の汚れ等により暴露材齢に伴う若干の温度上昇が認められる。

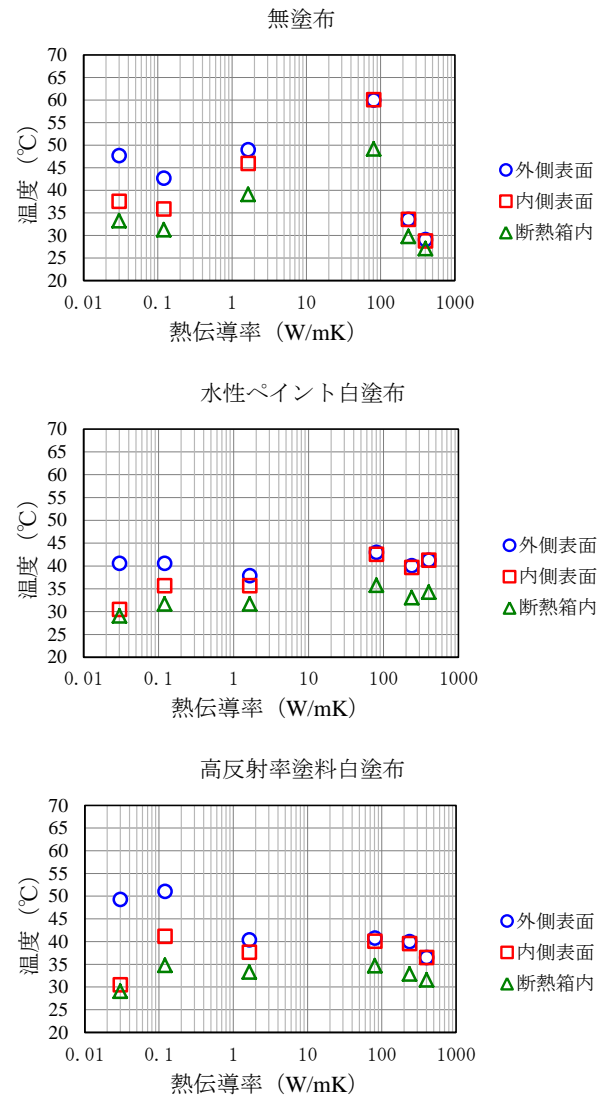


図8 試験体基材の熱伝導率と各位置の温度

鉄板の場合には、暴露材齢4週時点で表面全体に赤錆が発生したものの、初期と比べて各部の温度分布に大きな変化は認められない。

図10に白色高反射率塗料および水性ペイントを塗布した鉄板の屋外暴露に伴う各部の温度変化を示す。高反射率塗料および水性ペイント塗布ともに初期と比べて暴露材齢とともに各部温度の若干の上昇がみられ、遮熱効果の緩やかな経時劣化が認められる。これは、図11に示す塗布表面の明度(L\*)の暴露材齢に伴う経時変化の測定値から、屋外暴露に伴う塗装表面の汚れや艶の喪失による明度の低下に起因しているものと考えられる。

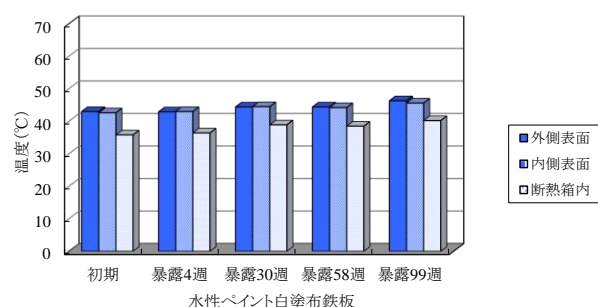
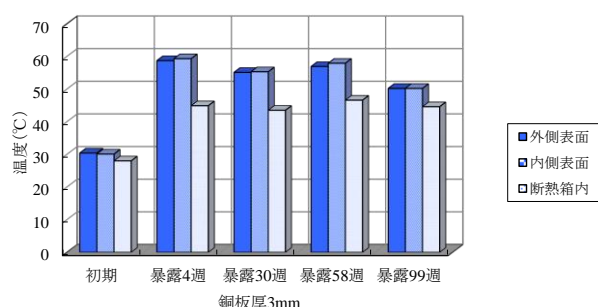
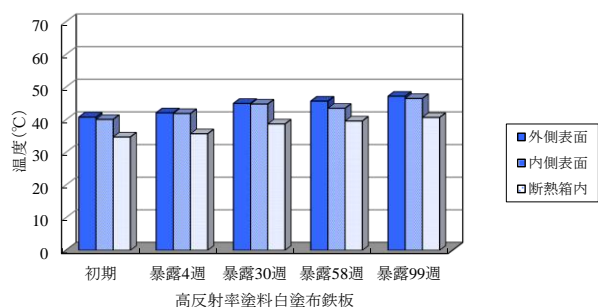
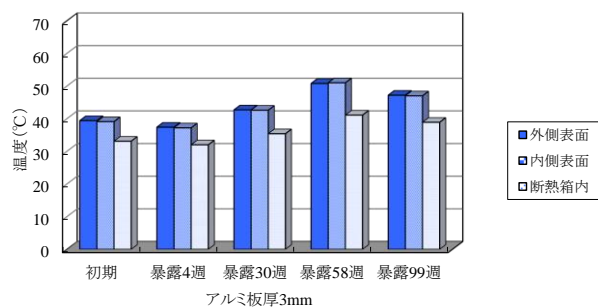
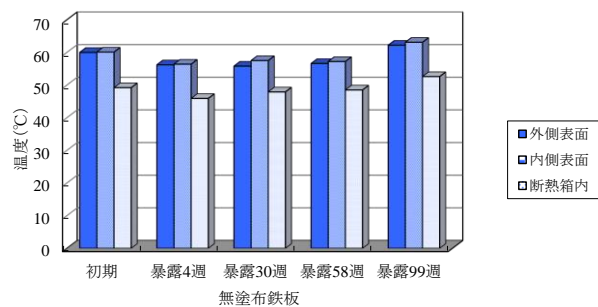
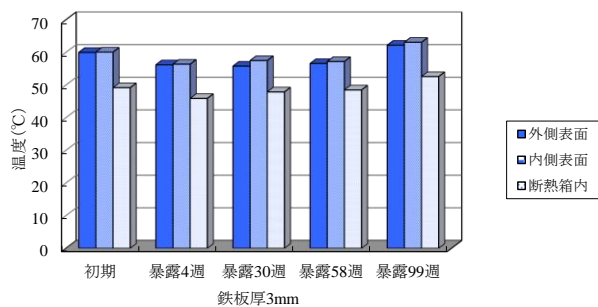


図9 無塗布金属板の各部温度の経時変化

図10 高反射率塗料塗布鉄板の各部温度の経時変化

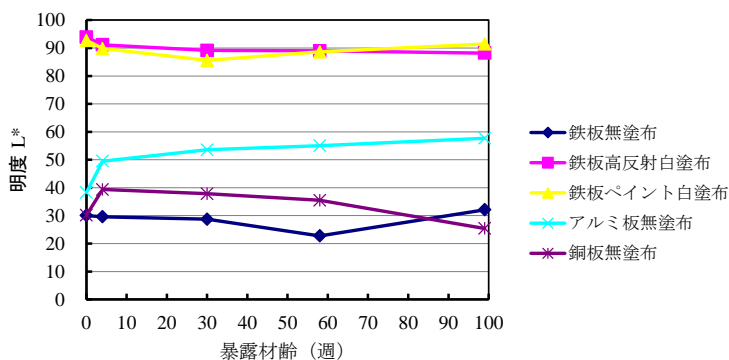


図11 金属板表面の明度(L\*)の暴露材齢に伴う経時変化の測定値

## 6. 結論

本研究では、赤外線ランプ照射による簡易な遮熱性能試験により、高反射率塗料を塗布する基材や塗料色の違いが遮熱性能に及ぼす影響、ならびに高反射率塗料を塗布した鉄板の屋外暴露による遮熱性能の経時変化について実験的検討を行った。

その結果として、本試験方法により、試験体基材の違いが遮熱効果や断熱効果等の熱的效果に及ぼす影響を相対的比較ではあるが簡易に評価できること、高反射率塗料色が遮熱効果に及ぼす影響は表面の色の効果（明度）が大きい暗色系の塗装が要求される場合には高反射率塗料の大きな遮

熱効果が期待できること、屋外暴露による塗装面の汚れや艶の喪失による表面の明度の低下に対応して、屋外暴露材齢とともに遮熱性能の緩やかな劣化が認められることなどが分かった。

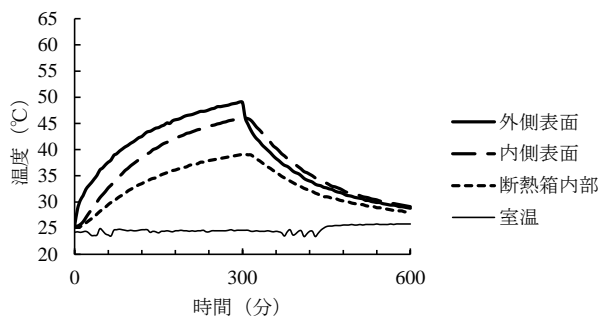
なお、塗布基材として断熱効果が大きい材料の場合には高反射率塗料塗布によって表面温度が上昇し、遮熱効果が低下する可能性も示唆され、高反射率塗料を塗布する基材の熱的性質が遮熱効果に及ぼす影響については今後さらに詳細な実験的検討が必要である。

#### 参考文献

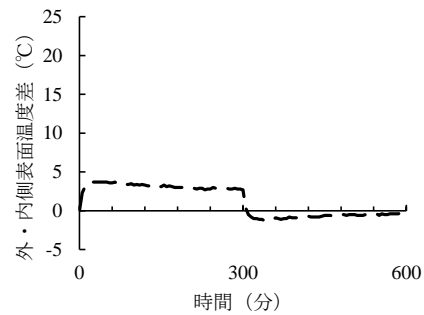
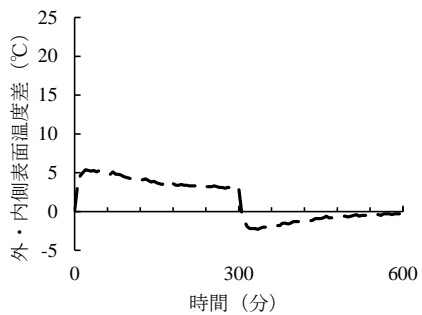
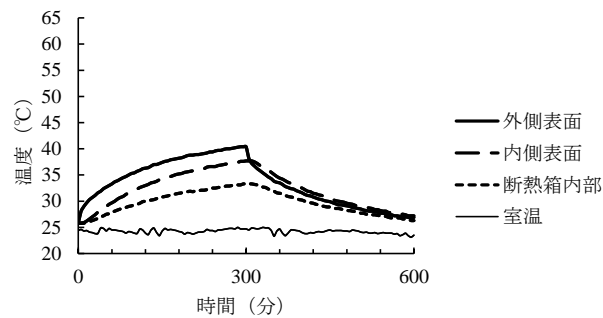
- 1) 日本建築学会編:クールルーフガイドブックー都市を冷やす技術ー, 地人書館, 2014
- 2) 村上 聖: 遮熱・断熱材料の設計、性能評価と応用ー真空断熱材/エアロゲル/スマートウインドウ/透明遮熱・断熱材ー, 技術情報協会, pp.198-201, 2015
- 3) 村上 聖, 長谷川麻子, 山口 信: 未利用熱エネルギー活用の新開発と【採算性を重視した】熱省エネ新素材・新製品設計/採用のポイント, 技術情報協会, pp.301-304, 2014

付録

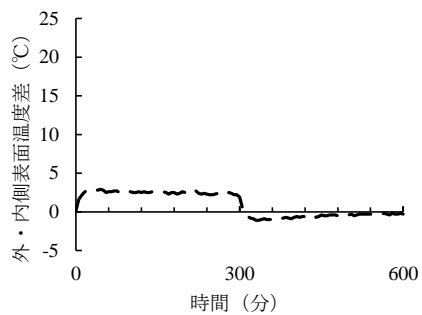
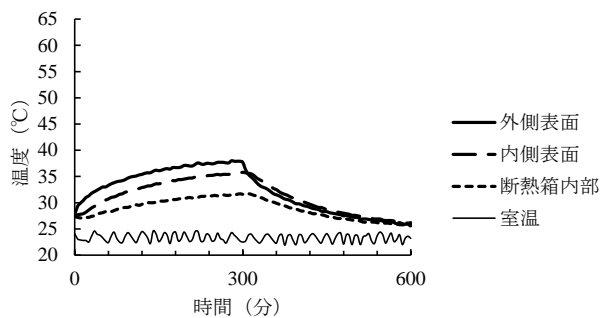
コンクリート板厚60mm (無塗布)



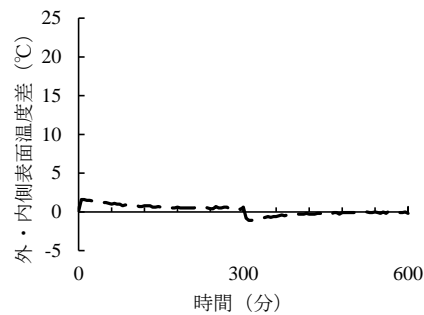
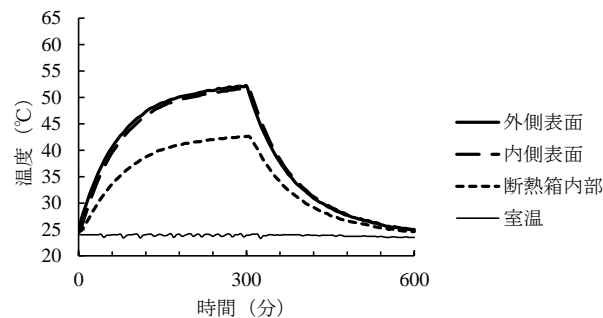
コンクリート板厚60mm (高反射率塗料白)



コンクリート板厚60mm (水性ペイント白)

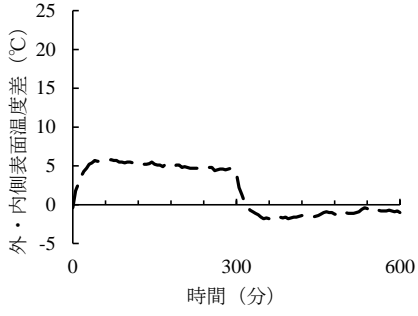
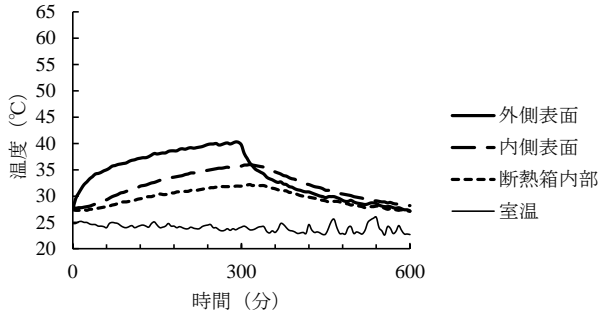


コンクリート板厚30mm (無塗布)

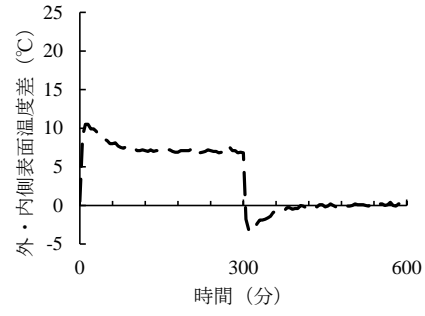
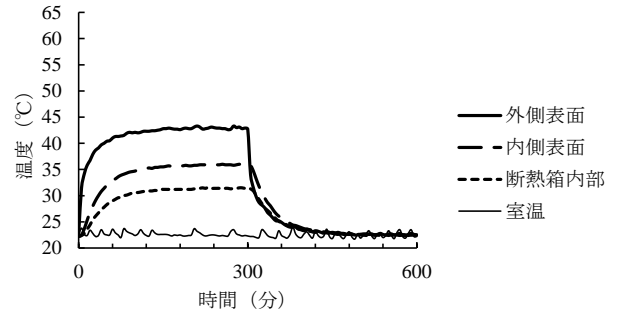




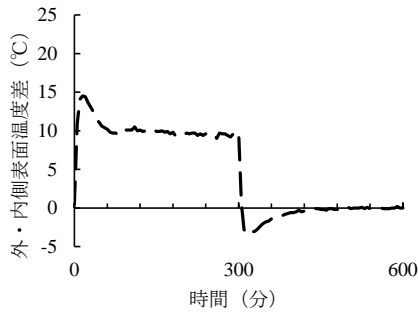
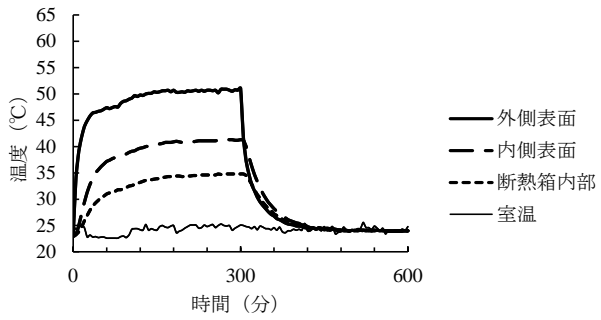
コンクリート板厚100mm (無塗布)



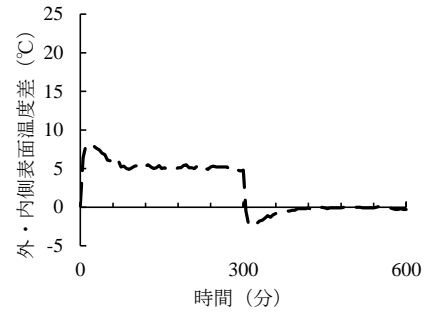
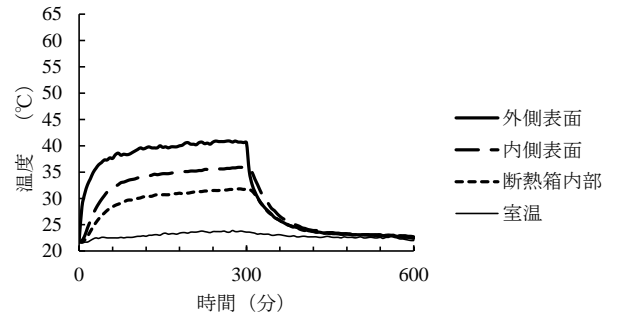
LVL厚24mm (無塗布)



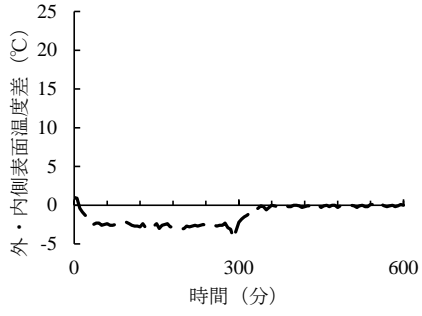
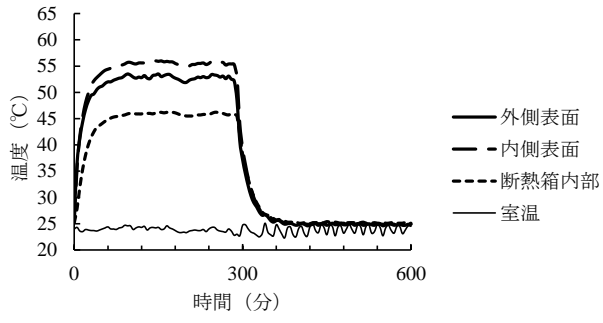
LVL厚24mm (高反射率塗料白)



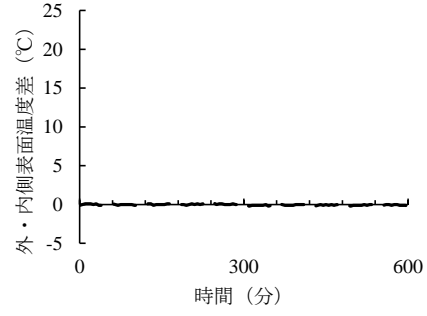
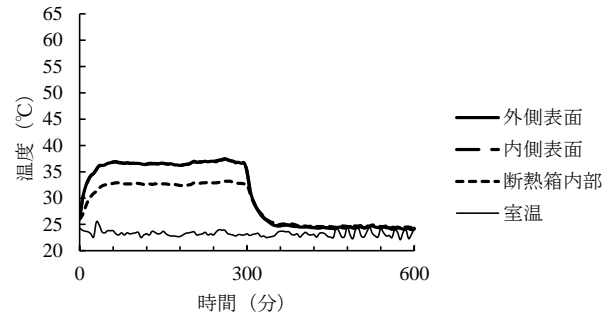
LVL厚24mm (水性ペイント白)



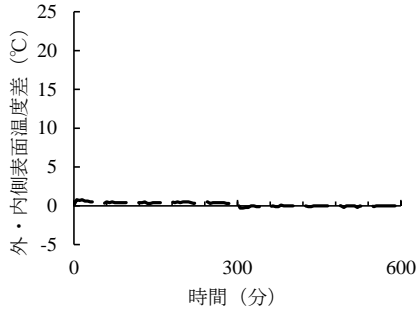
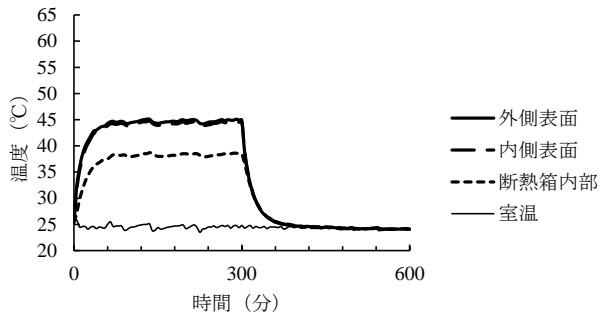
鉄板厚3mm（無塗布）



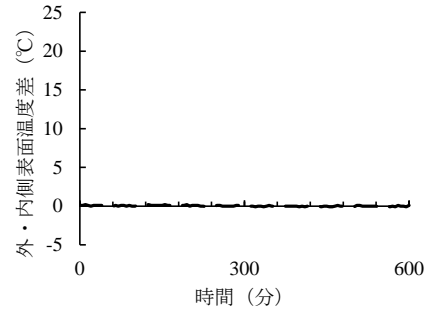
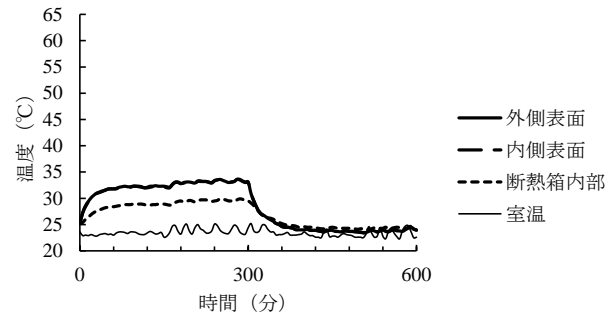
鉄板厚3mm（高反射率塗料白）



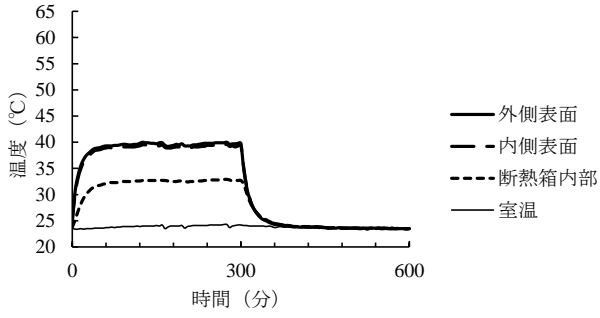
鉄板厚3mm（水性ペイント白）



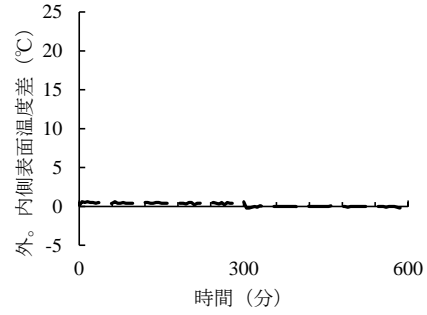
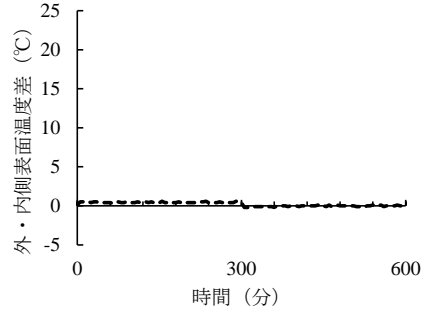
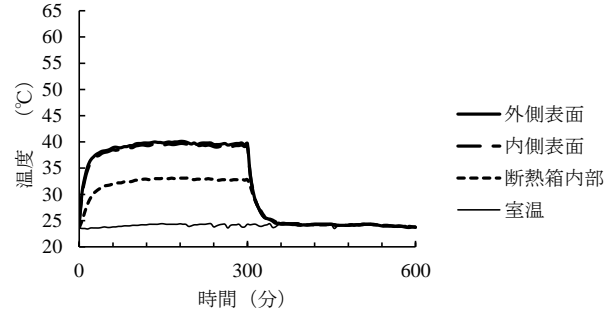
アルミ板厚3mm（無塗布）



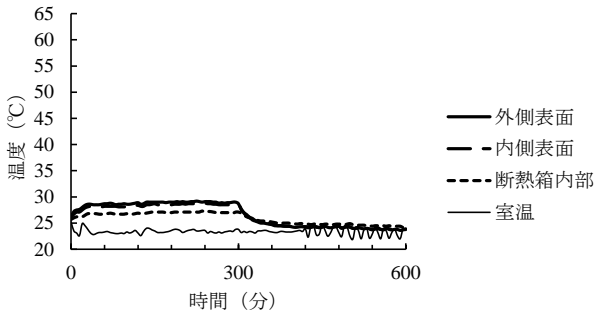
アルミ板厚3mm (高反射率塗料白)



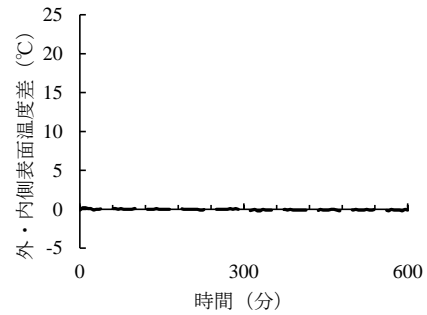
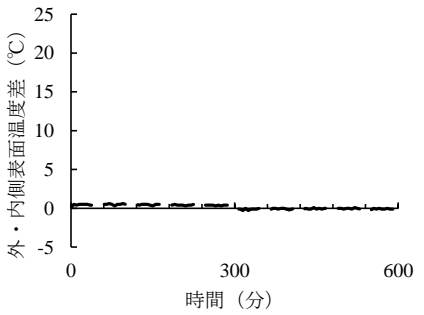
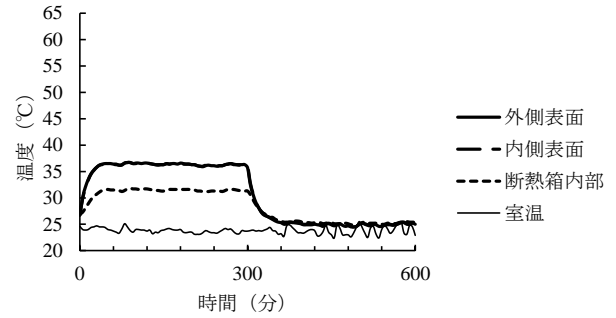
アルミ板厚3mm (水性ペイント白)



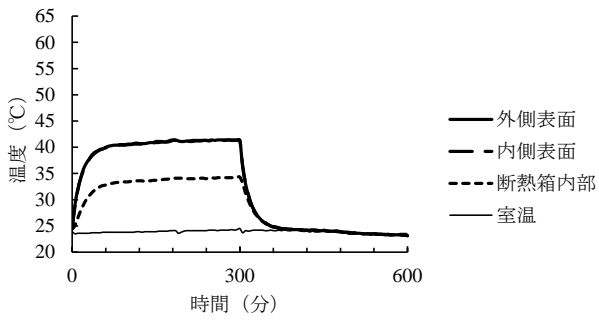
銅板厚3mm (無塗布)



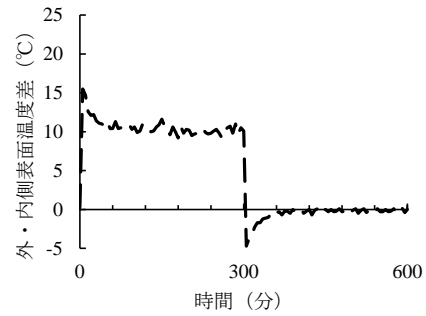
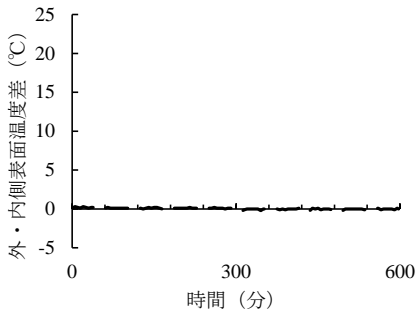
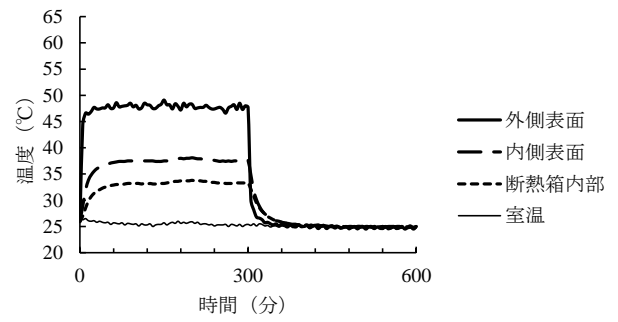
銅板厚3mm (高反射率塗料白)



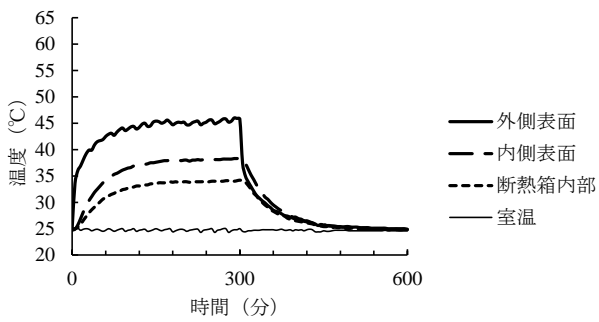
銅板厚3mm (水性ペイント白)



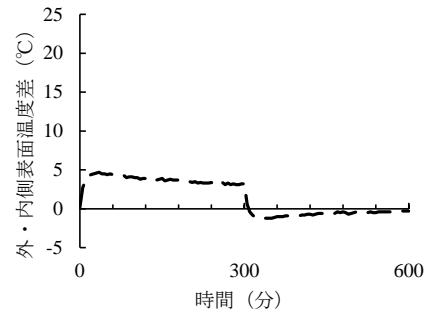
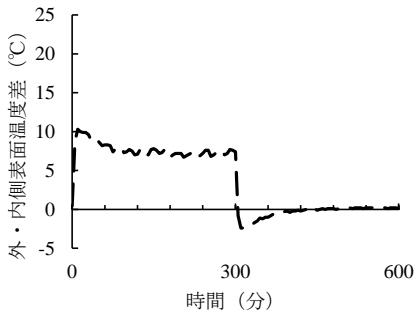
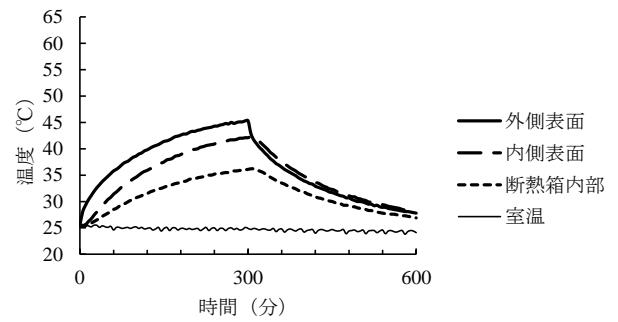
ポリスチレンフォーム厚50mm (無塗布)



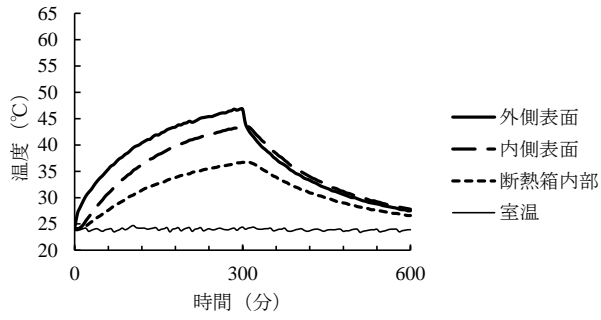
エアミルク厚30mm (無塗布)



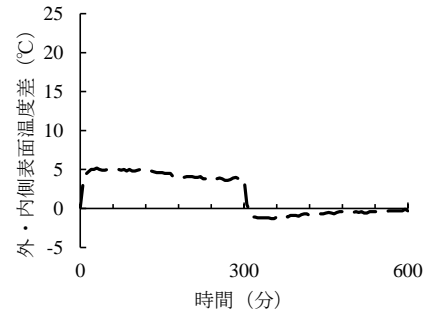
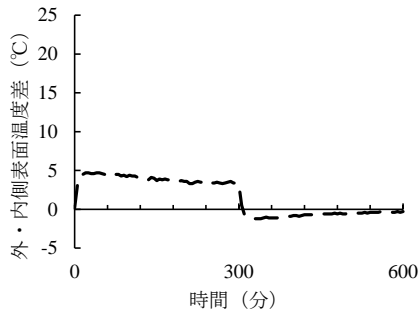
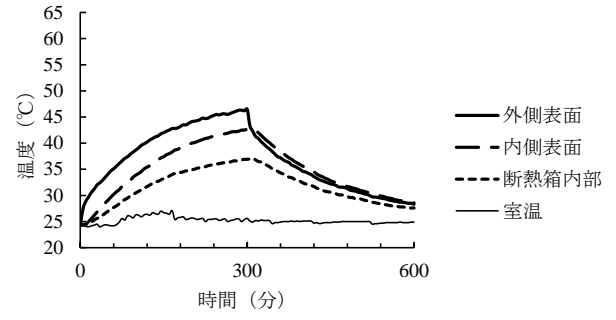
コンクリート板厚60mm (無塗布)



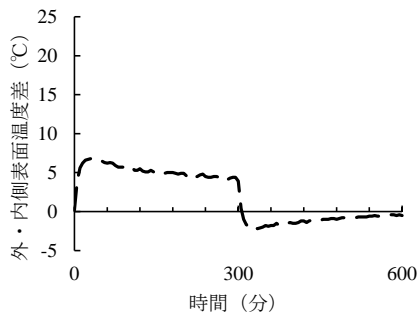
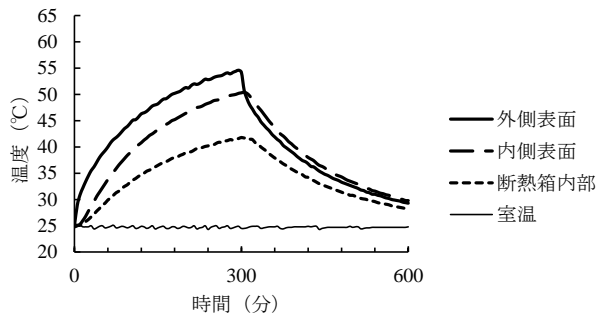
コンクリート板厚60mm (高反射率塗料黒)



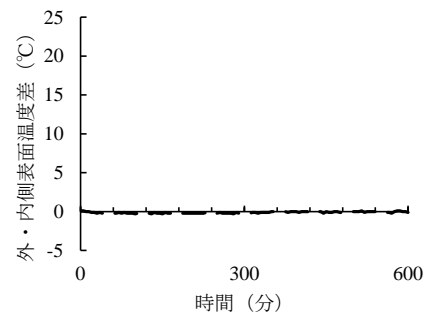
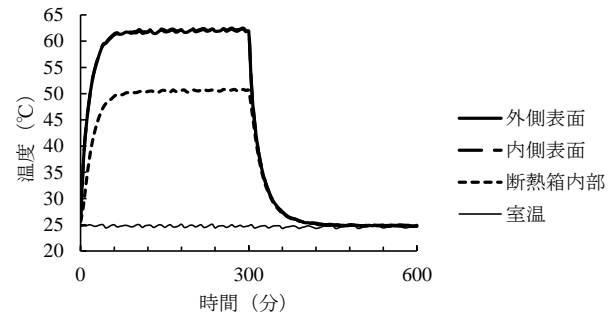
コンクリート板厚60mm (高反射率塗料灰)



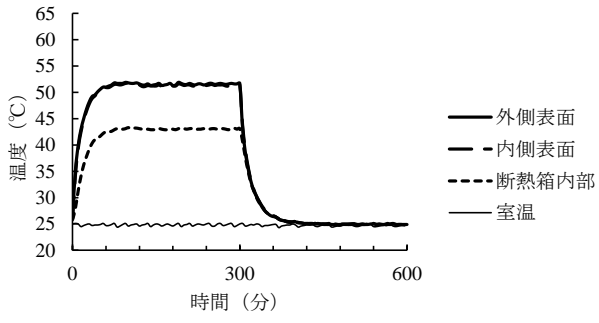
コンクリート板厚60mm (水性ペイント黒)



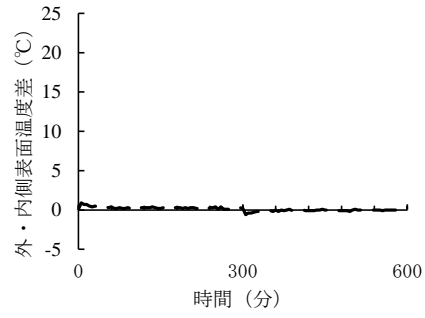
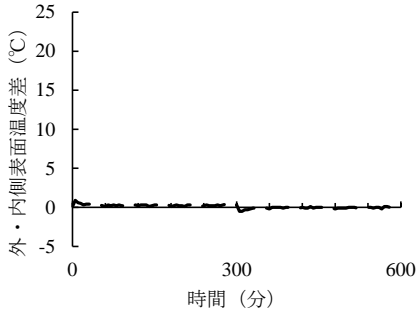
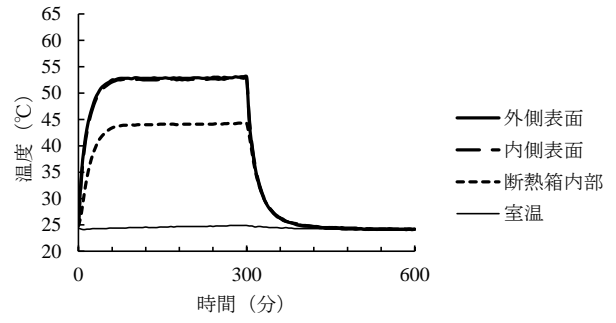
鉄板厚3mm (無塗布)



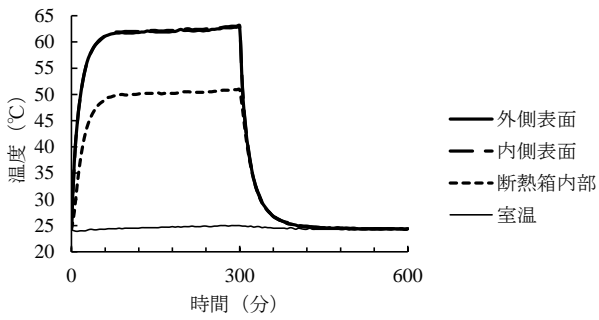
鉄板厚3mm (高反射率塗料黒)



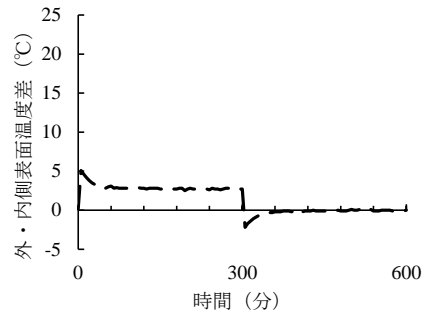
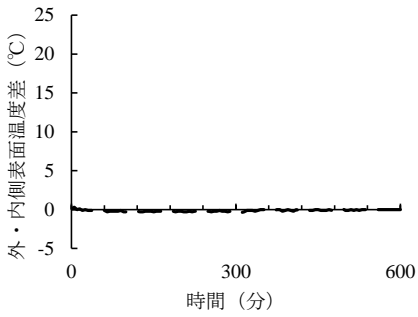
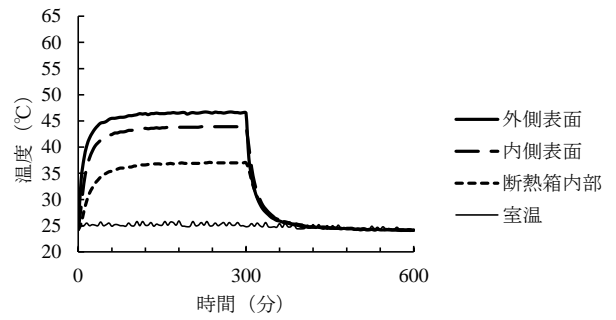
鉄板厚3mm (高反射率塗料灰)



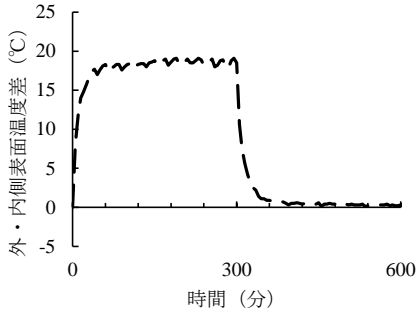
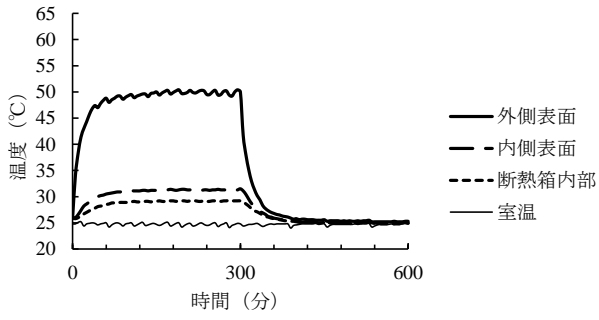
鉄板厚3mm (水性ペイント黒)



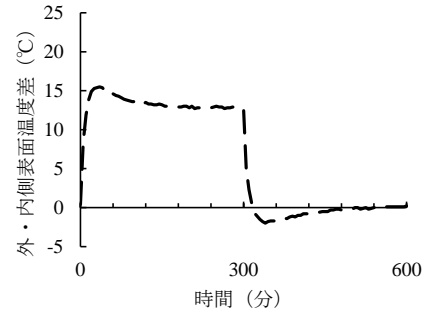
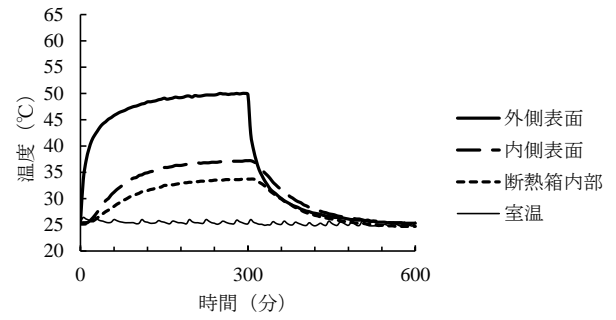
合板厚9mm



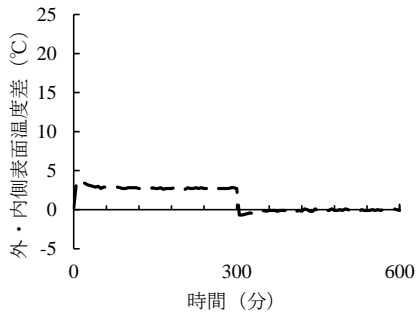
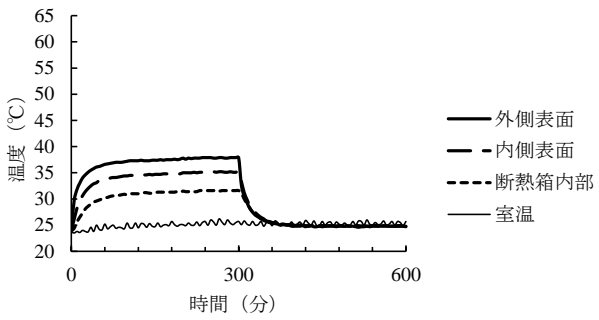
合板厚9mm (グラスウール裏込)



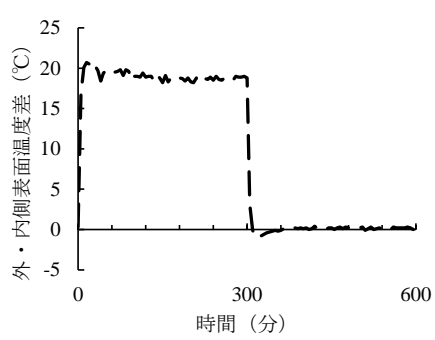
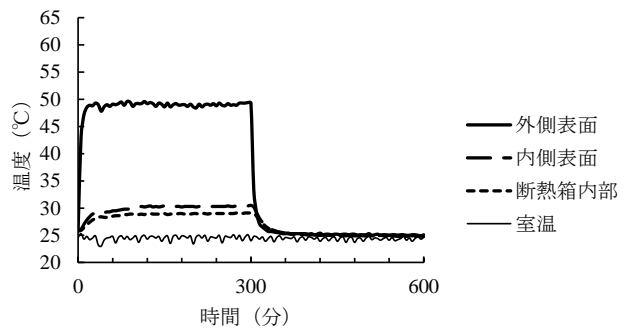
合板厚9mm (エアミルク裏込)



合板厚9mm (アルミシート外張)



ポリスチレンフォーム厚50mm (高反射率塗料白)



発泡ゴムマット厚50mm

