

屋根面の遮熱効果に関する検討

塚本 隆史* 小田 康弘**
関根 秀弥***

要 旨

工場や倉庫等の建物における夏季の熱負荷低減対策として高日射反射率塗料が着目されている。この塗料が屋根面に施工された建物の熱負荷低減効果を予測しようとした場合、十分な知見が整備されているとはいえない。そこで本報では、高日射反射率塗料の熱負荷低減効果を把握することを目的とし、実建物、および模擬屋根試験体を用いて実大規模で効果検証を行った。その結果、以下の事項が確認された。①屋根面への高日射反射率塗料の施工により屋根表面温度が低下し、連動して直下の室内温度低下に寄与する。②同塗料の施工により実測された日射反射率は、必ずしもメーカー記載のカタログ値と同程度とは限らない。③塗装の色による遮熱効果の差異は大きく、一般塗料であっても明度の高い白色系の塗料を用いることで相応の遮熱効果が期待できる。④今回の実験の範囲では、断熱塗料と称される塗料の遮熱効果は全体的に低めであった。

1. はじめに

工場や倉庫等の建物は、一般に低層であるため室内空間に対する屋根面積の比率が高い場合が多い。特に夏季において、建物内の保管物の温度管理や作業員に対する温熱環境保持の観点から、屋根面から侵入する熱負荷を低減する必要がある。

以前より、遮熱塗料とも呼称される高日射反射率塗料(以下、遮熱塗料と称す。)は、有効なヒートアイランド対策技術の一つとして多くの建物用塗装材が製品化されている。また東日本大震災以降においては、これら塗料を建物の屋根面や壁面に塗装することで夏季の熱負荷低減効果が期待でき、空調用電力消費のピークカット、および節電につながる技術として多くの期待を集め、施設への適用や導入検討が行われている¹⁾。

これまで遮熱塗料の導入効果を把握する方法としては、例えばメーカーから公表されている日射反射率を用いて非常常熱負荷計算によるものが提案されている。また、複数棟の実建物において、各々の塗装面の温度や貫流熱量を計測し、計測結果の比較をもとに効果を算出した報告がされている²⁾。しかし、直接的な構成材料の熱伝導率低下を伴わない、日射反射性能の向上による熱負荷低減の効果予測を行う上では、十分な知見が整備されているとはいえない。

そこで本報では、遮熱塗料の熱負荷低減効果を把握することを目的として、遮熱塗料による効果の差異が得られ易い断熱性能が低い実建物にて計測を行った。その上で、自社実験場内に設置した屋根を模擬した試験設備を用いてさらに塗料の種類を増やし、効果検証を行ったので報告する。

2. 実建物における計測

2. 1 測定概要

2. 1. 1 対象とした建物

対象とした建物は、写真-1に示す千葉県内に立地する当社所有の平屋建ての倉庫である。建物は、鉄骨造で間口 90.2 m×奥行き 18.2 m×高さ 3.9 mと横方向に長い建物である。建物の仕上げは、屋根:ガルバリウム鋼板(t=0.6 mm)+不燃裏打ち材(t=4 mm)、外壁:ガルバリウム鋼板(t=5 mm)+空気層+プラスターボード(t=12.5 mm×2 枚)、床:土間コンクリート(t=150 mm)となっており断熱性能が低い仕様となっている。

2. 1. 2 屋根面の仕様

図-1に示すように、倉庫内には、乾式間仕切り壁で区画され、面積が414 m²(23 m×18 m)である3つの部屋がある。この3つの部屋の直上にあたる屋根面(屋根面①～③)に対してそれぞれ表-1に示す仕上げを施した。屋根面①は、N社製のシリコン樹脂系でメーカーが遮熱塗料と謳っている塗料を現地で塗装した。屋根面②は、ポリエステル樹脂系の一般塗料を工場ですみ焼き付け塗装した屋根とした。屋根面③は、塗装を施さないガルバリウム鋼板素地とした。

表-2には、遮熱塗料として販売されている塗料について参



写真-1 測定対象建物

*技術研究所
**建築企画部
***東京建築支店

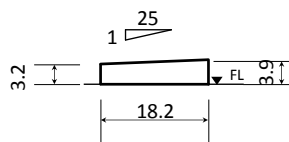
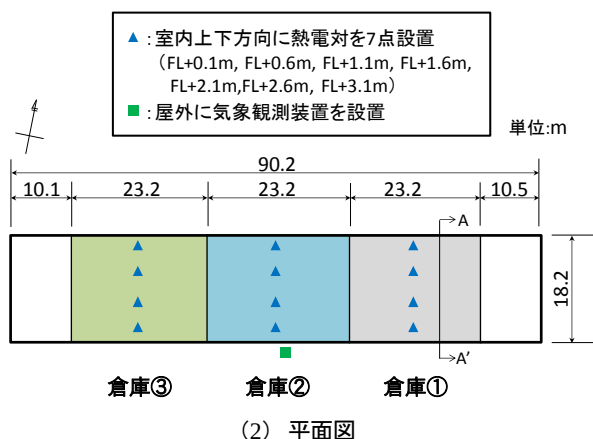
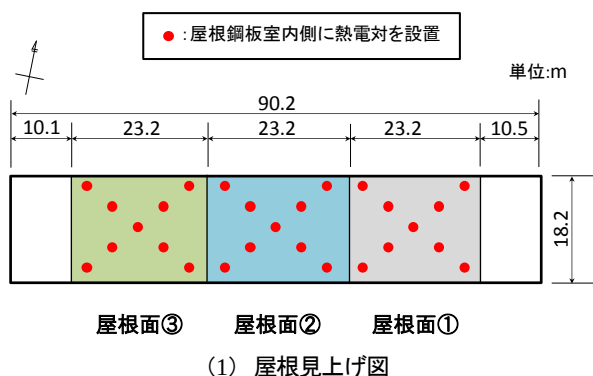


図-1 倉庫の屋根見上げ図、平面図、および断面図

参考文献³⁾をもとにピックアップし、日射反射率が高い順に並べて掲載した。表中、色付けした塗料は、本報告で対象としている塗料である。屋根面①に塗装した N 社製の遮熱塗料は、市場に出ている遮熱塗料の中でも表-2にあるように日射反射率が比較的高いとされている塗料である。

なお、屋根面②については、約1年経過後、E 社製のアクリル

表-1 倉庫の各屋根面に施した塗装の種類

塗装部位	塗料				日射反射率 [%] (全波長域)	色	明度
	製造元	成分	塗料分類	施工方法			
屋根①	(ガルバリウム鋼板素地)				66.0	-	-
屋根②	Y 社製	ポリエステル樹脂系	一般塗料	焼き付け	71.1	白色	9.0
屋根②'	E 社製	アクリルシリコン樹脂系	断熱塗料	現場施工	85.4	白色	9.6
屋根③	N 社製	シリコン樹脂系	遮熱塗料	現場施工	88.6	白色	9.9

表-2 市販遮熱塗料の日射反射率、明度

販売会社	白色		灰色	
	日射反射率 [%] (全波長域)	明度	日射反射率 [%] (全波長域)	明度
N 社	88.6	9.9	52.2	6.0
T 社	87.7	9.8	52.0	6.3
C 社	87.1	9.9	57.9	6.2
M 社	87.1	9.8	57.5	6.6
H 社	87.0	9.7	48.7	6.2
D 社	85.0	9.8	53.2	6.1
K 社	84.9	9.7	49.4	6.1
S 社	83.4	9.6	48.9	6.0
F 社	80.8	9.1	54.7	6.3
R 社	78.4	9.2	49.6	6.4

(文献³⁾ から抜粋して筆者作成)

シリコン樹脂系でメーカーが断熱塗料と称する塗料を塗装した。

2. 1. 3 測定内容

屋根裏面の温度を計測するため、図-1(1)に示す屋根の室内側表面9ヶ所に T 型熱電対を貼りつけた。室内温度を計測するため、図-1(2)に示す高さ方向 0.1 m、0.6 m、1.1 m、1.6 m、2.1 m、2.6 m、3.1 m の位置に T 型熱電対を設置した。外部の温度や日射量を計測するため、図-1(2)に示す位置に簡易型の気象観測装置(三興通商社製)を設置した。設置した各熱電対は、データロガー(江藤電気製)に接続し、気象観測装置とともに 1 分間隔で計測、記録した。計測期間は、2012 年 4 月 24 日～2013 年 9 月 30 日とし、冬季の把握も行うこととした。倉庫内は、期間中書類の出し入れのため短期的に出入りがあったが、基本的に無人であった。

2. 2 測定結果

2. 2. 1 夏季

図-3に、夏季の代表日として 2012 年 7 月 26 日における外気温度、日射量、各屋根の室内側表面温度(以下、屋根裏面温度と称す。)について 1 日の経時変化を示す。なお、各温度、および日射量は、1 時間毎の平均値を用いている。

無塗装のガルバリウム素地の屋根面③の屋根裏面温度は、日射量がピークとなった 12 時に最高温度に達し 59.4℃となった。一般塗料の焼き付け塗装を施した屋根面②の同温度は、やはり 12 時に最高温度に達し 47.8℃となった。これに対して、遮熱塗料を施した屋根面③では、最高温度に達した 12 時の同温度が 45.0℃であり、屋根面②の同温度に比べて約 13 K 低く、屋根面で遮熱がされていることがわかる。一方、一般塗料を施した屋根面②の屋根裏面温度は、遮熱塗料を施した屋根面③の同温度に比べれば若干高い程度であり、一般塗料であったとしても、明度が高い白色系の塗料で塗装がされていれば、遮熱塗料と同様の効果が得られることがわかった。

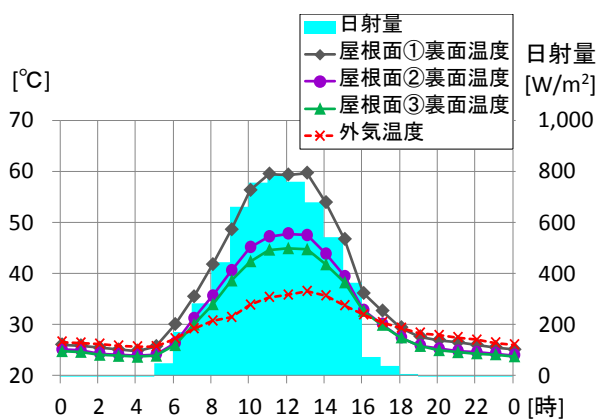


図-3 夏季代表日(2012年7月26日)における外気温度、日射量、屋根裏面温度の経時変化

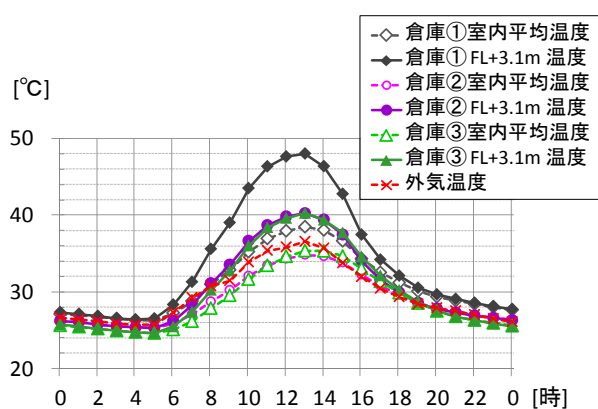
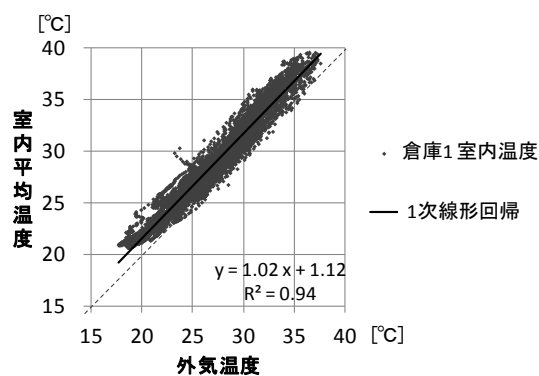


図-4 夏季代表日(2012年7月26日)における外気温度、室内温度の経時変化

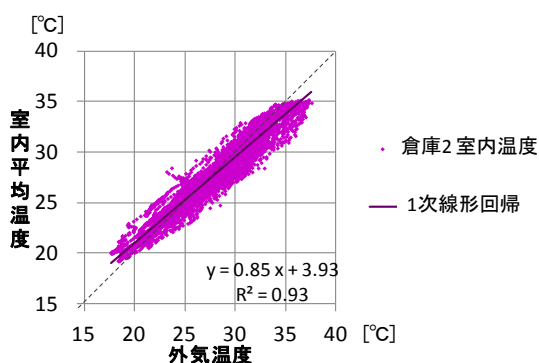
図-4に、同日の外気温度、倉庫①、②、③の床上 3.1 m の温度、各室内平均温度(測定点28ヶ所の平均)について1日の経時変化を示す。日中、遮熱塗料を施した屋根③直下(床上 3.1 m)の温度は、無塗装の屋根①直下の同温度に対して低く、12 時における双方の温度差は 8 K 程度となった。室内平均温度も温度差が生じており、日中は平均して約 2 K の温度差がみられた。一般塗装を施した倉庫②においても倉庫①と比較してそれぞれ 8 K、2 K の温度差がみられた。この傾向は夏季期間中も同様であった。図-5に、各屋根面に対して夏季(2012年7～8月の2ヶ月間)において期間中に日照があった時間について外気温度と各屋根面下の室内平均温度との関係を示す。その結果、いずれも高い相関性がみられた。このことから無塗装の倉庫①に対して遮熱塗料を施した倉庫③では、前述のとおり室内温度が 2 K 程度低く抑えられたといえる。一般塗料を施した倉庫②においても、倉庫③と同様であった。

本結果から、遮熱塗料の施工による屋根面温度の低下、連動して室内温度の低下が期待できることを確認した。

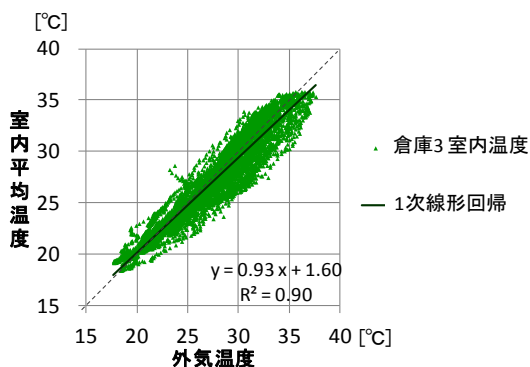
2. 2. 2 冬季



(1) 倉庫①



(2) 倉庫②



(3) 倉庫③

図-5 外気温度と室内平均温度の関係

前述の夏季の結果が示すように、高い日射反射率の塗料を施すことによって室内への日射熱の侵入が抑制されることになる。そのため冬季においては、室内温度の低下により、熱負荷がかえって増大する可能性がある。そこで、冬季についても同様に検証を行った。図-6に、冬季の代表日として2013年1月11日における外気温度、日射量、各屋根裏面温度について1日の経時変化を示す。

無塗装の屋根面③の屋根裏面温度は、日射量のピークである12時に最高温度に達し24.5℃となった。一般塗料を施した屋

根面②の同温度は、やはり12時にピークに達し12.4℃となった。これに対して、遮熱塗料を施した屋根面③では、最高温度に達した12時の同温度は10.9℃であった。

図-7に、同日の外気温度、各屋根面直下(床上3.1 m)の室内温度、室内平均温度(測定点28ヶ所の平均)について1日の時変化を示す。日中、遮熱塗料を施した屋根③直下(床上3.1 m)の温度は、無塗装の屋根①直下の同温度に対して低く、12時における双方の温度差は7 K程度となった。室内平均温度も温度差が生じており、日中は平均して約4 Kの温度差がみられた。

本結果から、冬季は遮熱塗料の屋根面塗装による屋根面温度の低下、連動した室内温度の低下により熱負荷が増大する可能性があることがわかった。

2. 2. 3 断熱塗料による効果

断熱塗料の室内への熱侵入抑制効果をみるため、屋根面②'に同塗料を施した上で他の屋根面仕様との比較を行った。

図-8に、夏季の代表日として2013年8月10日における外

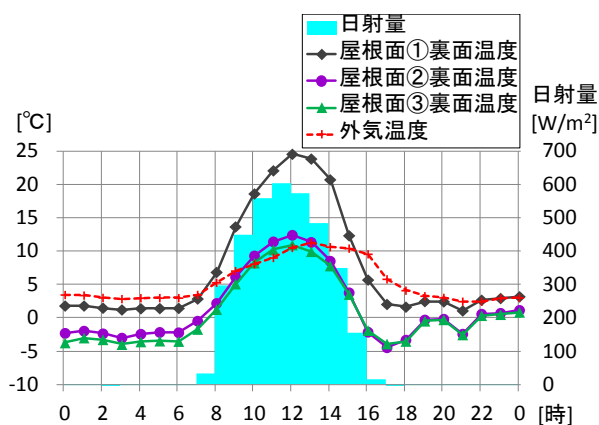


図-6 冬季代表日(2013年1月11日)における屋根裏面温度、日射量の経時変化

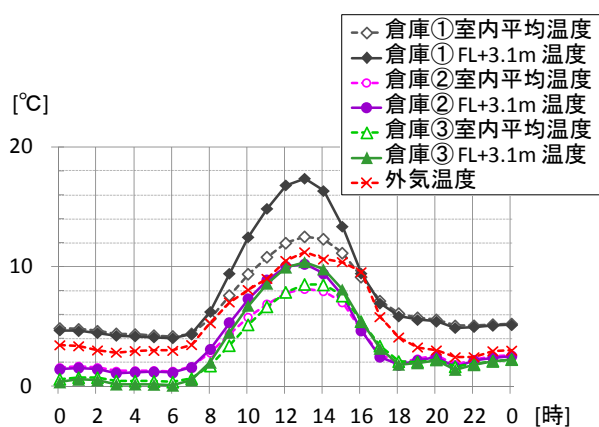


図-7 冬季代表日(2013年1月11日)における室内温度の経時変化

気温度、日射量、各屋根裏面温度について1日の経時変化を示す。また、図-9に、各屋根面の各屋根面下の室内温度について1日の経時変化を示す。無塗装の屋根面①の屋根裏面温度のピークが62.3℃であるのに対して、断熱塗料を施した屋根面②'の同温度は、56.6℃であった。無塗装面に比べると、温度の低下がみられるが、遮熱塗料を施した屋根面③の同温度44.8℃に比べると温度が高い結果となった。この温度は、日射量等の外乱条件が必ずしも一致する訳ではないが、図-3に示した計測期間において一般塗料を施した屋根裏面温度と同程度である。対象とした断熱塗料は、表-3にも示したように、メーカーのカタログに記載された日射反射率や明度の値が遮熱塗料と比較しても高いものであるが、本結果からはそれが実際の効果として現れていない。断熱塗料も遮熱塗料と同様、近赤外領域の光を反射する性質を持っているとされるが、遮熱塗料と同様の高い遮熱効果がみられない原因についてはこの実験からは確認できなかった。

3. 模擬屋根試験体における比較実験

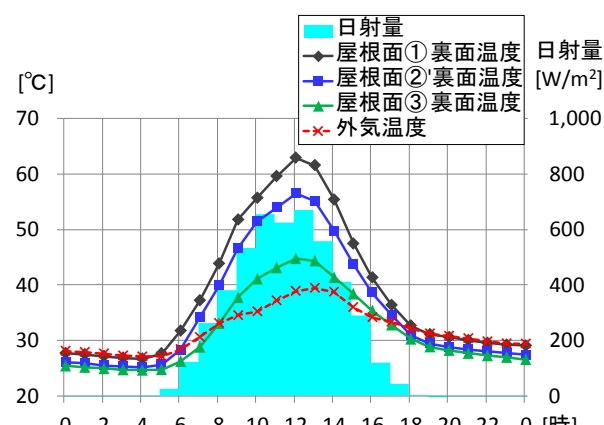


図-8 夏季代表日(2013年8月10日)における屋根裏面温度、日射量の経時変化

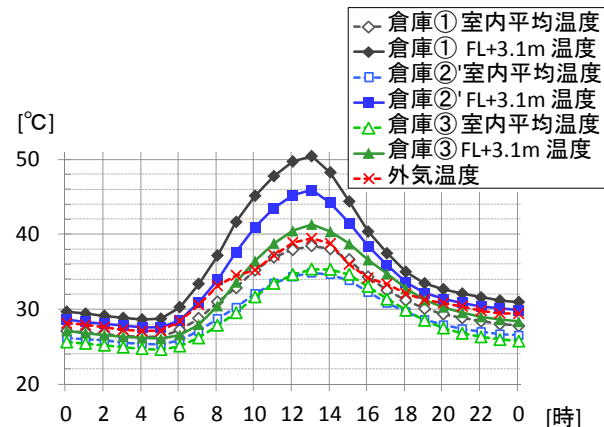


図-9 夏季代表日(2013年8月10日)における室内温度の経時変化

前述では、ガルバリウム鋼板製折板屋根の実建物における計測により、一部の遮熱塗料、断熱塗料の効果を検証したが、屋根面に施工した塗料の種類が限られたため、塗料の種類を増やし、日射反射率等の差異による遮熱の効果について把握することにした。

3. 1 実験概要

3. 1. 1 試験体

自社実験場内に、図—10に示す折板屋根を模擬した試験設備(以下、模擬屋根試験体と称す。)を設置した。試験体には、表—3に示す複数種の塗装を施した。なお、試験体の側面は合板で囲った上で、熱を逃がすための換気口が設けてある。

遮熱塗料は、前述の倉庫で用いた同じものに加えてさらに2つのメーカーのものを追加した。また、2つのメーカーについては、白色系のほか灰色系のものも追加した。断熱塗料も、前述の倉庫で用いた同じものに加えて、やはり断熱塗料と称される他メーカーのものを1種類追加した。

3. 1. 2 測定内容

屋根裏面の温度を計測するため、図—10に示すように、それぞれ屋根の室内側表面の3ヶ所にT型熱電対を貼りつけた。各熱電対はデータロガー(日置電機社製)に接続し、気象観測装置とともに10分間隔で計測、記録した。計測期間は、2014年5月30日～2015年8月31日とし冬季の把握も行うこととした。

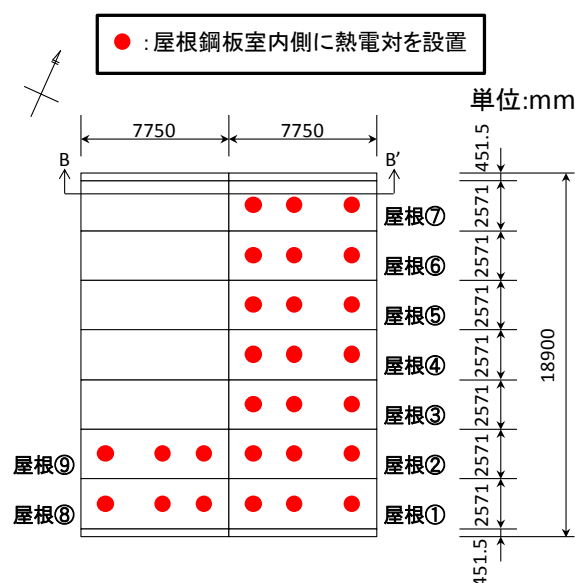
3. 2 測定結果

3. 2. 1 遮熱塗料による差異

図—11に、遮熱塗料(白色系)を施した模型屋根③、⑤、⑦と比較対象である無塗装の模型屋根①について、夏季における代表日2015年7月26日における外気温、屋根裏面温度

について1日の経時変化を示す。

無塗装の模型屋根①の屋根裏面温度は、11時をピークに62℃に達した。一方、遮熱塗装を施した各模型屋根の屋根裏面温度は、メーカーのカタログ記載の日射反射率、明度の値がともに高い塗料を施した模型屋根③が低く、44℃であった。一方、他の2つの遮熱塗料を施した模型屋根④と模型屋根⑤の屋根裏面温度は、日射反射率、明度の高さの順にはならなかった。一般には、日射反射率が遮熱性能に大きく寄与していると考えられる。しかし、この日射反射率は、各塗料メーカーにお



(1) 屋根見上げ図

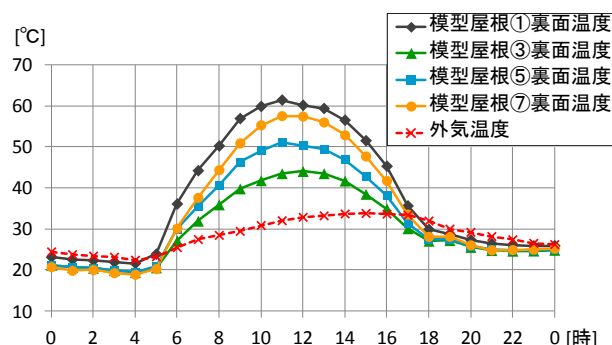


(2) B-B' 断面図

表—3 模擬屋根試験体に施した仕上の種類

	塗料				日射反 射率[%] (全波長域)	色	明度
塗装部位	製造元	成分	塗料分類	施工 方法			
模型屋根 ①	(ガルバリウム鋼板素地)				66.0	-	-
模型屋根 ②	Y社製	ポリエステル樹脂系	一般塗料	焼き 付け	71.1	白色	9.0
模型屋根 ③	N社製	シリコン樹脂系	遮熱 塗料	現場施 工	88.6	白色	9.9
模型屋根 ④					52.2	灰色	6.0
模型屋根 ⑤	M社製	アクリルシリコン 樹脂系			87.1	白色	9.8
模型屋根 ⑥					57.5	灰色	6.6
模型屋根 ⑦	S社製	アクリルシリコン 樹脂系			83.4	白色	9.6
模型屋根 ⑧	N社製	アクリルシリコン エマルション系	断熱 塗料		87.9	白色	9.4
模型屋根 ⑨	E社製	アクリルシリコン 樹脂系			85.4	白色	9.6

図—10 屋根模擬試験体の屋根見上げ図、断面図



図—11 夏季代表日(2015年7月26日)における外気温、日射量、複数種の遮熱塗料の屋根裏面温度の経時変化

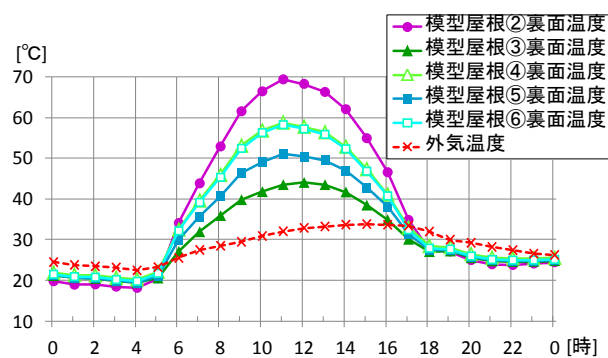


図-12 夏季代表日(2015年7月26日)における外気温度、日射量、遮熱塗料の色別の屋根裏面温度の経時変化

いて性能把握のために測定される時の条件と、実際に施工される環境条件の違いによる差異もあるため、このようなことが生じた可能性が考えられる。

3. 2. 2 塗装色による差異

図-12に、2つのメーカーごと、色が異なる遮熱塗料を塗装した模型屋根③(白色系)と模型屋根④(灰色系)、模型屋根⑤(白色系)、模型屋根⑥(灰色系)、また、一般塗料(灰色系)を施した模型屋根②を対象に、2015年7月26日における外気温度、屋根裏面温度について1日の経時変化を示す。

遮熱塗料(灰色系)を施した模型屋根④、模型屋根⑤の屋根裏面温度は、一般塗料(灰色系)を施した模型屋根②の同温度に比べて低くなっており、白色系同様、日射反射による遮熱効果が出ていることを確認した。

白色系の塗料では、カタログ記載の日射反射率、明度の値はM社の塗料に対し、N社の塗料の方が高い数値で、実際の屋根裏面温度の測定結果もそれが反映された結果となった。一方、灰色系では、カタログ記載の日射反射率、明度の値はM社の塗料の方が、N社の塗料よりも高い数値であったが、実験時の屋根裏面温度は同程度であった。この結果についても、前述のとおり日射反射率等の性能データ取得時の環境条件と実際に施工される環境条件の違いによることが考えられる。

3. 2. 3 断熱塗料による遮熱効果の差異

図-13に、断熱塗料を塗布した模型屋根⑧、⑨と、比較対象である無塗装の模型屋根①、また、一般塗料(灰色系)を施した模型屋根②を対象として、夏季の代表日2015年7月26日における外気温度、屋根裏面温度について1日の経時変化を示す。

断熱塗料(白色系)を施した模型屋根⑧、⑨の日中の屋根裏面温度は、無塗装の模型屋根①の同温度に比べ低くなった。しかし、これら2つの断熱塗料のカタログ記載の日射反射率、明度の値は、それぞれ87.9%、9.4と85.4%、9.6であり、一般塗料(灰色系)の模型屋根②の各数値に比べて高いにもかかわらず、

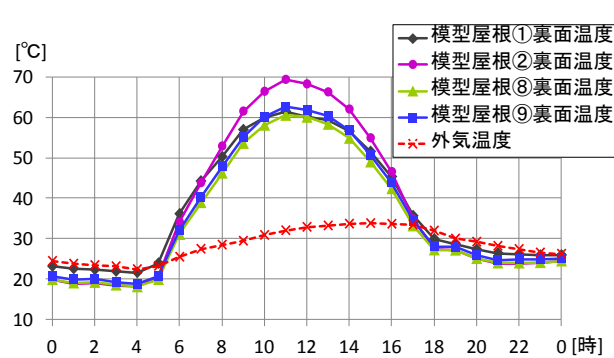


図-13 夏季代表日(2015年7月26日)における外気温度、日射量、断熱塗料等の塗料別の屋根裏面温度の経時変化

ず、屋根裏面温度はほぼ同じであった。

本実験では、前述の倉庫で用いた断熱塗料と称される塗料の他、別のメーカーの断熱塗料を採用したが、結果はともに同じであった。この結果から、今回の実験の範囲では、断熱塗料と称される塗料は屋根面の温度を低下させる性能は乏しいと判断される。

4. まとめ

遮熱塗料などによる夏季の室内熱負荷低減効果を把握することを目的として、実建物、模擬屋根試験体を用いて実大規模での効果検証を行った結果、以下の事項が確認された。

- ①屋根面への遮熱塗料の施工により、屋根表面の温度が低下し、連動して室内温度の低下に寄与する。
- ②同塗料の施工により実測された日射反射率は、必ずしもメーカー記載のカタログ値と同程度とは限らない。
- ③塗装の色による遮熱効果の差異は大きく、一般塗料であっても明度の高い白色系の塗料を用いることで相応の遮熱効果が期待できる。
- ④今回の実験の範囲では、断熱塗料と称される塗料の遮熱効果は全般的に低めであった。

【参考文献】

- 1) 例えば、山田ら:低汚染型高日射反射率塗料に関する研究—その2 空調負荷削減効果— 日本建築学会学術講演梗概集, D-1, 907-908, 2013.8.
- 2) 例えば、作田ら:熱収支計算による高反射塗料の効果の予測に関する検討, 日本建築学会学術講演梗概集, D-2, 467-468, 2010.9.
- 3) 財団法人建材試験センター、大阪府 環境農林水産総合研究所及び財団法人日本塗料検査協会:環境技術実証モデル事業 ヒートアイランド対策技術分野(空冷室外機から発生する顕熱抑制技術)平成21年度実証試験結果報告書の概要, 2010.