

高反射率塗装による吸収日射低減効果に関する研究 第3報 室内温熱環境および冷暖房用電力消費への影響

A Study on the Effect due to the Reduction of Absorbed Solar Radiation by Cool Painting
Part.3 Effects on indoor thermal environment and electricity consumption for air conditioning

村田泰孝¹
Yasutaka MURATA

酒井孝司²
Koji SAKAI

三木勝夫³
Katsuo MIKI

石原 修⁴
Osamu ISHIHARA

Abstract

Cool roof contributes to improve indoor thermal environment and to save energy for cooling in summer, but has opposite in winter, because of decreased absorbed solar radiation. Therefore, it is necessary to evaluate these effects in year round. In this paper, differences in the indoor thermal environment of cool painted building were compared to the unpainted building in both summer and winter. And, electricity consumption for air conditioning of the building before cool painted was compared to the building after cool painted. As the result, indoor thermal environment in summer was improved on large scale, and remarkable change for the worse was not confirmed in winter. Electricity consumption for air conditioning was decreased in summer and increased in winter. It was confirmed that about 10% electricity consumption was cut down per a year at this building.

キーワード：高反射率塗料，日射反射率，室内温熱環境，冷暖房電力消費，現場測定

Key Words: cool painting, solar reflectivity, indoor thermal environment, electricity consumption for air conditioning, field measurement

1. はじめに

ヒートアイランド現象の緩和や冷房負荷削減のために屋根の日射反射率を高くする方法として高反射率塗装がある。この塗料は同色の一般塗料と比べ、可視域の日射反射率は同程度であるが近赤外域の日射反射率が高いことが特徴である。また、断熱改修や屋上緑化などと比べ、簡易で低コストであり、既存建物の改修に適した手法と考えられる。

この塗料を屋根に塗布することで吸収日射が減少し自然室温が低下する。その結果、夏季には室温が低下し、冷房負荷の低減が期待できるが、冬季には屋根からの吸収日射の減少により暖房負荷が増加する可能性がある。したがって、高反射率塗装は通年での効果を検討する必要がある。高反射率塗装の効果に関する既往研究は多くある^{1)~4)}などが、通年での評価は少ない。そこで本研究では、屋根高反射率化による自然室温への影響、冷暖房用電力消費への影響を検討した。

対象は折板屋根を持つ建物である。折板屋根は屋根面積が大きい、断熱性の低い建物が多く、冷房負荷が大きく

なるため、高反射率塗装の効果が大きいと考えられる。

また、吸収日射低減による効果を評価するには、屋根の日射反射率が重要なパラメータとなる。この値は、既報^{5),6)}にて妥当性を検証した二点校正法を用いた。二点校正法は屋外で日射反射率を評価するための方法で、日射反射率が既知の白および黒の板(以下、標準板)を設置した測定と対象面の日射反射率測定を連続で行い、周囲環境からの反射日射の影響を除外して対象面のみの日射反射率を評価する方法である。Fig.1にこの概念を示す。二点校正法では、白、黒標準板を設置して測定した日射反射率 R_w, R_b および分光反射率から求めた日射反射率 ρ_w, ρ_b を用いて校正線を引き、測定対象面の日射反射率の測定値 R と校正線の交点より対象面のみの日射反射率 ρ_A を推定することになる。

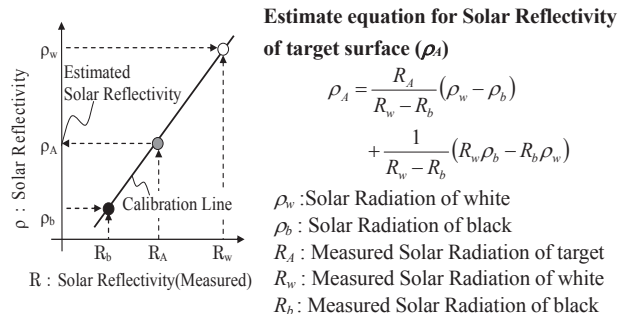


Fig.1 Concept of the 2 point correction method

*1 崇城大学工学部准教授 (〒860-0082 熊本市西区池田 4-22-1)
e-mail: ymurata@arch.sojou-u.ac.jp

*2 明治大学理工学部

*3 三木コーティング・デザイン事務所

*4 尚綱大学

(原稿受付 2014 年 2 月 4 日)

2. 高反射率塗装による室内温熱環境への影響

2.1 対象建物および測定の概要

対象とした建物は、熊本大学内の実習棟である。建物内には比較的軽微な工作機械や工具と作業スペースが設けられており、学生のものづくり実習に使用されている。Fig.2に建物の外観を示す。この建物は実習棟Iと実習棟IIの二棟で構成されている。2009年6月に実習棟Iに高反射率塗料の白を塗布した。実習棟IIは未塗装である。折板の流れ方向が実習棟Iでは南北流れ、実習棟IIでは東西流れとなっている点異なる。

この二棟の屋根の日射反射率を2009年9月、10月に二点校正法を用いて測定した。また、2009年7月～2010年1月に屋根表面温度、室温などを測定した。Fig.3に測定項目を示す。また、折板の形状をFig.4に示す。

2.2 屋根の日射反射率の測定結果⁶⁾

Fig.5に測定器の設置状況を示す。白、黒標準板は折板上部に平置して日射反射率を測定した。標準板を平置した測定結果を用いて二点校正法を行うと、折板内部での相互反射後に日射計に入射する反射日射を評価することになる。

Fig.6に二点校正法による日射反射率の推定結果を示す。塗装部の日射反射率の推定値は0.81～0.86程度となり平均0.835であった。未塗装部は0.03～0.06となり平均0.049であった。平面の二点校正法では推定誤差が-0.03～+0.01程度⁹⁾であることを考えると、今回の推定結果は妥当と考えられる。

2.3 室内温熱環境の測定結果⁷⁾

Fig.7, 8に、夏季(8/26)および冬季(1/17)の屋根表面温度、小屋裏空気温度、室温の変化を示す。なお、屋根表面温度は測定した4面の面積加重平均である。屋根の日射反射率が高くなったことにより、夏季には屋根表面温度が日中に最大30℃低下し、小屋裏では最大23℃、室温は5℃低下していることがわかる。また、早朝の各部の温度は塗装部が未塗装部より1℃程度低い。これより、吸収日射の低減とこれに伴う蓄熱の減少が確認できる。冬季も夏季と同様、塗装部の方が未塗装部より各部の温度が低くなるが、日射量が夏季と比べて少ないので、温度差は小さくなるがわかる。

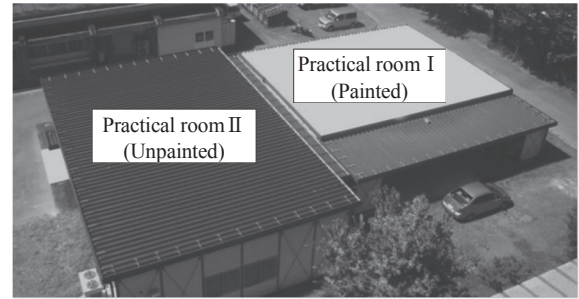


Fig.2 Perspective view of measured building

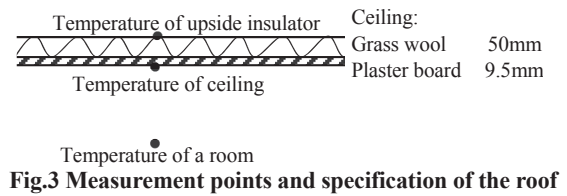
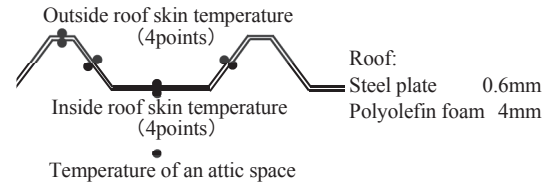


Fig.3 Measurement points and specification of the roof

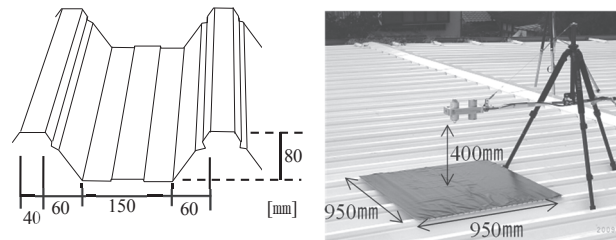


Fig.4 Feature size of folded-plate

Fig.5 Measurement situation

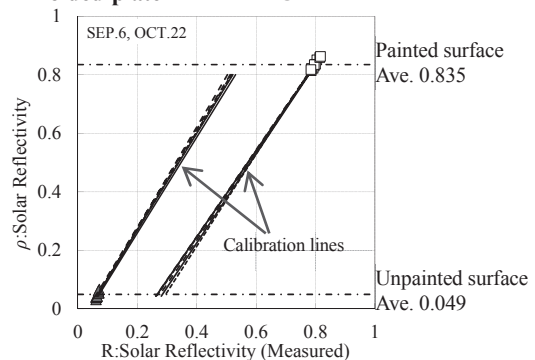


Fig.6 Estimated solar reflectivity by the 2 point correction method

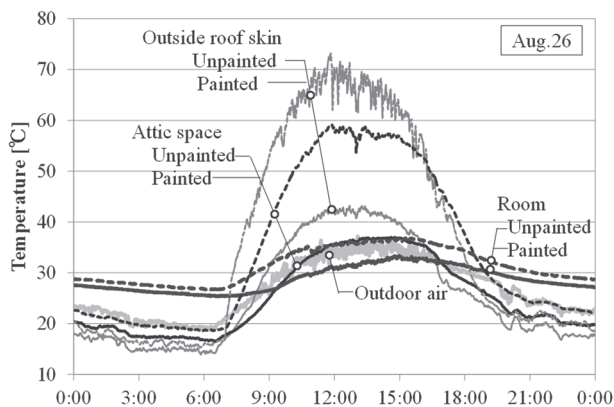


Fig.7 Temperature fluctuation (summer)

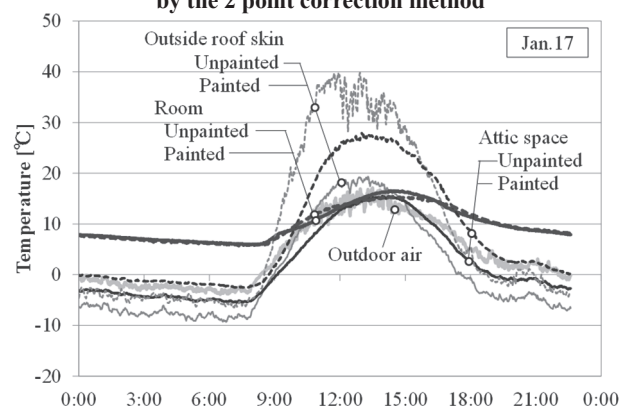


Fig.8 Temperature fluctuation (winter)

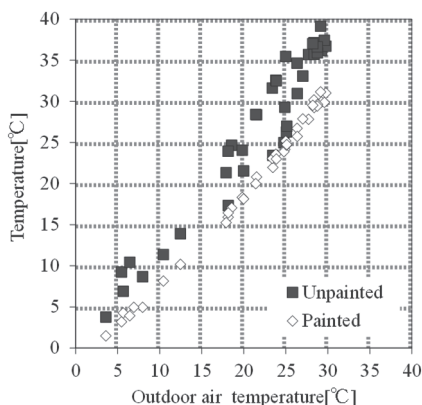


Fig.9 Relationship between outdoor air temperature and outside roof skin temperature

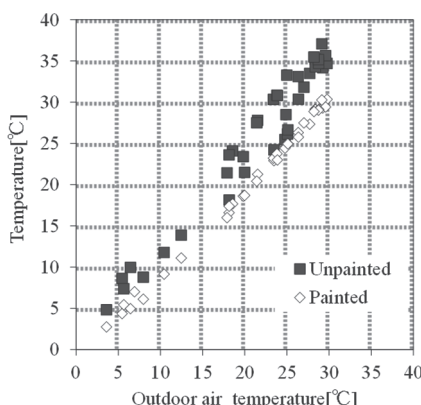


Fig.10 Relationship between outdoor air temperature and attic space temperature

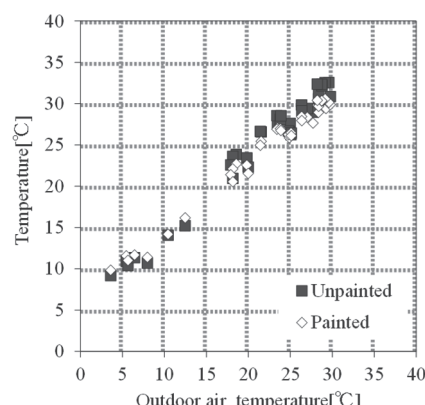


Fig.11 Relationship between outdoor air temperature and room air temperature

2.4 気象条件と各部温度の関係

屋根の高反射率化による屋根各部温度への影響を気象条件との関係から検討した。気象条件としては、屋根各部温度に影響が大きいと考えられる外気温と水平面全天日射量を検討した。対象建物に冷房設備はないが暖房器具があるため、測定期間中の建物が稼働していないと考えられる休日を抽出した。また、測定点によっては蓄熱の影響が考えられるため日平均値の比較とした。

Fig.9～11 に日平均外気温と日平均の屋外側屋根表面温度、小屋裏空気温度、室温との関係を示す。屋外側屋根表面温度は同程度の外気温に対して塗装部の方が未塗装部より低く、屋根高反射率化の影響と考えられる。また、塗装部に比べ未塗装部はばらつきが大きい。これは、同程度の外気温でも天候により日射量が異なり、日射反射率の低い未塗装部では塗装部に比べて日射量の影響が大きいと考えられる。小屋裏空気温度も屋根表面温度と同様の傾向がみられるが、外気温の高い日には屋根表面温度より若干低い温度となり、外気温の低い日には屋根表面温度より若干高い温度となる。室温は外気温の高い日には未塗装部の方が塗装部より高いが、外気温が低い日には顕著な差は見られない。日積算水平面全天日射量との関係についても同様の検討を行ったが、ばらつきが大きく外気温のような顕著な相関関係は見られなかった。ただし、同日のデータを比較すると塗装部が未塗装部より温度が低い点は同様であった。一般に屋根各部の温度は、日射受熱量が少なければ外気温に近い値となるが、日射受熱量が多くなり、吸収日射量が増加すると外気温より高くなる。そのため、屋根各部の温度には外気温が強く影響し、日射はこれに追加される形で影響する。そのため、屋根各部温度は外気温との相関が高く、水平面全天日射量との顕著な相関がみられなかったと考えられる。

外気温と屋根各部の温度の関係から塗装部より未塗装部のばらつきが大きいことがわかり、この要因として日射受熱量の違いが影響していると考えられる。そこで、日積算水平面全天日射量と塗装部と未塗装部の屋根各部温度の差

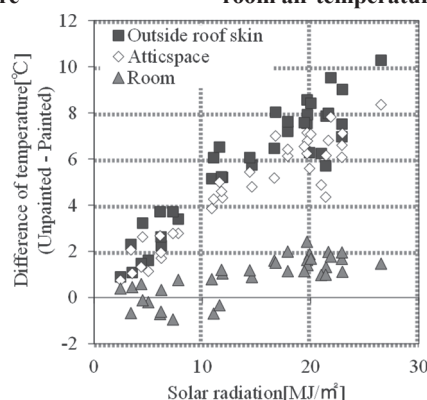


Fig.12 Relationship between solar radiation and difference in temperatures between unpainted and painted

の関係を検討した(Fig.12)。屋根各部温度の差は未塗装部の温度から塗装部の温度を差し引いて算出した。屋根各部温度の差は日射量が多いと大きくなり、日射量が少なくなると小さくなる。これは、屋根表面での吸収日射量の違いによるものと考えられる。また、屋外から室内へ向かうにつれて温度差が小さくなる。これは、室温には壁や床などからの伝熱および内部発熱が影響すること、天井の断熱材により屋根からの伝熱の影響が緩和されていることが要因と考えられる。以上のことから、屋根の高反射率化は水平面全天日射量の多い夏季には屋根各部の温度を低下させ、室温を改善する効果は大きい。水平面全天日射量の少ない冬季には屋根各部の温度低下は少なく、室温低下による悪影響は小さいと考えられる。

3. 高反射率塗装による冷暖房用電力消費への影響⁸⁾

3.1 対象建物および測定概要

対象建物は、福岡県北九州市にある工場内の事務所棟である。延床面積は 590.2 m²、平屋建て、軽量鉄骨ブレース造、屋根は金属折板である。建物外観を Fig.13 に、平面図、断面図を Fig.14 に、建物各部位の主な仕様を Table1 に示す。天井にはグラスウール(16K)が 50 mm 施工されており、壁は硬質ウレタンが 50 mm 充填されている。冷暖房はマルチエアコンで行っており、冷房能力は合計 109kW、暖房能力は



Fig.13 Perspective view of measured building

123kWである。この建物の屋根に2008年11月に前節の塗料と同一の白色高反射率塗料を塗布した。

3.2 日射反射率の測定

二点校正法を用いて塗装前後の屋根の日射反射率を測定した。測定器の設置状況を Fig.15 に示す。前節と同様、白、黒標準板を平置して測定を行った。塗装前の2008年9月、塗装後の2008年12月から2011年11月に測定を行った。Fig.16 に二点校正法による日射反射率の推定結果を示す。塗装前は0.18程度の日射反射率であったが、塗装直後は0.89まで日射反射率が向上し、その後、屋根表面の汚れにより0.70~0.77程度まで日射反射率は低下した。屋根表面の汚れは塗装後の時間経過と共に堆積し、日射反射率が低下し続けると考えられる。しかし、今回の測定結果では、一度日射反射率が低下した後はほぼ一定であり、塗装後約3年経過した日射反射率は0.75であった。塗膜の劣化が無く、降雨で汚れが洗い流されたためと考えられる。

3.3 冷暖房用電力消費への影響

冷暖房用電力消費への影響を把握するために、対象建物の電力日報データを基に検討した。このデータは冷暖房システムの測定結果であるが、一部、冷暖房以外の用途の電力消費が含まれている。この電力消費は終日一定であると仮定できるものなので、夜間の冷暖房を使用していない時間帯の平均値を差し引いた値を居室の冷暖房用電力消費とした。検討に用いたデータの期間は、2007年12月から2010年9月である。冷暖房が稼働している平日を対象とした。

Fig.17, 18 に冬季の月平均時刻別電力消費の代表として、1月、2月の結果を示す。冬季は7:00~8:00に暖房が稼働し、このときの電力消費が多い。その後、昼間は減少し、夕方から増加する。暖房は22:00~23:00に停止する。1月は塗装前の2007年度に比べ2008年度、2009年度の電力消費が終日多くなっている。また、暖房使用開始時の電力消費は塗装後の方が大きく、日中の電力消費の減少幅は塗装後の方が小さい。冷暖房用の電力消費には外気温が終日影響し、日射量は暖房時には日中の電力消費の減少、冷房時には増加に寄与する。そこで、月平均外気温および日積算全天日射量の月平均値を検討した。1月の平均外気温は2007年度が7.7℃、2008年度、2009年度は同程度で6.9℃程度であった。全天日射量は2007年度が6.8MJ/m²、2008年度は5.5 MJ/m²、2009年度は7.3MJ/m²であった。そのため、朝夕は2007年度の電力消費が小さく、日中の電力消費

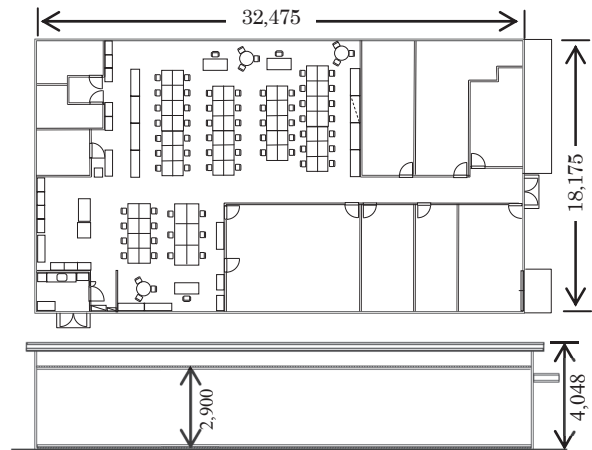


Fig.14 Measured building's plan and section

Table 1 Insulation specifications of the building

	Material	Thickness [mm]		Material	Thickness [mm]
Roof	Steel plate	0.5	Ceiling	Glass wool	50
	Polyolefin foam	4		Plasterboard	9
Wall	Plasterboard	9	Floor	Plastic tile	2
	Steel plate	0.5		Concrete	100
	Rigid urethane	50		Polystyrene foam	25
	Steel plate	0.5			

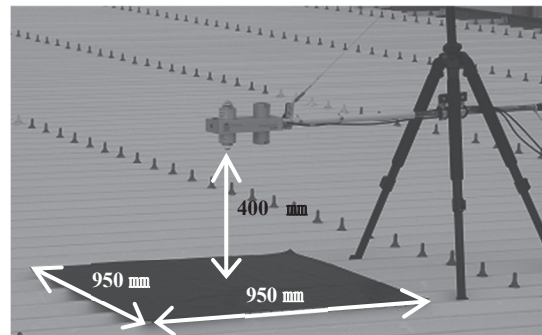


Fig.15 Measurement situation

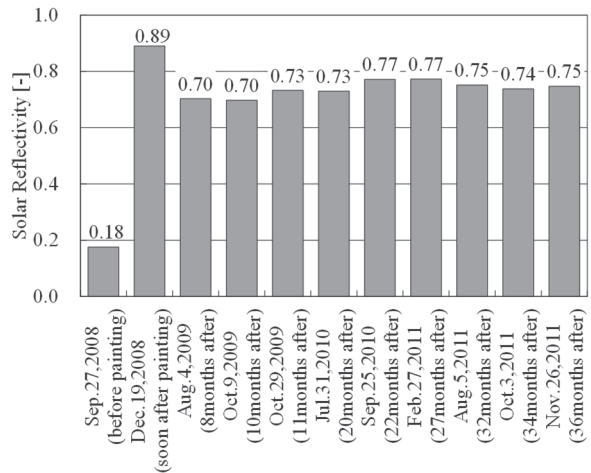


Fig.16 Estimated solar reflectivity by the 2 point correction method

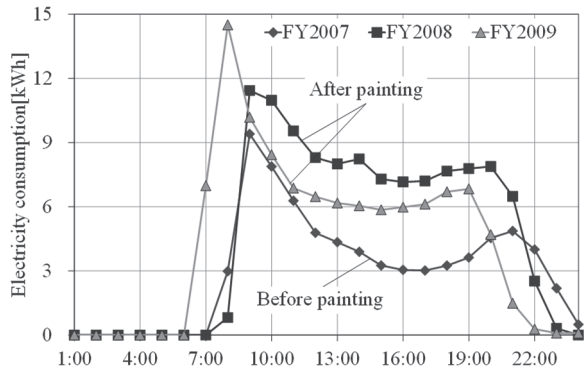


Fig.17 Hourly electric consumption for heating (January)

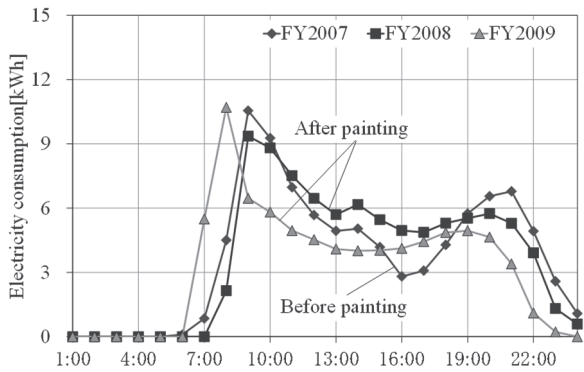


Fig.18 Hourly electric consumption for heating (February)

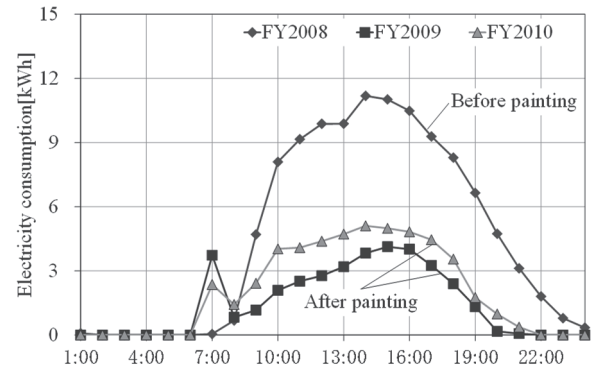


Fig.19 Hourly electric consumption for cooling (July)

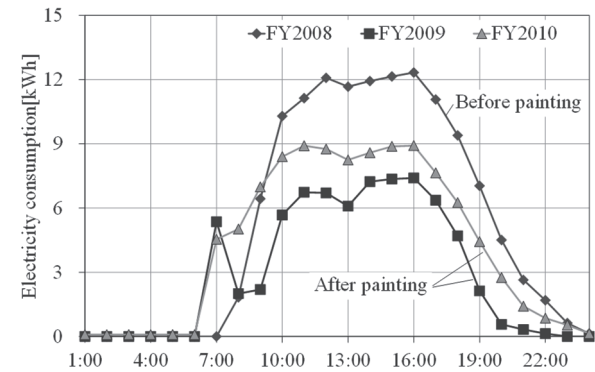


Fig.20 Hourly electric consumption for cooling (August)

は大きく低下したと考えられる。塗装後の2008年度、2009年度は平均外気温が低いこともあり、朝夕の電力消費は2007年度より多いが、2009年度は2007年度より全天日射量が多いにもかかわらず日中の電力消費の減少幅が小さい。これは屋根の日射反射率が2007年度に比べて高くなった影響と考えられる。2月の平均外気温は2007年度が6.3℃、2008年度が9.5℃、2009年度は8.6℃であり、全天日射量は2007年度が10.5MJ/m²、2008年度が9.7MJ/m²、2009年度が9.9MJ/m²であった。塗装前の2007年度は外気温が低いため朝夕の電力消費は多いが、日射量が多いため日中の電力消費が大幅に低下している。塗装直後の2008年度は2009年度より電力消費が多い。外気温は2008年度の方が高く、日射量は同程度であるため、塗装直後と塗装後1年以上経過した時点での屋根の日射反射率の違いが影響したと考えられる。以上より、屋根の日射反射率が高くなると暖房用電力消費は増加すると考えられるが、この影響の評価には、気象条件の違いを考慮することが必要であることがわかる。

Fig.19, 20に夏季の月平均時刻別電力消費の代表として7月、8月の結果を示す。稼働時間は冬季とほぼ同様である。7月、8月とも塗装前の2008年度の電力消費が多く、塗装後の2009年度、2010年度は電力消費が少ないことがわかる。平均外気温は2008年度が7月、8月とも27.9℃、2009年度が7月は26℃、8月は27.2℃、2010年度が7月は26.5℃、8月は29.5℃であった。全天日射量は2008年度が7月は20.6MJ/m²、8月は17.2MJ/m²、2009年度が7月は13.1MJ/m²、8月は18.8MJ/m²、2010年度が7月は16.6MJ/m²、8月は19.6MJ/m²であった。7月は塗装前の2008年度が気温は

Table 2 Calculating formula of sol-air temperature

Sol-air temperature (SAT):

$$SAT = \theta_o + \frac{1}{\alpha_o} \{ (1 - \rho) J - \varepsilon \cdot J_e \}$$

θ_o : Outdoor air temperature [°C]

J : Horizontal Solar radiation [W/m²]

J_e : Nocturnal radiation [W/m²]

α_o : Combined heat transfer coefficient (=23W/(m²·K))

ρ : Solar reflectivity [-], ε : Emittance (=0.8)

Nocturnal radiation :

$$J_e = \sigma T_o^4 (0.49 - 0.76\sqrt{f}) (1 - 0.62(C/10))$$

σ : Stefan-Boltzmann constant (=5.67×10⁻⁸W/(m²·K⁴))

T_o : Absolute temperature of outdoor air [K]

f : Water vapor pressure[mmHg]

C : Cloud cover (C=1-10)[-]

高く、日射量が多い。塗装後は電力消費が低下する。これには気象条件の影響、屋根高反射率化の影響が含まれていると考えられる。8月は塗装後の2010年度が最も暑い塗装前の2008年度に比べ電力消費が減少した。このことから、屋根高反射率化の効果が確認できる。また、塗装後の2009年度は2010年度に比べ外気温が低く、日射量も少ない。そのため、屋根の日射反射率が同程度であるが、電力消費は少なかったと考えられる。

3.4 気象条件による冷暖房用電力消費の予測

対象建物の電力消費の日報データには欠測があったため、冷暖房用電力消費の期間積算値を直接評価することは難し

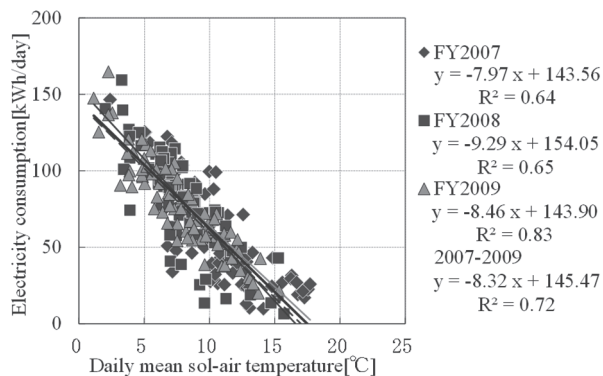


Fig.21 Relationships between sol-air temperature and electricity consumption (winter)

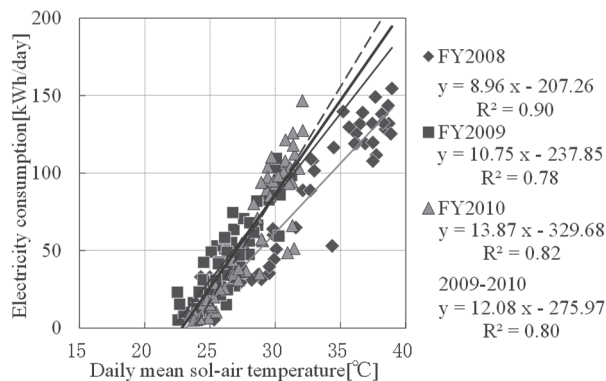


Fig.22 Relationships between sol-air temperature and electricity consumption (summer)

い。そこで、気象条件と冷暖房用電力消費の関係を検討し、直線回帰による欠測補充を試みる。屋根各部の温度は前節で述べたように外気温との相関が高く、屋根高反射率化の影響は吸収日射量の低減として現れるので、外気温および吸収日射量を考慮した指標として水平面における相当外気温度を使用した。相当外気温度の算出式を Table 2 に示す。相当外気温度の算出には、下関地方気象台における観測値を用いた。相当外気温度の算出に用いた日射反射率は、Fig.16 に示した結果を用い、塗装前は 0.18、塗装直後(2008 年度冬季)は 0.89、塗装後は 8 ヶ月経過から 36 ヶ月経過の平均値 0.73 を用いた。相当外気温度は屋根表面での吸収日射および長波放射による影響を外気温に等価変換した指標であり、屋根表面の熱物性値が含まれる。そのため、屋根高反射率化の影響は相当外気温度に含まれ、相当外気温度と日積算電力消費の関係では室内の発熱や蓄熱および冷暖房の使用状況が変わらなければ、塗装の前後で分布は同様の傾向になると考えられる。

Fig.21, 22 に冬季および夏季の日平均相当外気温度と日積算電力消費の関係を示す。冬季は 12 月～3 月、夏季は 6 月～9 月を対象とし、冷暖房が稼働していると考えられる平日を対象とした^{注1)}。冬季は塗装前、塗装後の両者がほぼ同一の直線上に分布している。各年度の回帰直線の決定係数は 0.64～0.83 程度と比較的高く、回帰直線に説明力があることがわかる。夏季は回帰直線の傾きが塗装後に大きくなっている。この要因は不明であるが、塗装前後での室内の発熱や蓄熱の変化が考えられる。回帰直線の決定係数は 0.78 以上あるため、十分な説明力のある式と考えられ、相当外気温度を用いて冷暖房用の日積算電力消費を予測しても大きな誤差は生じないと考えられる。

Fig.23 に Fig.21, 22 で得られた回帰式より推計した冷暖房用電力消費の期間積算値を示す。冬季は塗装直後(日射反射率 0.89)に電力消費が塗装前と比べて約 40%増加した。その後、反射率が 0.73 に低下した状態でも約 30%の電力消費の増加となった。また、夏季には 2009 年度は塗装前と比べて電力消費がほぼ半減し、2010 年度は 30%程度の電力消費の削減となった。冷暖房合計の電力消費量でみると、塗装前と比べ塗装後 1 年目は約 10%の電力削減、2 年目は塗装前と同程度という結果となった。1 年目と比べて 2 年目

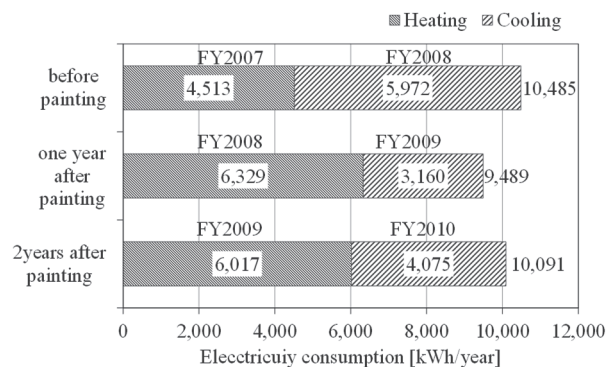


Fig.23 Estimated electricity consumption for cooling and heating (Using real weather data)

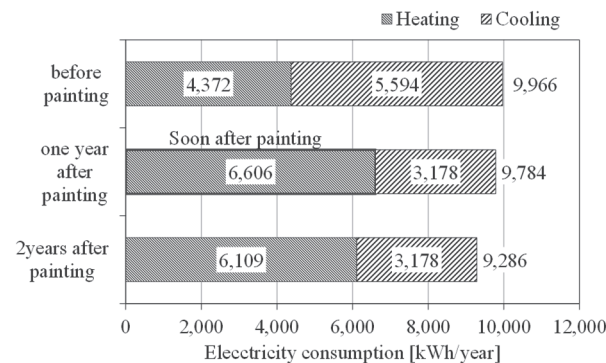


Fig.24 Estimated electricity consumption for cooling and heating (Using standard weather data)

は、冷房用電力消費が増加している。これは年により気象条件が異なり、2009 年度の夏は 2010 年度より涼しかったことが要因と考えられる。そのため、同じ気象条件の下で検討することが必要と考えられる。そこで、標準的な気象条件下での冷暖房用電力消費の状況を把握するために標準気象データ⁹⁾を使用し、相当外気温度との関係で得られた回帰式を用いて検討した(Fig.24)。なお、冬季は各年度の回帰直線は同程度であったため 2007 年度～2009 年度を合わせた回帰式を用いた。夏季は塗装前後で回帰式の傾きが異なるので塗装前は 2008 年度の回帰式を用い、塗装後 1 年目、2 年目は同様の回帰直線であったので 2009 年度と 2010 年度を合わせた回帰式を用いた^{注2)}。この結果、塗装前に比べ、塗装後 1 年目は約 2%の電力削減、2 年目は約 7%の電力削減

減となった。塗装後1年目は冬季が塗装直後であり、日射反射率が高いため暖房用電力消費の増加が著しく、夏季には屋根面の汚れにより日射反射率が低下しているため電力消費の削減量が少ないことがわかる。2年目になると、冬季、夏季ともほぼ一定の日射反射率となり、屋根を高反射率化したことによる冷房用電力消費の削減効果が暖房用電力消費の増加より影響が大きいことがわかる。また、屋根高反射率化による省エネルギー効果を大きくするためには、冷房期の直前に塗装することが望ましく、日射反射率は予め各地域の気象条件を検討し、冷房負荷の低減と暖房負荷の増加を考慮して選定することが必要と考えられる。

4. 結論

本報告では、金属折板屋根を高反射率化することによる室内温熱環境および冷暖房用電力消費への影響を把握するために、高反射率塗料を塗布した既存建物を対象に夏季、冬季を通じて測定を行い、気象条件との関係を検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- ・塗装部と未塗装部の温度差は屋根表面から室内へ行くにしたがい小さくなる。室温は、壁、床、窓など屋根以外からの伝熱や天井断熱による屋根からの伝熱の緩和があり、塗装、未塗装での温度差が小さくなる。
- ・屋根高反射率化による屋根表面温度、小屋裏空気温度、室温の低下度合いは気象条件によって変化し、日射量の多い夏季には大幅な低下が見られ、冬季には低下度合いが小さくなる。よって、金属折板屋根を持つ建物では、屋根高反射率化による夏季の室温改善は冬季の室温低下より効果が大きいと考えられる。
- ・屋根高反射率化により冷房用電力消費は大幅に減少するが、暖房用電力消費は増加する。この増減率は屋根の日射反射率および気象条件により異なる。
- ・冷暖房用電力消費への影響を対策前後で比較検討する際には、気象条件の影響を受けるので、気象条件と冷暖房用電力消費との関係を検討し、標準的な気象条件での比較を行うことが有用である。今回の検討では高反射率塗装により約7%の冷暖房用電力削減と推計された。

脚注

注1) 冷房稼働している日は、日積算電力消費が5kWh/日以上の日とした。6月初旬に日積算電力消費が5kWh/日未満となる日が見られたので時刻別電力消費量を確認したところ、終日、1kWh未満の電力消費であった。この様な日は冷房の稼働はなく、日報データに含まれる冷房以外の電力消費の影響を除去しきれていないことが要因と考えられ、検討対象から除外した。冬季にはこのようなデータは無く、日積算電力消費は5kWh/日以上であった。

注2) 相当外気温度と冷暖房用電力消費の関係は、室内の発熱や蓄熱、冷暖房の使用状況が同様であれば塗装前後に関わらず同様の分布になり、1つの回帰直線で説明できると考えられる。しかし、Fig.22では塗装前と後で回帰直線の傾きが異なり、この要因は明らかにできなかったため、塗装前後それぞれの回帰式を用いて評

価した。従って、今回の検討では塗装前後の室内の使用状況や蓄熱の変化などの相当外気温度のみでは評価しきれない冷暖房用電力消費への影響が含まれていると考えられる。

謝辞

本研究の測定は、当時熊本大学学生の猿渡菜奈子君、黒田朋昭君、当時崇城大学学生の岩永隼人君の労によるものである。また、熊本大学工学部、TOTO株式会社の関係各位に多大なご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 西村,松尾,三木,村瀬:太陽熱高反射塗装の日射熱防除効果,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.377-378,2003.9
- 2) 西村,松尾,三木,村瀬:太陽熱高反射塗装の日射熱防除効果(その2),日本建築学会学術講演梗概集, pp.357-358, 2004.8
- 3) 大木,近藤,光本:実測による高反射率塗料の遮熱性能に関する研究,日本建築学会学術講演梗概集, pp.261-262, 2005.9
- 4) 山田,中島:屋上高反射率塗装による建物環境改善効果—保育園における実測評価—,日本建築学会学術講演梗概集, pp.643-644, 2007
- 5) 村田,酒井,三木,石原:高反射率塗装による吸収日射低減効果に関する研究 第1報屋外での日射反射率測定の精度向上に関する検討, 太陽エネルギー, Vol.38.No.3, pp.59-66, 2012.5
- 6) 村田,酒井,三木,石原:高反射率塗装による吸収日射低減効果に関する研究 第2報折板屋根への二点校正法の適用に関する検討, 太陽エネルギー, Vol.39.No.5, pp.47-52, 2013.9
- 7) 石原,村田:金属折板屋根の高反射化による室内温熱環境への影響に関する研究その2 熊本大学ものづくり実習棟における温熱環境評価, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2010, pp.75-78, 2010.11
- 8) 村田,石原,三木:屋根高反射率化による建物冷暖房用エネルギーへの影響に関する研究-金属折板屋根建物での冷暖房用電力消費の検討-,太陽/風力エネルギー講演論文集 2010, pp.63-66, 2010.11
- 9) 日本建築学会: 拡張アメダス気象データ 1981-2000,2005.8