

日中放射冷却膜材料の仮設ハウスへの設置による暑熱対策と脱炭素の両立

Installation of Daytime Radiative Cooling Film Material in Temporary Housings for Both Heat Control and Decarbonization

古 宮 正 勝^{*1}
Masakatsu Komiya

勝 部 峻太郎^{*2}
Shuntaro Katsube

大 藪 慎二郎^{*1}
Shinjiro Oh-yabu

【要旨】

近年、地球温暖化やヒートアイランド現象により夏季の猛暑日が増加しており、同時に熱中症の死傷災害も増加している。建設現場では屋外作業が多いことから熱中症リスクが高く、万全な暑熱対策が求められる。その一方で、建設業においてもカーボンニュートラルを実現するためCO₂排出量の削減が求められている。

上記課題に対し筆者らは放射冷却機能を持つ膜材料に着目し、屋外建設現場の仮設ハウスに対する本材料の冷却効果および適用性を確認する目的で、1棟の仮設ハウスに本材料を設置し、室内温度の経時変化を記録した。その結果、本材料未設置のハウスに対して、本材料設置済みのハウスの室内温度が最大で2.5度低下しており、また職員や作業員によりその効果を体感でき、熱中症対策に有効であることが確認できた。また、スコープ1において最大約130.8kgのCO₂排出量削減が可能であると試算でき、地球温暖化に対する緩和策としての有効性が示された。

【キーワード】 暑熱対策 熱中症対策 放射冷却 脱炭素

1. はじめに

近年、地球温暖化やヒートアイランド現象により夏季の猛暑日が増加している。特に2024年は全国的に高温となり、これは1946年の統計開始以降の夏として、西日本と沖縄・奄美では1位、東日本では1位タイの高温となった。また、7-9月の日本の平均気温偏差は+1.76度となり、これは1898年の統計開始以降の夏として、2023年の記録と並び、1位タイとなった¹⁾。

熱中症の死傷災害も年々増えており、2024年の職場における熱中症による死亡者数の総数は31人となっている²⁾。建設業における死亡者数は10名と最も多く、これは全業種の32%に相当する。建設現場では屋外作業が多いことから熱中症リスクが高く、万全な暑熱対策が求められる。

その一方で、世界的な脱炭素化への動きを踏まえ、建設業においてもカーボンニュートラルを実現するためCO₂排出量の削減が求められている。当社でも、脱炭素社会の実現に向けて長期的なCO₂削減目標を設定しており、スコープ1（自ら使用した燃料の燃焼（重機・車両使用など）による直接排出）＋スコープ2（他社から供給された電力等使用による間接排出）のCO₂排出量を、2030年までに2020年比で25%削減することを掲げている³⁾。このことから、暑熱対策とCO₂排出量削減の両立が求められている。

そこで当現場では、光エネルギー反射による遮熱機能

と熱エネルギー放射による冷却機能を持つ膜材料に着目した。この材料は、電力不要で、材料周辺の熱を宇宙に排出するものであるため、屋外建設現場での使用により、CO₂排出なしでの暑熱対策と地球環境保全が可能であると考えられる。本報告では、現場での試験適用とその有効性について報告する。

2. 工事概要

中央新幹線伊那山地トンネル新設（戸中・壬生沢工区）は長野県下伊那郡豊丘村神稲地内に位置し、本坑トンネル約6.6km、非常口トンネル（戸中）約1.0kmをNATMにて掘削する山岳トンネル工事である（写真-1）。加えて、写真-2に示す約3.0haの発生土置き場、写真-3に示す約5.6haの豊丘変電所敷地の造成工事など明かり工事も多く、夏季の熱中症対策を行いながら施工を進めている。

なお、施工ヤードおよび発生土置き場周辺では希少種が確認されており、工事中に実施する環境保全措置として排出ガス対策型建設機械の採用（写真-4）、タイヤ洗浄機の設置による外来種拡大抑制など、環境への影響を低減するための取組みを行っている。

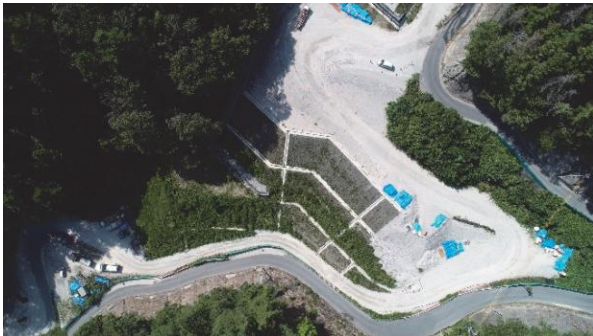
3. 採用した放射冷却膜材料

SPACECOOL株式会社が開発・販売を行っている放射冷却性を持つ膜材料「SPACECOOL®」（以下、本製品）は、太陽光および大気の大気熱輻射に由来する入熱よりも素材か

1.土木本部 [名古屋] 伊那山地トンネル西作業所 2.技術研究所 研究開発G 生産システム研究室



写真－１ 非常口トンネル（戸中）坑口および仮設ヤード



写真－２ 発生土置き場の状況



写真－３ 豊丘変電所敷地造成工事の状況

らの放射冷却による宇宙空間への放熱を大きくすることにより日中の冷却を可能にした素材である⁴⁾。本製品の外観を写真－５に、諸元を表－１に示す。本製品の特長として、反射率および放射率がともに95%以上と高いことが挙げられる。

本製品は、フィルムタイプ、マグネットシートタイプ、帆布生地タイプの3種類があり、適用先としては、(1)高性能な断熱材が使われていない用途（仮設ハウス、コンテナ、物流トラックなど）、(2)内部の熱源を冷やす用途（キュービクル、分電盤など）が挙げられ、快適性向上、安全性向上、冷房コスト削減、電気設備の長寿命化、CO₂排出量削減といった効果が得られるとしている。

4. 事前検証

本製品による冷却効果を確認する目的で、写真－６に示すように当社技術研究所敷地内において簡易的な検証を実施した。本製品の設置対象は黒色の収納用コンテナ



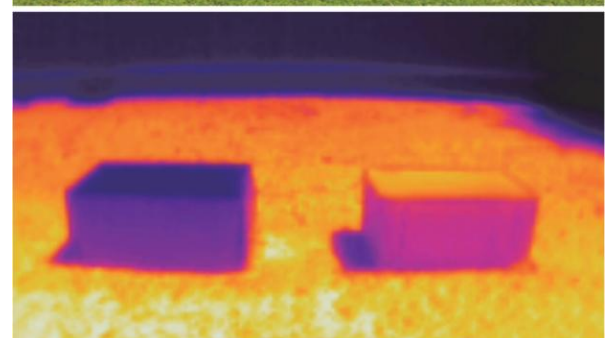
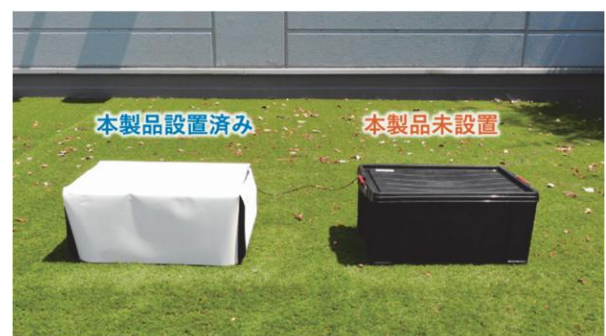
写真－４ 排出ガス対策型バックホウ



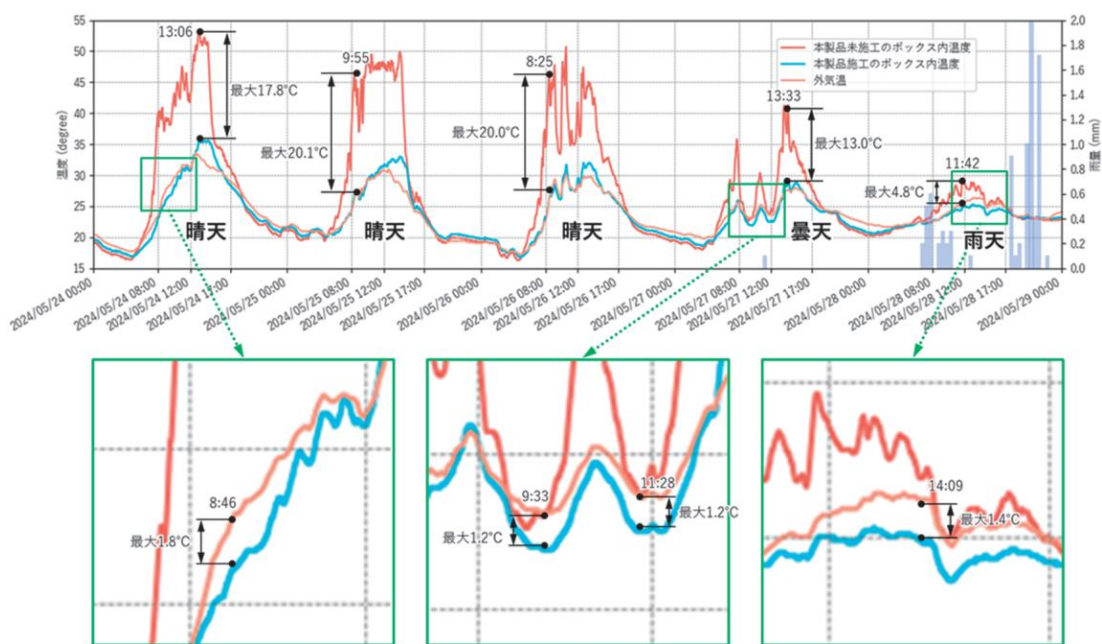
写真－５ 本製品の外観

表－１ 本製品（マグネットシートタイプ）の諸元

材質	基布：マグネットシート 表面：PVC等
太陽光反射率	>95%
放射率(8-13 μm)	>95%
透過率	0%
厚さ(代表値)	0.54±0.02mm
重量(代表値)	1450±50g/m ²



写真－６ コンテナボックスへの本製品設置の状況
(上：設置状況，下：表面温度の相対差)



図－１ コンテナボックス内部温度の経時変化（2024年5月）

ボックス（680×400×300mm）とし、同一のボックス2つのうち一方にのみ本製品（マグネットシートタイプ）を設置した。ボックスを、2024年5月24日0時から2024年5月29日0時の5日間屋外存置した際の、ボックス内部温度の経時変化を図－1に示す。

図－1より、5月25日10時付近において、本製品未設置のボックスに比べ、設置済みのボックス内部温度が20.1度低くなっている。また、この温度上昇抑制効果は、曇天時や雨天時に比べて晴天時のほうが大きい。この理由としては、雲がない日は天空表面温度が-40～-60度程度と低く放射冷却が大きくなる一方、雲のある日は雲の温度が0～10度程度と高く放射冷却が少なくなるためである。

加えて、設置済みボックス内温度が外気温より低い（最大1.8度）箇所も確認できる。これは、本製品の放射冷却機能により、周辺外気温よりボックス内温度を低下（冷却）させることによるものと考えられる。

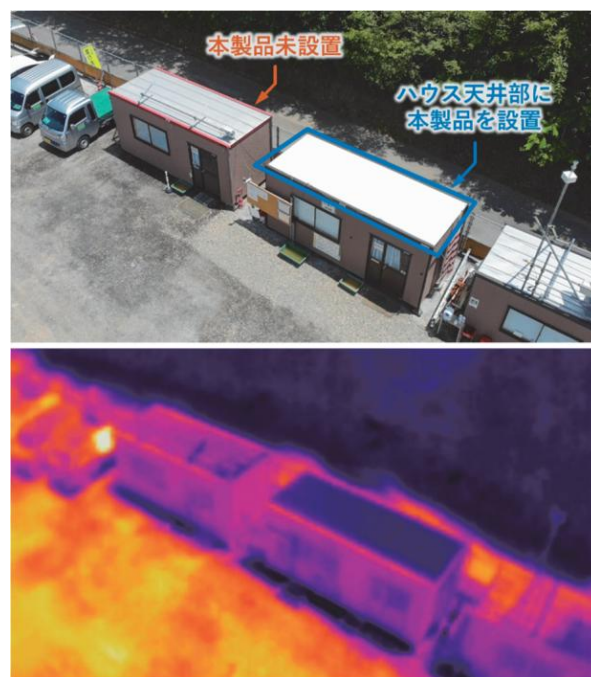
5. 仮設ハウスへの適用

5.1 検証結果

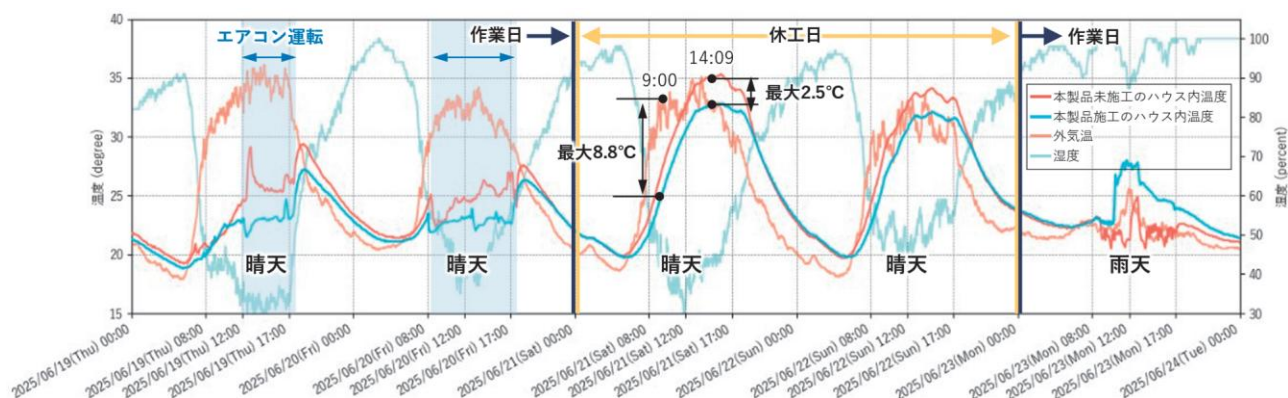
前述の検証を受け、当現場の豊丘変電所敷地造成工事の屋外仮設ハウスへ、2024年6月4日から2025年9月24日（論文執筆時点）まで試験的に適用している。本工事では、職員および作業員の休憩場所を確保するため仮設ハウス（5,540×2,200×2,575mm、3.8坪）3棟をヤード内に設置し、詰所として使用している。詰所の電源確保のため、作業中（平日8:00-17:00）に発電機（出力45kVA、50%負荷時燃料消費量6.2L/h、力率0.8（三相））を使用しており、夏季・冬季においては適宜エアコンの運転を行っている。

屋外建設現場の仮設ハウスに対する本製品の冷却効果および適用性を確認する目的で、1棟の仮設ハウスに本製品を設置し、室内温度の経時変化を記録した。なお、施工性を重視し、仮設ハウスの天井部分のみに、マグネットシートタイプの製品を設置することとした（写真－7）。

仮設ハウス室内温度の経時変化を図－2に示す。エアコンを運転していない休日である6月21日、22日に着目すると、21日14時付近において本製品未設置のハウスに対して、設置済みのハウスの室内温度が最大で2.5度低下することが分かる。さらに、日の出から14時ごろまで、設置済みのハウスの室内温度が外気温より低くなり、その



写真－7 仮設ハウスへの本製品設置の状況
（上：設置状況、下：表面温度の相対差）



図ー２ 仮設ハウス室内温度の経時変化（2025年6月）

温度差は9時ごろに最大で8.8度に達することが分かる。この温度上昇抑制効果と冷却効果により、屋外建設現場における労働環境の改善，またエアコンの消費電力量およびCO₂排出量の低減が可能である。

本製品の設置により，職員および作業員によってその温度上昇抑制効果を体感することができており，好評であった。

また，本製品の設置は職員2名により1時間程度で完了することができ，容易かつ短時間での設置が可能であった。施工から一年以上が経過しているが，雨天，強風時においても，剥がれなどは見られなかった。

5.2 CO₂排出削減量の試算

3.1坪の仮設ハウスの天井部に本製品を設置した場合，エアコンの平均消費電力0.27kWhに対して消費電力量は4%低減でき，天井・東/南/西壁に本製品を設置した場合，消費電力量は20.3%低減できる⁶⁾ことから，今回の適用条件において，6月から9月の平日日中8:00-17:00にエアコンを運転した場合の消費電力の削減量は約9.5kWhと算定できる。これは，発電機の燃料消費量約3.3L，CO₂排出量約8.6kgに相当する⁷⁾。さらに，3棟全てのハウスの天井・東/南/西壁に本製品を設置した場合では，消費電力約145.1kWh，燃料消費量約49.9L，CO₂排出量約130.8kgの削減が可能と考えられる。

6. まとめ

屋外建設現場の仮設ハウス天井部分に，放射冷却性を持つ膜材料「SPACECOOL®」を設置した結果，日中の室内温度を未設置のハウスと比較して最大2.5度低下でき，熱中症対策に有効であることが確認できた。また，スコープ1において最大約130.8kgのCO₂排出量削減が可能であることが分かった。さらに，放射冷却効果も確認され

たことから，労働環境の改善にゼロエネルギーで貢献でき，地球温暖化に対する緩和策としての有効性が示された。

その一方で，本製品の設置により冬季においても日射熱を反射するため，暖房エネルギーの増加が懸念される。温度データや電力データの計測など，引き続き検証を進めていく予定である。

本製品は，仮設ハウスのみに留まらず，仮設トイレ，重機，車両，ヘルメットなどさまざまな適用先が考えられる。本取組みを通じて，誰もが働きやすい建設現場，そして持続可能な建設産業の構築を目指していく所存である。

謝辞：本研究の実施にあたり，東海旅客鉄道株式会社にご協力頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 気象庁：2024年夏（6月～8月）の天候。
- 2) 厚生労働省：令和6年報道発表資料，2024年（令和6年）職場における熱中症による死傷災害の発生状況（確定値）。
- 3) 飛鳥建設：TCFD提言に基づく気候関連情報の開示，<https://www.tobishima.co.jp/csr/tcf.html>（最終閲覧2025.8.18）
- 4) 末光真大：直射日光下で周辺気温より低温となる受動的放射冷却素材の原理とその応用，日本機械学会熱工学部門ニュースレター，No.98，pp.13-20，2022。
- 5) 加藤靖葉，森本真紀：放射温度計観測による空の温度と雲底高度の関係，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），Vol.45，pp.41-47，2021。
- 6) SPACECOOL株式会社：放射冷却素材カタログ。
- 7) 環境省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル（Ver6.0）（令和7年3月）。

Summary Recent global warming and the heat island phenomena have increased the number of extremely hot days per summer with a simultaneous rise in fatal and injury accidents due to heatstroke. Construction sites pose a high risk of heatstroke due to the high frequency of outdoor work and, therefore, require taking all available precautions against summer heat. On the other hand, the construction sector is also required to reduce CO₂ emissions in order to achieve carbon neutrality.

In response to the above issues, the authors focused on a film material with radiative cooling function, and in order to confirm the cooling effect and applicability of this material to temporary houses at outdoor construction sites, we installed this product in one temporary house and recorded the change in indoor temperature over time. As a result, the indoor temperature of the house where this product was installed was reduced by up to 2.5 degrees compared to the house where this product was not installed, and the effect was felt by staff and workers, confirming that it is effective in preventing heatstroke. In addition, it was estimated that a maximum reduction in CO₂ emissions of approximately 130.8 kg is possible in Scope 1, demonstrating its effectiveness as a mitigation measure against global warming.

Key Words : Heat Countermeasures, Prevention of Heat Illness, Radiation Cooling, Decarbonization