

日中放射冷却素材の実現と 地球温暖化への緩和・適応策としての応用

SPACECOOL 株式会社 テクニカル本部
末光真大, 大杉亮輔, 筈井悠樹, 甲坂朋也

1. はじめに

地球温暖化の進行により、暑熱への対応の重要性・緊急性が年々高まっている。世界の空調にかかるエネルギーは人口増加もあり 2050 年に 2018 年比で約 5 倍に増加し日米欧の現在の発電能力総計と同等のエネルギー需要が新たに生じることが予測されており、空調エネルギー削減は喫緊の課題である。また、環境温度が上昇する中、多様な労働者が熱中症にならず安全・快適に働ける環境の整備がこれまで以上に求められる。併せて、屋外機器の暑熱による事故やトラブルは年々上昇基調にあり、今後更に増加することが予想される。これら地球温暖化に起因する問題解決の一助として近年期待されている技術が、直射日光下で周囲より受動的に温度低下する「日中放射冷却素材」である。当素材は、熱が光エネルギーの形で宇宙空間に放出される放射冷却現象を活用した冷却技術であり、近年世界で研究開発が活発化している^{2,4)}。我々のグループでは 2017 年より日中放射冷却素材の開発及びビジネス化に取り組んでいる。本論文では、日中放射冷却素材について概説したうえで、地球温暖化への緩和・適応策としての応用について説明する。

2. 日中放射冷却素材の冷却原理

日中放射冷却素材は放射冷却現象によって直射日光かでゼロエネルギーで外気温より温度低下する素材である。天気予報などで耳にする放射冷却現象は、物体の熱が熱輻射（赤外線）の形で -270°C と低温の宇宙空間に移動し、周囲より冷える現象のことであり、夜間にゼロエネルギーで冷える現象としてよく知られている。しかし、一般的な素材の場合、太陽光が照射されると、放射冷却による放熱よりも太陽光エネルギーや温められた大気の熱輻射からの入熱の方が大きくなるため日中の冷却は困難である。

日中放射冷却素材は、太陽光および大気の熱輻射に由来する入熱よりも素材か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で日中の冷却を可能にした素材である。この特性を得るために素材に要求される輻射率スペクトルについて解説する。図 1 に太陽光スペクトル (AM1.5G) と大気の透過率スペクトルの一部 (太陽光スペクトルと重なると図が煩雑になるため $4\ \mu\text{m}$ より長波長部分のみ) に併せ、日中放射冷却素材の理想的な輻射率スペクトルを示す。大気の透過率が高い $8\text{-}13\ \mu\text{m}$ の波長帯は一般に「大気の窓」と呼ばれる。地表から出た熱輻射のうち、大気の窓の波長帯の熱輻射は大気に吸収されずに -270°C と極低温の宇宙空間に放出される。熱を宇宙空間に放出するためには、この大気の窓の波長帯の輻射率を 100%に近づけることが望ましい。一方、日中の冷却を実現するためには、太陽光由来の入熱を抑制することを目的に太陽光スペクトルが分布する波長帯 ($0.3\text{-}4\ \mu\text{m}$) の光は吸収せず反射する必要がある。キルヒホッフの法則において熱平衡状態における輻射率と吸収率が等しいことから、太陽光スペクトルが分布する波長帯の輻射率を 0%に近づけるとともに反射率を 100%に近づけた材料設計が望ましい。また、大気は透過率が低い波長帯において大きな熱輻射を発するため、大気からの熱輻射由来の入熱を抑える観点で大気の透過率が低い波長帯 ($6\text{-}8\ \mu\text{m}$, $13\ \mu\text{m}$ より長波) において材料の輻射率 (=吸収率) を低減させることが望ましい。