

温暖湿潤気候における日中放射冷却デバイスの性能限界

Performance Limit of Daytime Radiative Cooling in Warm and Humid Environment

岡山大学, °須一 貴啓, 石川 篤, 林 靖彦, 鶴田 健二

Okayama Univ., °T. Suichi, A. Ishikawa, Y. Hayashi, and K. Tsuruta

E-mail: a-ishikawa@okayama-u.ac.jp

自然の冷却機構である放射冷却は、電力を消費せずに物体の冷却が可能であり、日本の夏季ピーク時には電力需要の 53%にも達する冷房によるエネルギー消費を大幅に抑制できる可能性がある[1]. 近年、発熱の原因となる可視光を完全反射し、熱放射を担う中赤外光を選択的に放射するナノフォトニック構造が提案され、太陽光照射下において気温から約-5°C の高効率冷却が実証された[2]. 一方で、放射冷却デバイスの性能は気温や湿度の影響を受けるため、アジアのような高温多湿環境では、大気中の水蒸気の熱放射によって性能が低下する. しかし、これまでの日中放射冷却の実験的評価は主に北アメリカの低湿度環境で行われており、高温多湿環境での性能は明らかでない. そこで本研究では、金属-誘電体多層膜を用いた放射冷却デバイスを作製し、高温多湿な夏季の日本・岡山において冷却性能に対する湿度の影響を評価した. 図 1(a)に、本研究で作製した放射冷却デバイスの断面模式図を示す. 可視領域に高い反射率を示す Al ミラー上に、中赤外領域に選択的な放射を示す SiO₂/PMMA 層を積層している. 図 1(b)に示すように 25×25 mm² のガラス基板上に多層膜構造を成膜し、太陽光照射下における放射冷却実験を行った. 図 2 に示す測定結果から、デバイス温度は平均 37.2°C であり、中赤外光の選択的な放射によって Al ミラーに対し平均で 3.4°C 温度低下した. 次に冷却性能に対する湿度の影響を評価するため、各時刻におけるデバイス温度を理論的に計算し、測定結果との比較を行った. ここで湿度の影響は、可降水量 (Precipitable Water Vapor: PWV) の上昇に伴う大気の透過率の変化として導入した. デバイス温度の測定結果は、初夏の日本において典型的な値である PWV 20 mm の計算結果によって最も良く再

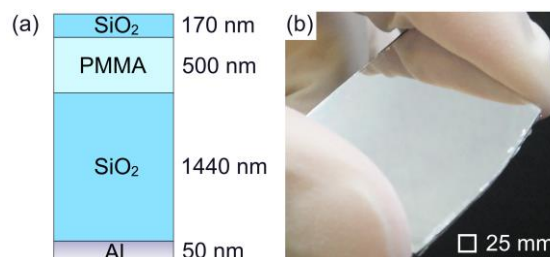


Fig. 1. (a) Schematic cross-section and (b) photograph of a radiative cooling device.

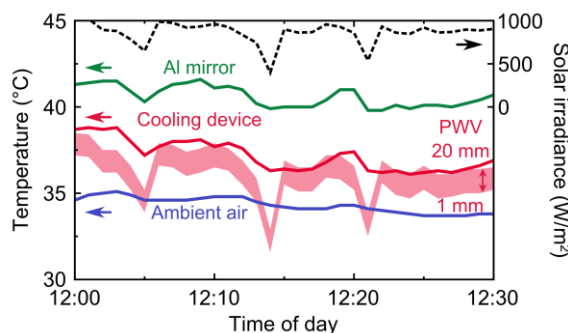


Fig. 2. Experimentally measured temperatures of an Al mirror (green), cooling device (red), and ambient air (blue) during noontime. The red band is the calculated device temperature for the PWV from 1 to 20 mm.

現でき、乾燥地域で観測される値である PWV 1 mm に対して約 1°C 上昇することがわかった. 講演では、高温多湿環境における冷却性能限界についても議論する.

謝辞:

本研究の一部は、科研費 (No. 15K0237) および岡山大学自然生命科学研究支援センター分析計測分野の援助により行われた.

参考文献:

- [1] 夏期最大電力使用日の需要構造推計 (東京電力管内) 平成 23 年 5 月, 資源エネルギー庁.
- [2] A. P. Raman, *et al. Nature* **515**, 540 (2014).