

論文の内容の要旨

論文題目 光高反射熱高放射塗料導入による建築-都市連成環境の環境改善効果の総合評価

氏名 井原 智彦

近年、地球環境問題（地球温暖化）が問題化しており、CO₂ 排出削減対策をとることが急務となっている。我が国のCO₂ 排出量を部門別に分析すると、CO₂ 排出起源のおよそ1/4を占める民生部門は、産業部門や運輸部門とは異なり、CO₂ 排出量が増加傾向にある。民生部門は業務分野・家庭分野ともに空調負荷が全エネルギー負荷の3割を占めており、特に、建築物に関するCO₂ 排出削減方策の導入が必要であるといえる。また、民生部門のエネルギー消費が原因のひとつであるヒートアイランド現象も重要な問題となっており、ヒートアイランド現象の緩和策の導入も必要となっている。

従来から建築物に導入するCO₂ 排出削減技術としては断熱材の使用が最も有効であるといわれてきたが、施工後の建築物に導入するのはきわめて高コストであり、新築建築物に対する削減技術としかならない。一方、光高反射熱高放射塗料（遮熱塗料とも、以下、光高反射塗料）は、塗装するだけでその効果を発揮できるため、施工後の建築物への導入も容易である。光高反射塗料が塗装された建築外表面は、直接の環境改善効果として、塗料の持つ高い日射反射率によって、日射を高い割合で反射し、外表面の吸収日射を減少させ、室内への貫流熱を削減できるため、冷房負荷の削減、ひいてはCO₂ 排出量の削減が見込める。また同時に、副次的な効果として、日射を高反射し、外気への顕熱輸送を減少させ、さらに冷房負荷に伴う人工排熱を削減させるため、光高反射塗料が大規模に導入された場合には、気温が低下し、さらなる冷房負荷の削減、CO₂ 排出量の削減が見込める。このように光高反射塗料の導入は、建築物のCO₂ 排出削減だけでなく、ヒートアイランド現象の緩和をも期待できる。

光高反射塗料導入によるCO₂ 排出削減量は、建築環境と都市環境の相互作用を考慮して広域、通年で評価する必要がある。しかし、光高反射塗料導入による環境改善を目的とした研究では、建築環境のみの通年評価にとどまったり、あるいは夏期のみ建築-都市連成環境下での評価に終わっていたりした。同時に、建築・都市両環境のシミュレーションに用いる光高反射塗料の物性値は、実測に基づいていなかった。そこで、本研究では、物性値を計測実験によって求めるとともに、建築熱負荷計算モデルと都市熱環境計算モデルとを連成させ、光高反射塗料の環境改善効果を広域かつ通年で評価した。

建築環境での光高反射塗料導入の評価をおこなうために構築した非定常建築熱負荷シミュレーションモデルでは、建築物を多数の領域に分割し、各分割領域の代表点（温度計算点）ごとに立てた連立熱収支式を、差分法によって解を求める。本モデルでは、スカイライン法と divide and conquer 法を用いて計算負荷の削減を図ると同時に、毎時の温度計算点の温度から、毎時の各分割領域の保有熱量を算定できるようにした。また都市熱環境への影響を考慮できるようにするため、建築物の毎時の保有熱量より、エネルギー用途別に毎時の排熱量を算出するサブモデルを付加した。

また、光高反射塗料の物性値を把握するため、東京大学工学部4号館屋上に光高反射塗料を塗装したステンレス板製の立方試験体を設置し、これを長期にわたり曝露させて日射反射率を計測した。測定した反射率データから日射状態の影響を、光線追跡法に基づいて除去した結果、塗料寿命5年平均で日射反射率は0.75と特定された。

実測した光高反射塗料の日射反射率を入力値として建築熱負荷計算モデルを用いることにより、日射受熱量削減による直接効果のみを考慮した光高反射塗料導入による建築物の空調負荷削減効果を算出し、同時に標準外表面の場合と光高反射塗料を導入した場合のそれぞれの建築物からの時刻別排熱量（排熱曲線）

を求めた。その結果、冷房負荷が暖房負荷を卓越する業務ビルに導入した場合、冷房負荷を 370[GJ] (19.4%) 削減する一方、暖房負荷は 260[GJ] (33.1%) 増加し、冷房負荷の削減量が暖房負荷の増加量を上回ることが判明した。一方、暖房負荷が冷房負荷の 2.5 倍に達する住宅では、冷房負荷は 1.47[GJ] (21.4%) 削減するものの、暖房負荷は 2.30[GJ] (13.3%) 増大し、光高反射塗料の導入は、空調負荷の増大をもたらす可能性があることが示唆された。また、得られた時刻別排熱量から、空調開始時刻直後では冷房排熱量は冷房負荷量の 2 倍以上にも達することが判明した。

光高反射塗料が大規模に導入された場合の都市熱環境の変化を考慮するために、引き続き建築熱負荷計算モデルで算出した排熱量、実験で求めた光高反射塗料の日射反射率を入力値として、東京圏すべての業務ビルに光高反射塗料が導入された場合の都市熱環境計算をおこなった。季節ごとに代表日において計算をおこなったところ、光高反射塗料の導入は、季節を問わず日中で 0.5[K]程度、夜間でも最大 0.2[K]の気温低下を招くことが判明した。次に計算結果である気温低下量と日射量とを回帰分析して、光高反射塗料による季節ごとの気温低減効果の推定式を作成し、この推定式を拡張アメダス気象データの通年気温データに適用することにより、光高反射塗料を大規模に導入した場合の気温データを作成した。

光高反射塗料導入による環境改善効果には、日射受熱量削減による直接の効果と都市熱環境の影響である気温低下による副次的な効果とが存在する。

直接の効果としては、業務ビルでは CO₂ 排出量が 0.6%増加し、一方、住宅では 4.5%増加する。業務ビルにおいて冷房負荷削減量が暖房負荷増加量を上回るにもかかわらず、CO₂ 排出量が増加するのは、業務ビルの冷暖房熱源 COP に起因するものと考えられる。そこで冷暖房熱源別にシミュレーションをおこなったところ、同じ空調負荷にもかかわらず、新しい空調システムのひとつであるビルマルチでは 5.2%の排出減、冷温水発生器でも 1.3%減であるのに対し、旧式のターボ冷凍機+ボイラーの組み合わせでは 6.7%増となることが確認された。さらに、業務ビルの OA 化に伴う影響をシミュレートしたところ、現在の超高層ビル並みの OA 化では 6.7%、さらに従業員 1 人あたり PC2 台の OA 化では 14.5%もの CO₂ 排出減となることが判明した。また、夏期・中間期 (4-10 月) のみ光高反射塗料を導入する方策が実現した場合、業務ビルでは 11.8%、住宅では 5.4% CO₂ 排出量が削減された。

また、光高反射塗料導入による副次的な環境改善効果として、東京圏すべての業務ビルに光高反射塗料を導入した場合、日射受熱量減少のみの評価では、業務ビルの CO₂ 排出量は 0.6%増となるが、気温低下も考慮すると、業務ビル、住宅ではそれぞれ 0.8%増、0.9%増となり、気温低下による環境改善効果が一定量存在することを裏付けた。

このように光高反射塗料の導入は、既存建築物の冷房負荷の削減およびヒートアイランド現象の緩和に効果的であるが、同時に暖房負荷を増大させる。そのため、標準的な業務ビルでは CO₂ 排出量の増大を招き、一律に大規模に導入した場合は、気温低下によりさらに CO₂ 排出量が増大する可能性があることが判明した。一方、新しい空調システムが採用されているビルや OA 化が進展したビルに対しては、効果的に CO₂ 排出を削減することがわかった。これらの特性を考えると、光高反射塗料は、空調システムが新しいビルや OA 化が進展したビルが集中する街区を導入対象とすると効果的な CO₂ 排出削減方策となりうるが、その際、導入対象の建築物への直接の効果のみならず、周辺建築物への副次的な効果をも考慮する必要があると結論づけられる。