

光触媒外装材への散水による屋外熱環境の改善効果 - 土地利用と土地被覆の異なる実在街区を対象とした数値解析 -

Outdoor Thermal Environment Improvement by the Watering System for Cooling

Photocatalyst-coated External Surfaces of Buildings

-Numerical Analysis toward Substantial Urban Area Containing Several Land Uses
and Land Covers-

浅輪 貴史*¹ 何 江*²
Takashi Asawa Jiang He

*¹ エーアンドエー株式会社 A&A Co., Ltd.

*² 東京工業大学大学院総合理工学研究科 Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering,
Tokyo Institute of Technology

Corresponding author: Takashi Asawa, asawa@aanda.co.jp

ABSTRACT

This study implements a numerical analysis on the effects that the watering system to the photocatalyst-coated external surfaces of buildings have on the outdoor thermal environment. The heat transfer model that could predict heat and water balance on the photocatalyst-coated surface with water membrane is introduced into the outdoor heat balance simulation model developed by the authors. Substantial urban blocks in the downtown of Tokyo are selected for the analysis. The simulation results quantify the potential impacts of the cooling system on the outdoor thermal environment improvement in terms of surface temperature distributions, Mean Radiant Temperature (MRT), and the Heat Island Potential (HIP).

キーワード: 光触媒、シミュレーション、散水、蒸発冷却、屋外熱環境

Key Words : Photocatalyst, Simulation, Water Sprinkling, Evaporative Cooling, Outdoor Thermal Environment

1. はじめに

超親水性を示す光触媒（酸化チタン、TiO₂）をコーティングした建物外装材への散水は、効果的に建物外表面を冷却できる手法として近年注目されてきている¹⁾。この蒸発冷却システム（以下、光触媒外装材への散水を行うシステムを光触媒利用蒸発冷却システムと呼ぶ）は、都市の中で多大な面積を有する建物外表面を直接的に冷却できるため、屋内側への熱的效果だけでなく、ヒートアイランド現象の緩和や屋外熱環境の改善効果も期待できる。

これまで、実際の建物や実験住宅等において、散水された面の表面温度の上昇抑制効果が確認されるとともに、室温の上昇抑制や冷房負荷低減効果についても検証されてきている。武田らは、光触媒外装材を用いた実験装置や実験棟において実証実験を行ったうえ、散水面の伝熱モデルを建物熱負荷計算に適用し、冷房負荷低減効果の数値解析を

行っている²⁾⁻⁵⁾。しかしながら、既往研究では屋内側への影響を検討した例がほとんどであり、光触媒利用蒸発冷却システムの屋外熱環境改善効果については未だ十分明らかとされていない。その中で何江らは、上記の実験結果を踏まえ、散水面の表面温度を予測するための伝熱モデルを作成し、筆者らが開発した屋外熱収支シミュレーションツール⁶⁾へと導入した⁷⁾。

そこで本研究では、上記伝熱モデルを導入した屋外熱収支シミュレーションにより、土地利用・土地被覆の異なる種々の街区を解析対象とし、それら建物に光触媒利用蒸発冷却システムを適用した場合の屋外熱環境改善効果を、以下の評価項目により明らかにする。すなわち、街区内の全表面（全ての建物の外表面と地表面）温度分布、屋外生活空間の熱放射場を評価する平均放射温度（MRT）、街区の全表面から大気への顕熱負荷を評価するヒートアイランドポテンシャル（HIP）の3点である。

2. 解析方法

2.1 計算方法

数値解析に用いる屋外熱収支シミュレーションツールにおいては、まず、3D-CADにより街区内の建物、地面、樹木等を再現し、構成材料情報や散水を行う光触媒面を入力する。次に、20cmの均等メッシュ間隔で計算質点化を行い、気象条件を与えることで、全ての表面質点における熱収支（直達日射、天空日射、反射日射（鏡面、拡散）大気放射、周辺地物との長波長放射の授受、対流熱伝達、蒸発潜熱量）と部材断面方向の一次元非常熱伝導を計算する⁶⁾。これにより、時系列の表面温度分布を得る。

散水により水膜で覆われた光触媒外装材表面の伝熱モデルは既往研究⁷⁾で作成されており、以下の通りである。

均一に濡れた散水面においては、図1、表1に示す伝熱モデルが成り立つ。本伝熱モデルでは、水膜と外装材表面のそれぞれに計算質点を設定しており、各質点における熱収支式は式(1)と式(2)で表される。外装面の上部に設置された配管から連続的に散水が行われ、水膜が常に形成されている理想的な濡れ状態を想定する。光触媒外装材を用いる特色は均一な濡れ面が形成される点であり、式上では物質移動係数に反映される。物質移動係数には、既往研究¹⁾³⁾の実験結果等も踏まえ、ルイスの式を適用する（式(3)）、武田ら³⁾が報告する、均一な水膜形成面（光触媒適用面）の物質移動係数の値は、ルイスの式による予測値と近い^{注1)}。対流熱伝達率 c_w は風速の関数として、ユルゲス（Jurges）の式で与える。日射吸収率は、光触媒コーティングの有無によらず、外装材ごとに一定値とする。

鉛直面や傾斜面の場合は、流下に伴う鉛直方向の熱・水分移動が発生するため、上部メッシュからの熱量移動の項（式(1)の右項）を加えている。ここでは、散水量 W_q は蒸発量よりも十分大きいとして与えるため、蒸発による水量の減少分を無視できる^{注2)}。水膜と部材表面との対流熱伝達率 c_w の算出には一般式（式(4)）を用いる。ここに、水膜と壁面の熱伝達は強制対流と見なせ、平板に沿う流れの乱流モデルを適用できると考えられるため、式(5)の実験式⁸⁾を用いてヌセルト数 Nu を求める。このモデルは既往の実験結果³⁾の傾向を再現することが確認されている⁷⁾。

2.2 解析街区の概要

東京都心部の市街地から土地利用が異なる街区（商業業務地、集合住宅地、戸建住宅地）を解析モデルとした。それぞれの土地利用について、建物の階数、構造、密集度、用途が異なる典型的な街区（計12街区）を選定した。表2に解析対象街区の概要を、図2にそれらの3D-CADモデルを示す。なお、3D-CADモデル作成は対象街区の所在地の航空写真や都市計画GISデータ、現地実態調査データをもとに行われた。モデル作成の詳細については既往研究⁹⁾を参照されたい。

商業業務地では、高層ビルで構成される高容積の街区

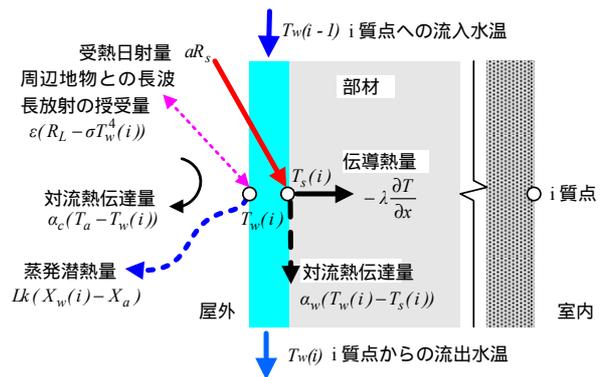


図1 散水面における伝熱モデル

表1 散水面の熱収支式

$$\alpha_c(T_a - T_w) + \varepsilon(R_L - \sigma T_w^4) - \alpha_w(T_w - T_s) - Lk(X_w - X_a) = c_w W_q \frac{\partial T_w}{\partial z} \quad \dots (1)$$

$$aR_s + \alpha_w(T_w - T_s) = Q \quad \dots (2)$$

$$Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{散水面が外装材の場合})$$

$$Q = (1/K_s + 1/\alpha_{ca})^{-1}(T_s - T_a) + \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_a^4) + Lk(X_s - X_a) \quad (\text{散水面が日除けスクリーンの場合})$$

$$k = \frac{\alpha_c}{c_p} \quad \dots (3)$$

$$\alpha_w = Nu\lambda_w / z \quad \dots (4)$$

$$Nu = 0.0296 Re^{0.8} Pr^{0.6} \quad \dots (5)$$

$$\text{ただし, } Re = U_w z / \nu$$

(A1)や、中低層ビルが密集する比較的低容積の街区(A2)など、主に容積率の異なる4街区を選定している。集合住宅街区では、容積率のほかに、光触媒外装材の適用率が街区により異なる設定としている。戸建住宅街区では、主に、建蔽率の違いに加え、光触媒外装材の適用場所（屋根面への適用の有無等）による効果の違いを確認する。光触媒外装材の適用の基準は以下の通りである。

光触媒外装材を適用した面は、効率的な蒸発冷却効果を期待し、基本的に直達日射の当たらない北面を除く各壁面（ガラス窓を含む）と戸建住宅の傾斜屋根面である。また、庇やベランダが付いている壁面では、その外側に光触媒塗布のメッシュ状の日除けスクリーン²⁾を取り付け、スクリーンへの散水方式としている。各階の壁面上端（窓の上部）に設置された散水管から散水し、その階の下端（窓の下部）に設置された集水樋で集水を行うことで、散水面は乾き箇所が生じず、常に全面が水膜で覆われているという理想的な状況を設定する。なお、今検討では最大限の効果を確認するため、上記の条件に適合する面には、全て光触媒利用の散水面を適用することとした。

表 2 解析対象街区の概要

用途	街区番号	街区面積 (㎡)	建物構造	建蔽率 (%)	容積率 (%)	光触媒外装適用率 (%)	街区の特徴
商業業務	A1	10,550	RC 造	32	670	62.5	高層ビル2棟からなる街区。両ビルの間にオープンスペースがあり、ビルの南側の道路沿いに街路樹が植えられている
	A2	3,407	〃	55	508	44.6	広幅員南北道路の東側に面した中高層ビルが密集した街区。東側の道路沿いに街路樹がある
	A3	4,841	〃	59	354	45.4	東西道路の北側及び南北道路の西側に面した中高層ビルが密集した街区。街区内の緑被率は0%
	A4	6,500	〃	40	162	48.4	東西道路の北側に面した低中層ビルが密集する街区。街区の北西側に樹木が植えられている
集合住宅	B1	5,178	RC 造	42	421	32.1	周辺に高木が植栽された高層集合住宅からなる街区
	B2	4,196	〃	41	143	48.3	敷地内に駐車場を有する中低層住宅街区。街区内の緑被率は約6%
	B3	4,083	〃	59	236	48.2	緑被率が低く、密集した中低層集合住宅街区
	B4	4,535	〃	33	132	18.9	高木があり、緑被率が比較的高く、住棟間隔も比較的に広い低層集合住宅街区
戸建住宅	C1	1,070	RC 造	61	168	67.2	RC 造戸建住宅が密集した街区。緑被率は0%
	C2	1,233	〃	51	112	74.0	住棟間隔が比較的に広い RC 造戸建住宅街区
	C3	850	木造	83	166	56.0	緑被は無く、木造戸建住宅が密集した街区
	C4	1,720	〃	47	95	80.8	住棟間隔が比較的に広い木造戸建住宅街区

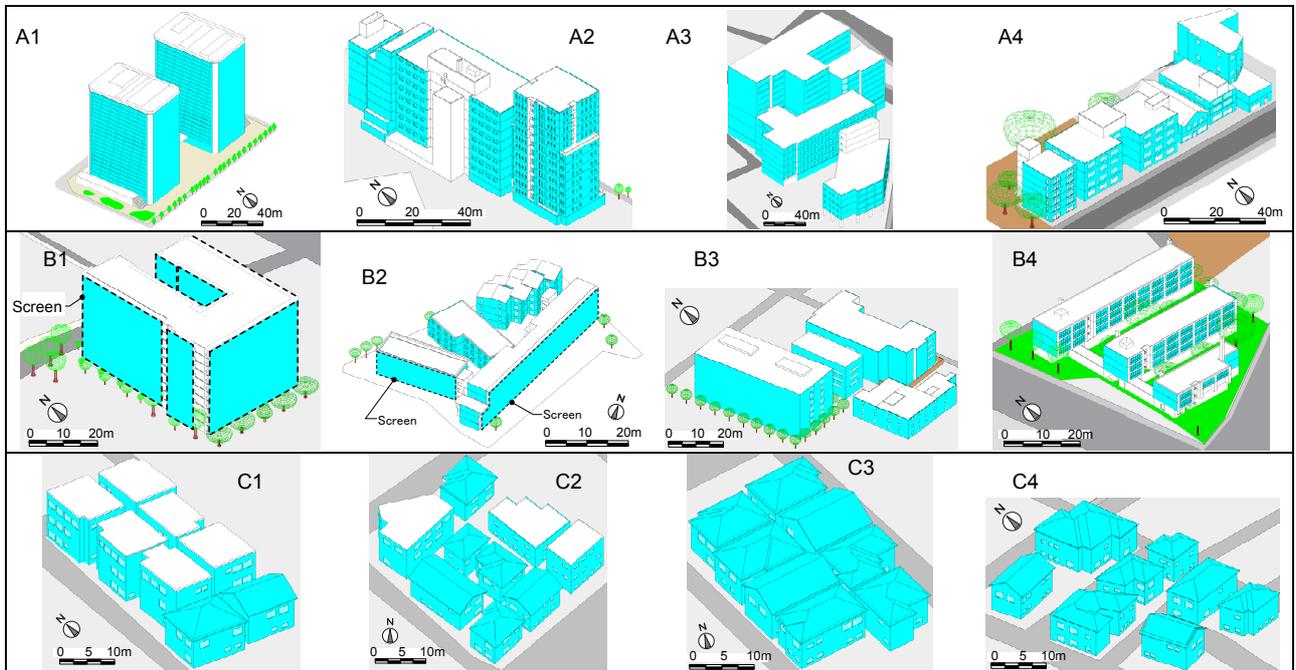


図 2 各街区の 3D-CAD モデルと光触媒外装材設置の概要 (図中の塗り潰し壁面・傾斜屋根面は光触媒外装材の散水面を表す)

表 3 計算に用いた建物及び地面の熱物性値

部位	商業業務ビル	RC 造住宅	木造住宅
屋根	<p>[外気]</p> <ul style="list-style-type: none"> ①押さえコンクリート(50) ②ポリスチレンフォーム断熱材(30) ③アスファルトルーフィング(10) ④コンクリート(150) ⑤半密閉空気層(300) ⑥石膏ボード(12) <p>熱貫流率=0.78W/㎡K 外表面日射反射率=0.3</p> <p>[室内]</p>	<p>[外気]</p> <ul style="list-style-type: none"> ①軽量コンクリート(50) ②ポリスチレンフォーム断熱材(30) ③アスファルトルーフィング(10) ④コンクリート(130) ⑤半密閉空気層(300) ⑥石膏ボード(12) <p>熱貫流率=0.77W/㎡K 外表面日射反射率=0.3</p> <p>[室内]</p>	<p>[外気]</p> <ul style="list-style-type: none"> ①スレート瓦(10) ②アスファルトルーフィング(10) ③合板(12) ④半密閉空気層(40) ⑤グラスウール 16K 断熱材(100) ⑥合板(12) <p>熱貫流率=0.41W/㎡K 外表面日射反射率=0.15</p> <p>[室内]</p>
外壁	<p>[外気]</p> <ul style="list-style-type: none"> ①モルタル(20) ②コンクリート(180) ③ポリスチレンフォーム断熱材(30) ④石膏ボード(12) <p>熱貫流率=0.93W/㎡K 外表面仕上げ:吹付塗膜 外表面日射反射率=0.5</p> <p>[室内]</p>	<p>[外気]</p> <ul style="list-style-type: none"> ①モルタル(20) ②コンクリート(150) ③ポリスチレンフォーム断熱材(30) ④石膏ボード(12) <p>熱貫流率=0.94W/㎡K 外表面仕上げ:吹付塗膜 外表面日射反射率=0.5</p> <p>[室内]</p>	<p>[外気]</p> <ul style="list-style-type: none"> ①窯業系外装材(16) ②空気層(30) ③合板(12) ④グラスウール 16K 断熱材(50) ⑤石膏ボード(12) <p>熱貫流率=0.69W/㎡K 外表面日射反射率=0.63</p> <p>[室内]</p>
その他	<p>窓:熱貫流率 6.34W/㎡K コンクリート舗装地面:日射反射率=0.3 道路(アスファルト舗装):日射反射率=0.15</p>		

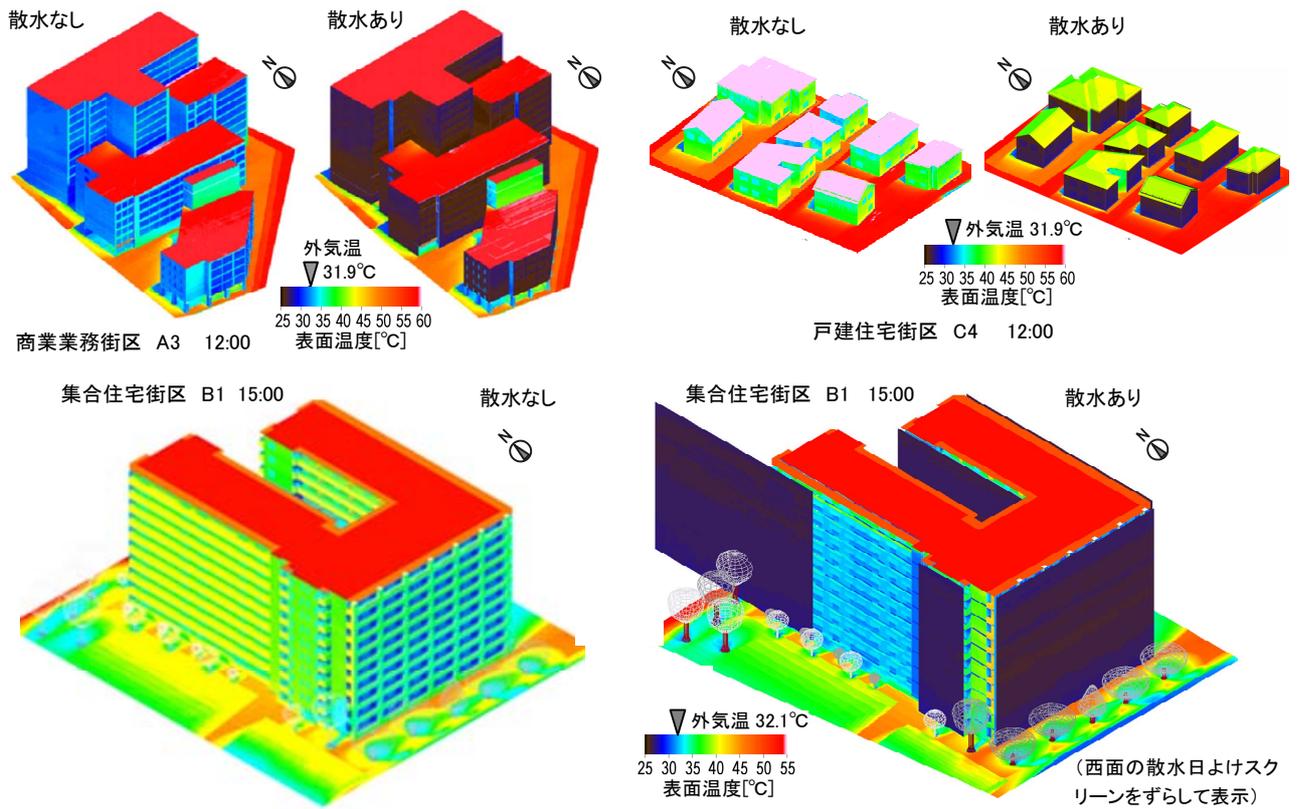


図3 街区 A3, B1, C4 における表面温度分布の計算結果

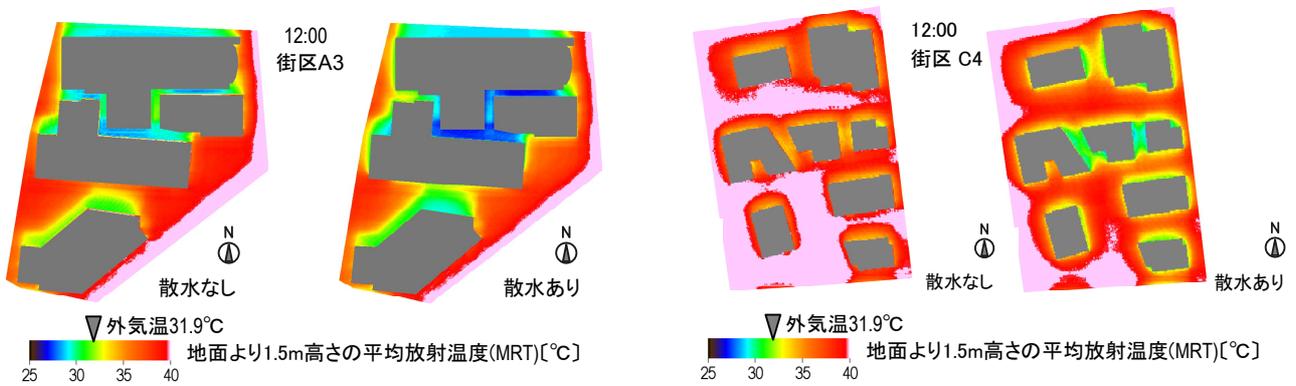


図4 街区 A3 と C4 における地上高さ 1.5m の平均放射温度分布の計算結果

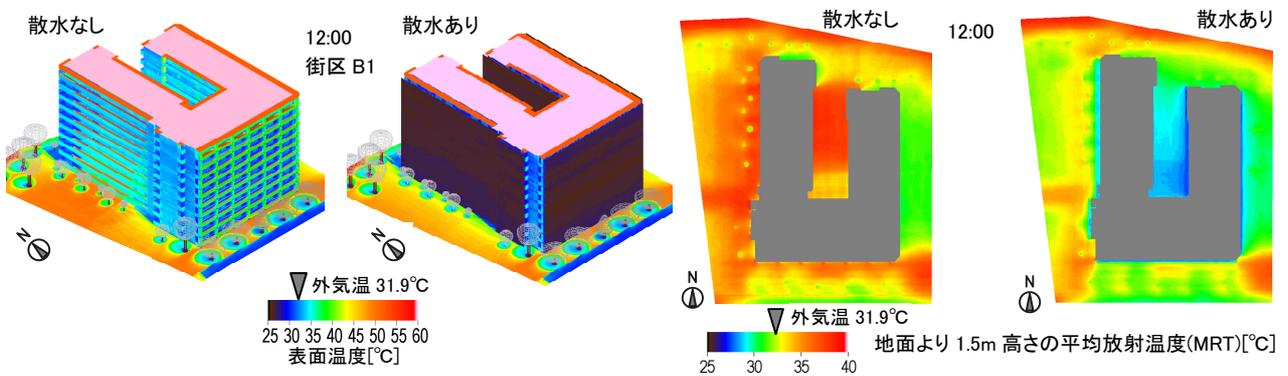


図5 街区 B1 における表面温度分布と地上高さ 1.5m の平均放射温度分布の計算結果

2.3 計算条件

計算に用いた諸条件は表4の通りである。

表4 計算条件

気象条件	東京の夏季晴天日（空気調和・衛生工学会の8月5日の標準気象データを使用する）
冷房時間	商業業務ビル7～24時、住宅19～24時
室温設定	冷房時は26℃、その他は自然室温
散水時間	9～18時
散水量	0.0033kg/(m ² ・s)
水膜厚さ	0.1mm
水膜流速	0.17m/s

暑熱環境の悪化する日中の効果を主に議論するため、散水時間は日中に設定している。散水量は、実測値⁵⁾から全面を濡らせるのに最適な水量 0.0033kg/(m²・s) (0.2L/(m²・min)) を使用し、水膜の厚さは0.1mmとした。また、既往研究¹⁰⁾で報告された流下水の流速の測定結果を参考に、厚さ0.1mmの水膜の流下速度を0.17m/sと設定した。なお、何江らの検討⁷⁾により、流下速度の違いや散水温度は、蒸発冷却効果には大きく影響を及ぼさないことが確認されている。

計算では、4日間の助走計算を設定し、5日目の結果を日周期定常解として採用した。助走計算中も、同時間帯に散水の設定を行っている。

3. 計算結果と考察

3.1 街区内の表面温度分布

商業業務街区、集合住宅街区、戸建住宅街区から各1街区（A3、B1、C4）を例に取り上げ、表面温度分布の計算結果を図3に示す。また各街区の日積算蒸発量を表5に示す。

正午12時における街区A3（商業業務街区）の表面温度分布を見ると、散水された表面の温度は散水無しの場合よりも数℃低下しており、その時の外気温（31.9℃）を下回っている。適用場所によって、表面温度の低下の度合いが異なっているのが特徴である。これは放射収支量の違いによる。午後になると、15時の街区B1（集合住宅街区）では、散水日よけスクリーン無しの場合、西日を受けた壁面とベランダ手摺部分の表面温度が40℃以上に上昇している。これに対して、日除けスクリーンの設置とそこへの散水により、壁面の表面温度が30℃程度に維持されている。陸屋根面は、散水による水膜形成が困難なため、散水領域に設定しておらず、表面温度は高温のままである。表5より、これら屋根散水なしの建物では、単位散水面積あたりの平均日積算蒸発量は1.5kg/(m²・day)前後である。

戸建住宅街区C4では、散水なしの場合、12時において傾斜屋根の表面温度が60℃以上に高温化しているが、屋根散水により表面温度は25℃前後低下し、約35℃に抑えられている。この温度低下幅は各部位の中で最も大きい。これら

表5 各街区の蒸発量

街区	光触媒適用散水面積[m ²]	日積算蒸発量	
		街区全体 [kg/day]	単位散水面積あたり [kg/(m ² ・day)]
A1	15713	24398	1.55
A2	7170	8675	1.21
A3	5710	8335	1.46
A4	4772	7072	1.48
B1	5685	9084	1.60
B2	2664	5503	2.07
B3	4205	6554	1.56
B4	1198	1528	1.28
C1	2092	4238	2.03
C2	1725	5101	2.96
C3	2174	7409	3.41
C4	2489	12105	4.86

屋根散水ありの建物では、平均日積算蒸発量は3～5kg/(m²・day)と多い。建蔽率が低く、住棟間隔が広い街区C4で、単位散水面積あたりの蒸発量が最大を示している。建物が密集している街区では、住棟間には日影が多く形成されているが、それら日影部の壁面においても、散水された箇所は冷却効果が発揮され、表面温度は気温よりも低下している。

3.2 屋外生活空間の平均放射温度分布

壁面温度の低下による屋外生活空間の熱放射環境改善効果を評価するために、地上高さ1.5mの平均放射温度(MRT)分布を算出する。建物外装面の冷却効果の直接的な影響を評価するために、日射の影響を含まない長波長放射領域のMRTである。図4、5に街区A3、C4、B1におけるMRT分布の算出結果を示す。

同図に示すように、壁面の近傍におけるMRTは散水有りの方が低いことが確認できる。また、住棟間や囲み空間においてもMRTの低下は見られ、気温よりも低いMRTの空間が広範囲に形成されている。光触媒外装材への散水によるMRTの低下幅は、大きいところで5℃程度であり、効果の高さが示される結果である。

3.3 街区から大気への顕熱負荷(HIP)の特徴

散水の有無が街区全体から大気への顕熱負荷に与える影響を、ヒートアイランドポテンシャル(HIP)^{注3)}を評価指標として確認する。街区A3、B1、C4のHIPの日変化を、散水有無のそれぞれについて図6に示す。

商業業務街区(A3)では、散水無しの場合、日中のHIPは最高で22℃にまで上昇しており、夜間のHIPも5℃程度と高い。散水により日中のHIPは最高で約10℃となり、散水無しの場合に比べ大気への顕熱負荷が半減することを示している。夜間には、散水有りの方が1℃程度低い。これは、日中の蓄熱量の差の影響である。集合住宅街区(B1)では、外壁面の近傍に日除けスクリーンを設置し、そこへの散水を行うことにより、日中のHIPの最高値は14℃から5℃程度にまで下がっている。戸建木造住宅街区(C4)では、散水無しの場合、HIPは日中の最高値が35℃以上となっているが、

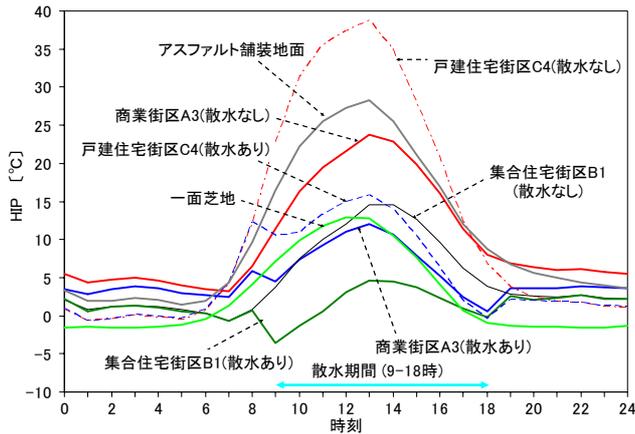


図6 街区 A3, B1, C4 の HIP の日変化

建物の熱容量が小さいため、夜間になると 0 以下に低下している。日中散水により、HIP の最高値は約 15 にまで低下している。

表 2 の全街区について散水有りとしの HIP の差を算出した結果を図 7 に示す。同図より、街区によって HIP 低下の効果に大きな差が生じているが、多くの街区で大幅な低下が確認できる。日中、散水による HIP の低下が大きいのは、高温化する傾斜屋根面も散水対象としている戸建住宅街区 C2、C4、C3 であり、低下幅は 22~24 である。屋根面を散水対象とすることが、大気への顕熱負荷を低減するのに効果的であることが分かる。

図 8 は、表 2 の全街区について、13 時の散水有無の HIP の差と光触媒外表面の適用率（建物全表面積に対する光触媒適用面積の割合）との関係を示したものである。同図より、全体的に光触媒適用率の増加と共に HIP の低下幅は大きくなる傾向が示されている。ただし、同程度の光触媒適用率でも街区によって HIP の低下幅に違いが見られている。例えば A3 街区と A4 街区では、6 の違いが生じている。

次に街区の特徴との関係を見るため、図 9、10 にそれぞれ容積率と建蔽率を横軸にとり、散水による HIP 低下の効果との関係を表記する。尚、図 8 で関係が見られた光触媒外装材の適用率も同図に記載する。図 9 より、光触媒適用率が高い戸建住宅 C 街区を除くと、容積率との関係に特に特徴は見られない。一方、図 10 では、光触媒適用率が高い C2、C4 街区を除くと、建蔽率が高い街区ほど、散水による HIP 低下の効果が高い傾向が確認できる。これは、散水なしの場合の HIP 値が、建蔽率とともに高くなる傾向が見られるためであり、散水による HIP の低下幅が建蔽率の高い街区で大きくなった結果である。A1 街区で光触媒適用率が高いのに HIP の低下幅が小さい理由は、表面温度低下の効果の小さい窓ガラスの散水面が多いためである。屋根面を散水対象としていない C1 街区は、戸建住宅街区の中で最も効果が低い。建物構造の影響については、木造建物の街区が 2 街区のみであるため、明確な傾向は確認されない。その他の街区にも効果にばらつきが見られるが、これらは、適用面の方位や位置、材料、隣接建物との位置関係（日陰

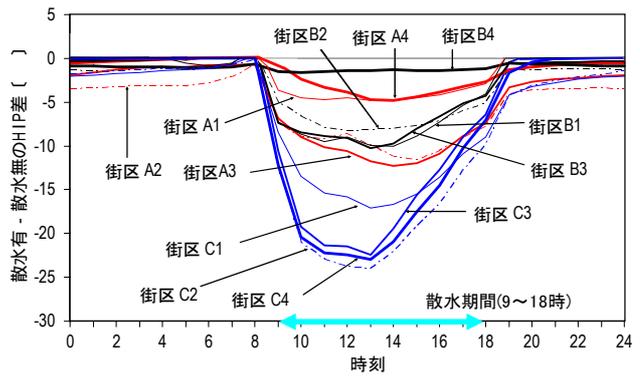


図7 各街区の散水有無の HIP 差の日変化

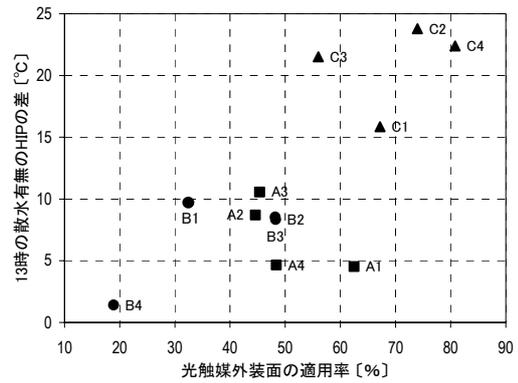


図8 散水有無の HIP 差と光触媒外表面の適用率の関係

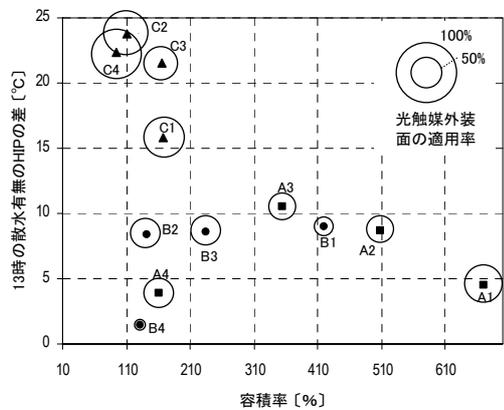


図9 散水有無の HIP 差と容積率との関係

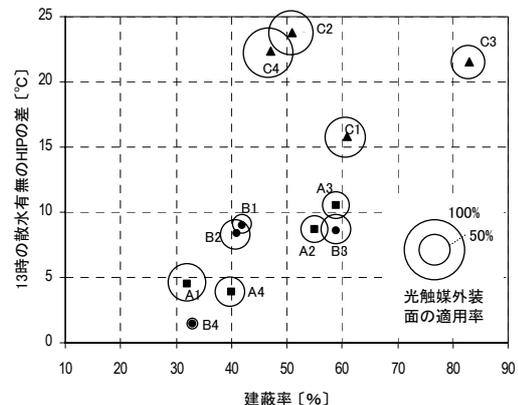


図10 散水有無の HIP 差と建蔽率との関係

の影響)等が影響しているものと考えられる。本報告では、街区によって、散水による HIP 低下の効果が大きく異なり、街区ごとの特徴が見られることを示したが、今後、空間形態や構成材料と、散水の効果との関係を、より詳細に分析してゆく予定である。

4. まとめ

建物に光触媒利用蒸発冷却システムを適用した場合の屋外熱環境改善効果を明らかにするために、実在の都市街区を対象に数値解析を行い、建物の外表面の冷却効果、屋外空間の熱放射環境の改善効果、街区から大気への顕熱負荷の低減効果に関する知見を得た。

- 1) 実在市街地から商業業務街区、集合住宅街区、戸建住宅街区の計 12 街区を選定し、光触媒利用蒸発冷却システムを各街区モデルに適用した。
 - 2) 作成した各街区モデルにおいて、散水を行った場合の表面温度を数値解析により予測した。屋根面や壁面の適用場所による表面温度低下の効果の違いが確認された。
 - 3) 屋外生活空間の平均放射温度 MRT の空間分布を算出した結果、散水を行った壁面近傍に加え、それら面に囲まれた住棟間や建物の中庭空間においても MRT の低下が確認され、熱放射環境の改善に寄与することが示された。
 - 4) 本蒸発冷却システムにより、大気への顕熱負荷の指標であるヒートアイランドポテンシャル (HIP) が大幅に低下する街区が確認された。特に、高温化する傾斜屋根面も散水対象としている戸建住宅街区で高い効果を示した。
 - 5) HIP 低下の効果は光触媒適用率や建蔽率の増加と共に大きくなる傾向が示された。しかしながら、街区によって効果にばらつきが生じており、空間形態や構成材料、散水場所等が影響していることが示唆された。
- 得られた解析結果は、今後の本蒸発冷却システムの実用化や本システムを用いた屋外空間設計を進めるにあたり、有用な設計資料として利用できると考えられる。今後はさらに、適用場所の違い等の影響を詳細に分析するとともに、空調負荷低減に伴う排熱量削減の効果と温湿度場への影響についても検討してゆく予定である。

謝辞

本研究は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) からの受託研究 (題名: 光触媒利用放熱部材による都市空間冷却シミュレーション、東京工業大学梅干野研究室) の一環として行われたものである。東京工業大学大学院教授 梅干野晃先生からは、研究全般への指導を受けた。ここに記して深謝の意を表す。

記号表

a	: 光触媒外装部材表面の日射吸収率 [-]
R_s	: 光触媒外装部材表面への入射日射量 [W/m^2]
R_L	: 水膜表面への長波長放射量 [W/m^2]
c	: 水膜表面の対流熱伝達率 [$W/(m^2 \cdot K)$]
w	: 水膜と部材表面の対流熱伝達率 [$W/(m^2 \cdot K)$]
ca	: スクリーン裏面の対流熱伝達率 [$W/(m^2 \cdot K)$]
	: 水膜の長波長放射率 [-]
	: ステファンボルツマン定数 [$W/(m^2 \cdot K^4)$]
L	: 水の蒸発潜熱 [J/kg]
Q	: 伝導熱量 [W/m^2]
w	: 水の伝導率 ($0.61W/(m \cdot K)$ 、 $300K$ の時)
K_s	: スクリーンの熱コンダクタンス [$W/(m^2 \cdot K)$]
T_a	: 外気温 [K]
T_s	: 光触媒適用部材の表面温度 [K]
T_w	: 水膜の温度 [K]
T_f	: 外壁表面温度 [K] (日よけスクリーン使用時)
$T_w(0)$: 散水温度 [K]
W_q	: 散水量 [$kg/(m \cdot s)$] (水平方向の単位長さあたり)
c_w	: 水の比熱 [$J/(kg \cdot K)$]
c_p	: 湿り空気の比熱 [$J/(kg \cdot K)$]
k	: 物質移動係数 [$kg/(m^2 \cdot s(kg/kg(DA)))$]
X_a	: 外気の絶対湿度 [$kg/kg(DA)$]
X_w	: 水膜温度の飽和絶対湿度 [$kg/kg(DA)$]
X_s	: 表面温度に対する飽和絶対湿度 [$kg/kg(DA)$]
U_w	: 水膜の流速 [m/s]
Nu	: ヌセルト数 [-]
Re	: レイノルズ数 [-]
Rr	: プラントル数 [-] (5.85 、 $300K$ の時)
	: 水の動粘性係数 ($0.857 \times 10^{-6} m^2/s$ 、 $300K$)
z	: 散水端からの垂直方向距離 [m] ($z \geq 3m$ (階高))
i	: 質点(メッシュ)の番号 (1)

注記

- 注1) 散水が不十分な条件では均一な水膜が形成されないため、この物質移動係数は適用できない。
- 注2) 低風速日を解析対象とし、風による水分の飛散はないものとする。
- 注3) HIP は、梅干野らが提案した指標であり、街区内の全表面から大気側に対して与える顕熱負荷を温度の次元で表したものであり、下式で定義される。弱風日を計算対象とし、風速と気温の空間分布は一様と仮定する。図 6 には、参考のために平坦なアスファルト地面と芝地の HIP も示している。

$$HIP[] = \frac{\int_{全表面} (T_s - T_a) ds}{A}$$

T_s : 表面温度 [] T_a : 外気温 []
 ds : 微小面積 [m^2] A : 街区の水平投影面積 [m^2]

参考文献

- 1) 長沼宏ほか、超親水性光触媒を施した外壁表面の水膜形成による冷却効果に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第 596 号(2005)、pp.109-115
- 2) 武田仁・胡震洪、光触媒利用外付け日除けスクリーンによる建物温熱環境評価、日本建築学会技術報告集、第 22 号(2005)、pp.285-289
- 3) 武田仁・安藤邦明、光触媒外装材を用いた実証実験棟の温熱環境実測、日本建築学会環境系論文集、第 606 号(2006)、pp.31-36
- 4) 武田仁・井上賢治、光触媒外装材散水システムによる戸建住宅の冷房負荷低減効果に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第 606 号(2006)、pp.37-42
- 5) 武田仁・宮道智嗣、光触媒外装部材部位実験による物質移動係数の測定とシミュレーション、日本建築学会環境系論文集、第 607 号(2006)、pp.29-36
- 6) 梅干野晁・浅輪貴史・中大窪千晶、3D-CAD と屋外熱環境シミュレーションを一体化した環境設計ツール、日本建築学会技術報告集、第 20 号(2004)、pp.195-198
- 7) 何江・梅干野晁、光触媒外装建材を用いた蒸発冷却システムの都市・建築熱環境改善効果 第 1 報 - 数値シミュレーションによる評価手法に関する検討、空気調和・衛生工学会論文集、第 124 号(2007)、pp.19-26
- 8) 空気調和・衛生工学会編、空気調和・衛生工学便覧、第 巻(1991)、pp.171-172、オーム社
- 9) 梅干野晁・浅輪貴史・村上暁信・佐藤理人・中大窪千晶、実在市街地の 3D-CAD モデリングと夏季における街区のヒートアイランドポテンシャル 数値シミュレーションによる土地利用と土地被覆に着目した実在市街地の熱環境解析 その 1、日本建築学会環境系論文集、第 612 号(2007)、pp.97-104
- 10) 絵内正道ほか、冷却流水面による大規模吹抜け空間の調湿・除湿(第 1~3 報)、空気調和・衛生工学論文集、72(1999)、pp.47-56、80(2003)、pp.37-43、95(2004)、pp.25-33

(Received July 4, 2007, Accepted November 9, 2007)