

ヒートアイランド現象緩和に向けた都市空間・建築材料の開発

湯浅 昇 (建築工学科) 梅干野 泉 (東京工業大学)

1. はじめに

ヒートアイランド対策大綱¹⁾の策定に見られるように、夏季の熱中症患者や熱帯夜発生日数の増加など、悪化する都市熱環境への対策が社会的に求められている。ヒートアイランド現象の主要因は、緑などの自然被覆が失われ、建物や舗装などの人工被覆で覆われるといった都市域の地表面の改変と、人間活動による人工発生熱だと指摘されている。ヒートアイランド現象を緩和する手法については、これまで多くの研究がなされている^{2,3)}。その手法の全体像を図1に示す。

このような中、本研究では、地表面被覆つまりは都市・建築の外皮（表面材、外装材）に着目した上で、植物や土壌がもともと持っている蒸発冷却効果の利用といった生命工学的な観点より、ヒートアイランド現象を緩和し環境負荷が少なく快適な居住環境づくりのための建築材料の開発とそれを適用した都市空間の創出に取り組んでいる。本報では、今年度行った 1) 雨水利用と毛細管吸水に着目した蒸発冷却舗装システムの開発、2) 人工被覆面に付着・生育するコケ植物の実態調査、3) 壁面緑化の維持管理および環境影響評価の 3 テーマについて、それぞれの研究経過および成果を報告する。

2. 雨水利用と毛細管吸水に着目した蒸発冷却舗装システムの開発

2-1. 研究の概要

都市熱環境改善策の一つとして、蒸発冷却による表面温度低減を期待する保水性舗装が注目され、国土交通省の「環境舗装東京プロジェクト」⁴⁾を始めとした多くの研究・開発が進行している。しかしながら、蒸発冷却効果の持続期間が短い、適用場所の検討が十分でない、などの課題が残る。

これまで筆者らは、雨水の貯留と舗装体の毛細管吸水に着目した「蒸発冷却舗装システム」の基本構成を提案し、屋外実験を通してその有効性を確認してきた(図 2、表 1)⁵⁾。今年度は、引き続き本舗装システムの実用化を目指し、舗装体の材質、形状について検討を進め、その蒸発冷却性能を確認した。また、その中で課題となっているセメント系舗装ブロック表面での白華による蒸発冷却性能の低下と、そのときのブロックの細孔径分布について分析した。

2-2. 研究経過および成果

図 3 に保水量の確保や透水、毛管吸水を考慮した舗装ブロックの形態の提案したものを示す。また、実際のブロックの作製や施工を考慮した舗装断面として図 4 のような試験体を作製し、夏季実

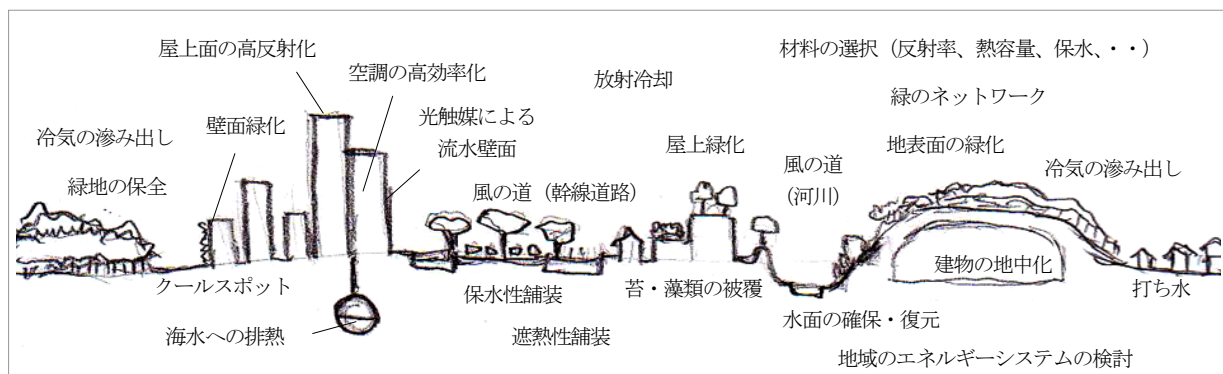


図1 熱環境に配慮した快適な居住環境づくりに向けた手法の全体像

測を行った。止水層およびアーチ型ブロックを用いた舗装システムでは、夏季晴天日で2週間程度の蒸発冷却効果の持続期間を確認した。これは、過去の気象特性より考えて、夏季全期間のほとんどにおいて、表面が乾くことなく、蒸発冷却効果を持続できることとなる。これは、このシステムの有効保水量（表面が乾燥し蒸発効率が下がるまでに蒸発に使われる保水量）が大きいことによる。

エイジング（経年変化）の課題として、ほぼ常時、舗装ブロックの下部から上部へ水が移動し、蒸発が継続される本舗装システムにおいては、ブロック表面で白華（炭酸カルシウム等の析出）が生じ、数ヶ月で蒸発冷却性能が低下することが確認されている（図5、6）。1年間の暴露試験を行った舗装ブロックについて、今年度は、その細孔径分布を測定し分析した。結果の一部を図7、8に示す。図7より、鉛直方向に着目した細孔径分布の変化として、未使用状態の山砂配合ブロックでは、上～下層とも細孔径分布に大きな差はないが、1年間の暴露後では、細孔直径 $10\mu\text{m}$ 以上の細孔量において、下・中・上層の順で減少が大きいことが分かる。これより、下方に行くほど透水性が低下していることが示唆される。また山砂、瓦配合

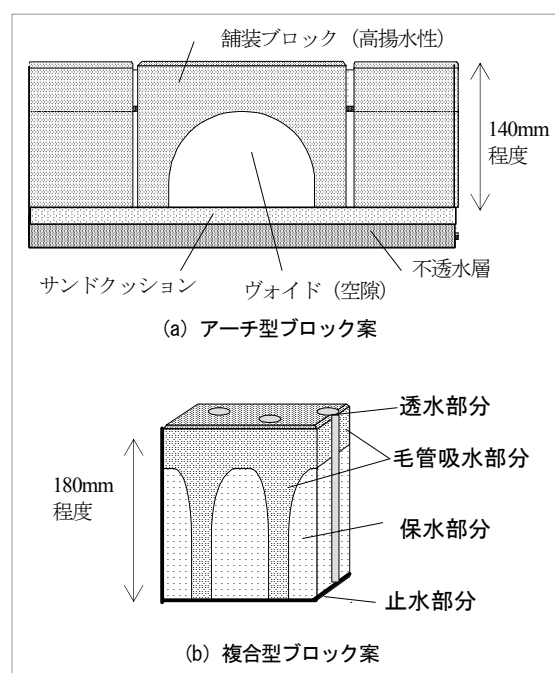


図3 保水と毛管吸水をコントロールする舗装ブロックの形態の提案

ブロックの上～下層とも、毛管水域の細孔量はそれほど大きく低下していないことが確認された。つまり白華は今回の測定方法（上層試料の厚さは10mm）では捉えきれない表面の数mm程度の薄い膜状であり、何らかの方法でその膜（水みちの遮断

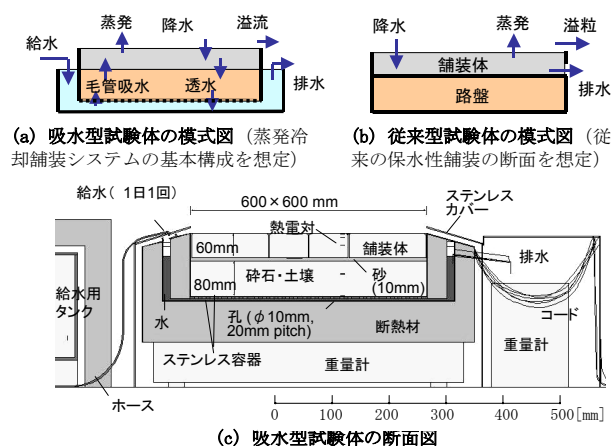


図2 屋外実験試験体の概要

表1 本研究で用いた舗装ブロック（セメント系：山砂配合）の概要

項目		備考
ブロック単体の寸法	200×100×60 mm	ブロックの厚さは、歩道等に使用される一般的なインターロッキングブロックと同一
絶乾状態の比重	2.0 g/cm ³	
空隙率	23%	ブロック中央部分より5mm角試料を切り出し、冷凍乾燥機にて乾燥させ、水銀圧入法ポロシメータ（micromeritics社製、AUTOPORE2 9220）により測定
細孔比表面積	3.4 m ² /g	
平均細孔直径	130nm	
絶乾状態の日射吸収率	80%	分光放射計（Analytical Spectral Devices, Inc 製、FieldSpec Pro FR）（入射角45°）にて測定（測定方法の詳細と表面濡れ率による日射吸収率の変化特性については次報で報告する）
飽和含水状態の日射吸収率	92%	
吸水速度	15 mm/min	ブロック単体を薄く水を張った容器に置き、表面が完全に濡れるまでの時間を計測し算出
吸水高さ	200 mm	ブロックを重ね、最下面より吸水させた場合における、吸水高さを測定（接触抵抗緩和のため、ブロックの間には薄い脱脂綿を挟んだ）

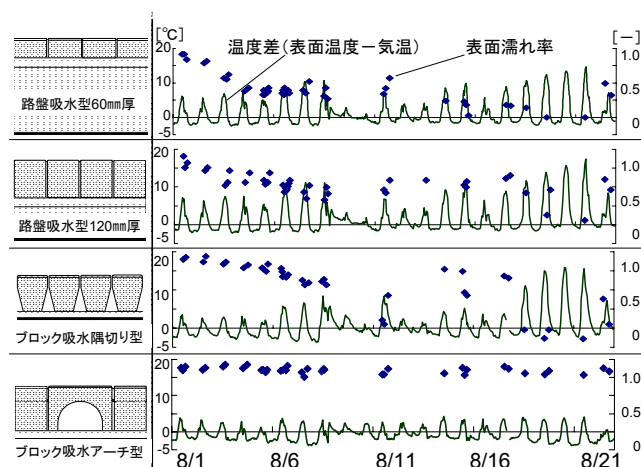


図4 各種舗装システムにおける[表面温度－気温]と表面濡れ率の推移（2006年8月）

層)を除去できれば、蒸発冷却性能は回復する
と考えられる。

来年度以降は、細孔径分布と毛管吸水性能、
そして蒸発冷却性能との関係をより分析すると
ともに、ここでの知見を踏まえ、熱・水環境調
整機能を有する多孔質コンクリートの開発に取り
組む。

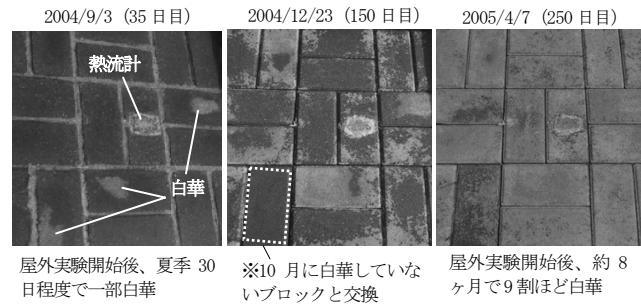


図5 蒸発冷却舗装システムにおける白華の進行
(ブロック下面に強制給水する吸水型試験体：山砂配合ブロック)

3. 人工被覆面に付着・生育するコケ植物の実態調査

3-1. 研究の概要

国歌で「苔の生すまで」と詠われるように、日本はコケ植物の生育に適した土地である。その結果、コンクリートを始めとする人工被覆面にコケ植物が付着・生育する例が散見される。本研究は、人工被覆面に付着・生育するコケ植物の実態を把握し、ヒートアイランド緩和効果、そしてクールスポット形成の可能性を探るものである。

人工被覆面に付着・生育するコケ植物について、これまで筆者らは、その生育条件の要素として、日当たり(日射量)、湿潤度合い(含水率)、アルカリ度(pH)などを挙げた^{6,7)}。今年度はそれらを踏まえた上で、人工被覆面に付着するコケについて、その場所の空間形態に着目して生育条件を考察した。また、コケ緑化を可能とする建築材料の開発およびコケ緑化マニュアルの作成に向けて、人工被覆面に生育するコケ植物の熱・水収支および植物種について調査した。

3-2. 研究経過および成果

図9に本学構内において作成したコケ分布マップ(調査期間：2006年6-7月)を示す。その中で

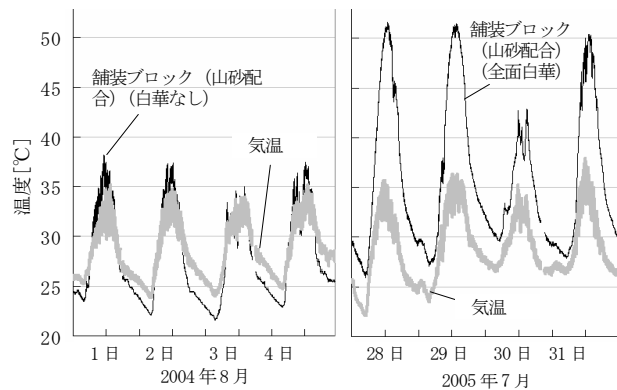


図6 白華の有無によるブロック表面温度比較
(ブロック下面に強制給水する吸水型試験体にて測定)

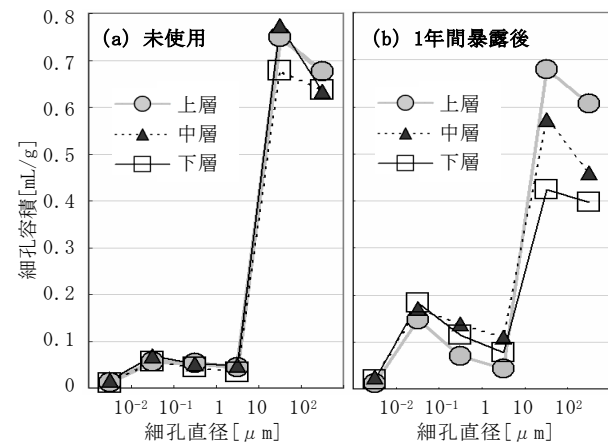


図7 鉛直方向に着目した細孔径分布の変化
(山砂配合ブロック：吸水型試験体にて暴露)

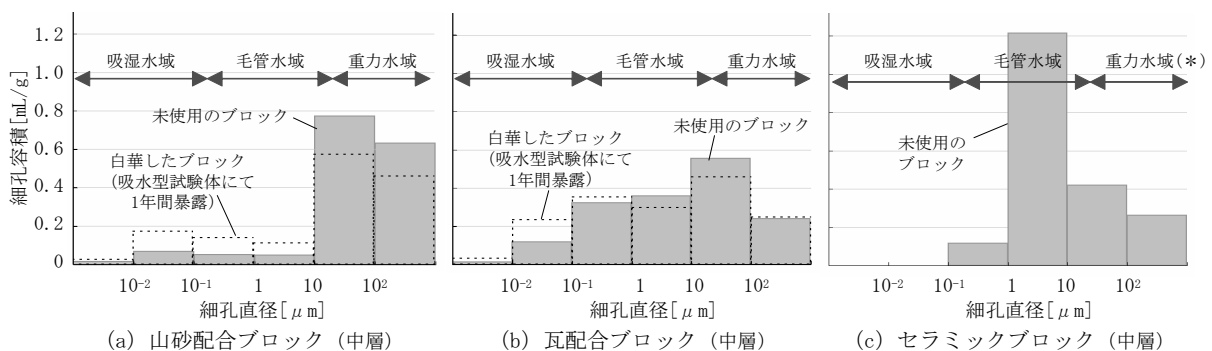


図8 各種舗装ブロックの細孔径分布と1年間暴露後の変化(*毛管水域の細孔径範囲は土壌分野の既往研究より)

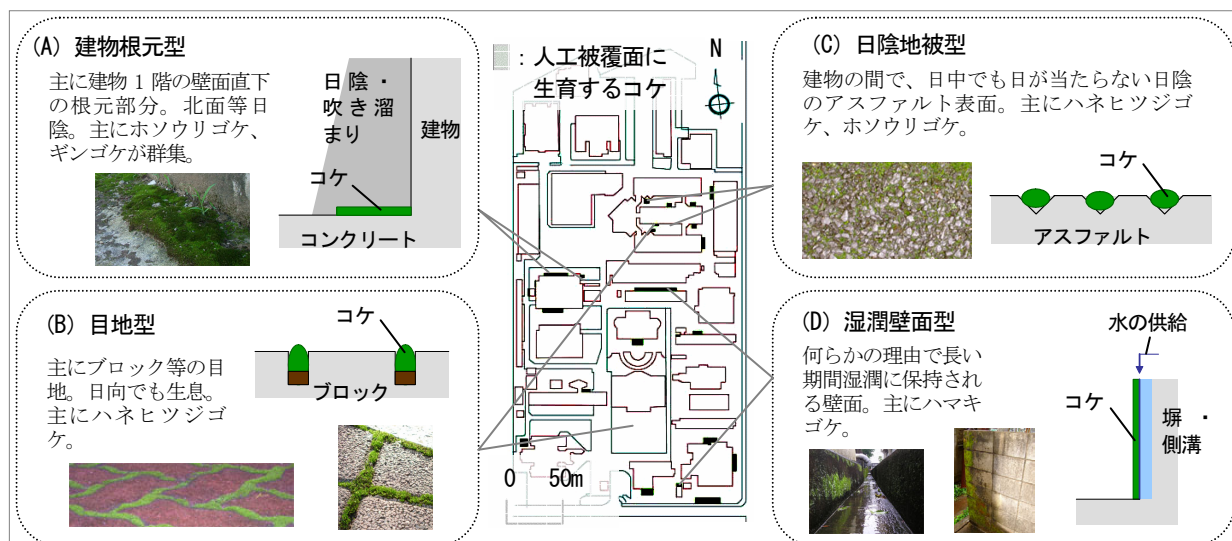


図9 本学津田沼キャンパスにおけるコケ分布マップ（調査期間：2006年6-7月）と典型的な生育形態

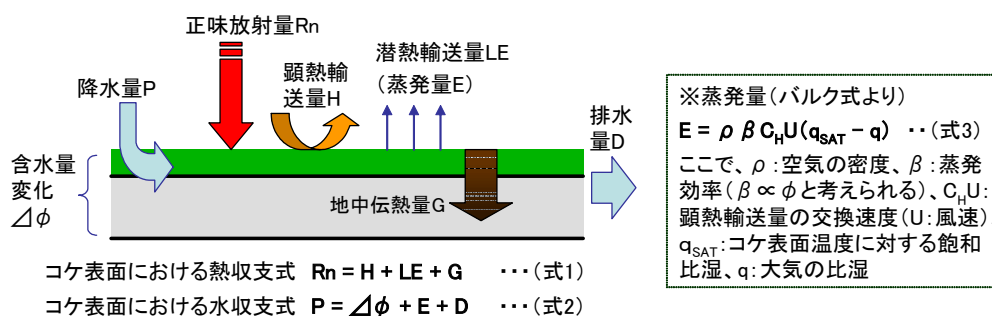


図10 コケ表面における熱・水収支の概念

典型的な生育形態は以下の4つに位置付けられた。

- A) 建物根元型：建物壁面の根元（北側等の日陰）のコンクリート面に帯状に群集。見られたのは主にホソウリゴケとギンゴケ。
- B) 目地型：舗装ブロック等の目地に生息。日向でも確認された。主にハネヒツジゴケ。
- C) 日陰地被型：建物の間で、日中でも日が当たらないアスファルト面に生息。ハネヒツジゴケ、ホソウリゴケが確認された。
- D) 湿潤壁面型：雨水排水等で長い期間湿潤に保持される壁面に生息。主にハマキゴケ。

コケ表面の熱・水収支の概念図を図10に、コケの付着したブロック塀の熱画像を図11に示す。図11に示す塀は上方に雨樋があり、長く湿潤に保持される部分にコケが生育している。雨樋直下のブロックは他のブロックより低温であるが、コケの付着部分はさらに低温であることが確認できる。

コケによる緑化を可能とする建築材料および、

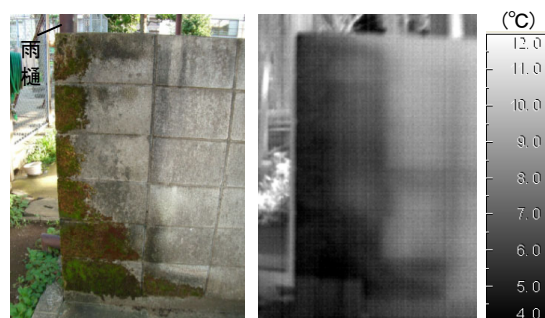


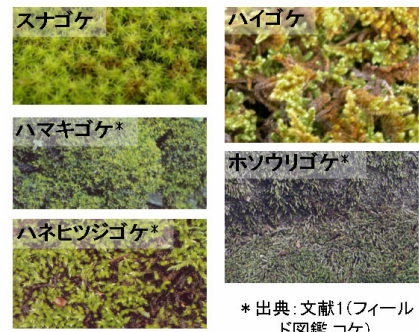
図11 コケの付着したブロック塀の熱画像
(2006年12月晴天日12時：北面より撮影)

その適用に際してのコケ緑化マニュアルを開発するためには、①地域性（気候特性）、②適用場所（生育形態および美観性、安全性）、③材料（システム）、④コケの種類についての検討が必要となる。その第一段階として、文献⁸⁻¹⁰⁾より人工被覆面に生育できる主なコケ植物とその特徴を整理した（表2）。これにより、図9に示されたような生育形態と合わせて、緑化に適したコケを選定することが可能となると考えられる。

表2 人工被覆面に生育可能と考えられる主なコケ植物とその特徴

耐乾性	壁面	土	コケの種類	好日性	備考
強い	可能	不要	スナゴケ	◎	生命力が強く、屋上緑化にも使われる
			ハイゴケ	○	日当りの強いところでも湿度が高ければ育つ
			ハマキゴケ	◎	壁面にもよく育つ
			ホソウリゴケ	◎	塀の根元、側溝など、身近に多く存在する
			フデゴケ	◎	日陰に弱い
			ヘラハネジレゴケ	○	日当りの良いコンクリート上にも生育
中程度	困難	不要	ネジクチゴケ	○	日当りの良いコンクリート上にも生育
			ギンゴケ	◎	石やコンクリートの表面に直接生育可能
弱い	困難	必要	ハネヒツジゴケ	○	
			ヤノネゴケ	○	
			ハリガネゴケ	△	半日陰を好む・屋根の上に見られることもある
			ゼニゴケ	○	他のコケや草の生育を阻害して嫌われることもある

(※文献1-3等より作成)



* 出典: 文献1(フィールド図鑑 コケ)

4. 壁面緑化の維持管理および環境影響評価

4-1. 研究の概要

壁面緑化については、これまで数多くの研究がなされている^{2,3)}。しかしながら、植物の生育に関する維持管理の面で課題が多く、広く普及するに至っていない。本研究では、本学津田沼キャンパス38号館と既存の緑化建物（千葉県船橋市）を対象に、実際の施工や維持管理への考察をしつつ、緑化が周囲の熱環境に与える影響について分析を行った。また、生育不良である本学38号館の壁面緑化について、その再生に向けた検討を行った。

4-2. 研究経過および成果

維持管理が良好な状態にある壁面緑化建物（船橋市）を対象に実測調査を行った。図12に実測結果の一例を示す。赤外線カメラ画像と熱電対による表面温度より、緑化面あるいは植物（ナツツタ）裏の壁面の温度が低く保たれていることが確認された。

本学38号館西面の壁面緑化の登攀形式は壁面下垂型（支持材あり）が採用され、植物はヘデラ・カナリエンシスとツルニチニチソウ（ともに常緑）が使用されている。表3に壁面緑化の登攀形式と適応する植物、またその特徴を示す。下垂型植物は一般的に生育の遅い植物が多いが、採用された2種類の植物に関しては、生育速度が速く、特徴から考えても耐候性・繁殖力に優れ、植物に問題はないと考えられる。現状の38号館の壁面緑化において、生育不良の最大の原因は水分不足、つまり、保水量の限られたプランターにより、必要な水分量を供給できないことだと考えられる。そこで、図13に示すような雨水+水道水の散水システムによる壁面緑化再生案の提示を試みた。ま

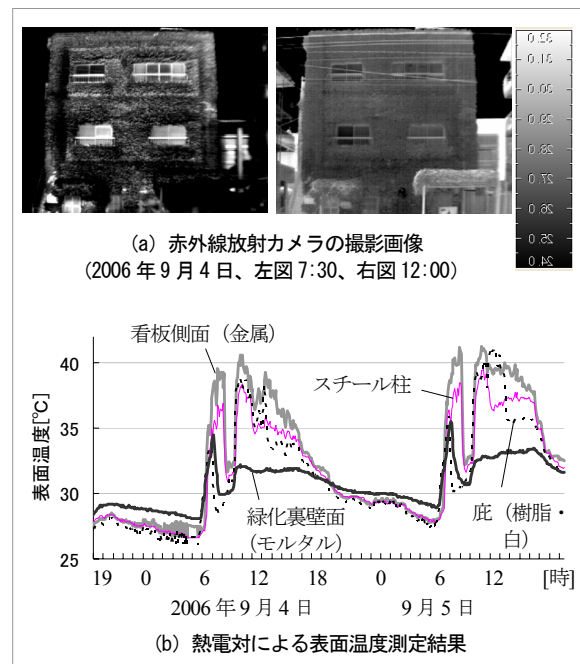


図12 壁面緑化（船橋市）の実測結果の一例

た、これまで行った調査・検討を踏まえ、雨水貯留と毛细管吸水を利用した保水性舗装、ブロックの目地や日陰空間へのコケ緑化(表2より種類の選定)も同時に考慮した。来年度以降、この再生案および実際の再生施工についての検討を深める。

5. まとめ

得られた結果、知見は以下の通りである。

- 1) アーチ型ブロックを用いた蒸発冷却舗装システムでは、雨水利用による保水・貯水により、夏季の全期間中、蒸発冷却効果を持続できる可能性が示された。また、蒸発冷却舗装システムの設計条件として、有効保水量（表面が乾燥するまでに蒸発に使われる保水量）の概念を提示した。
- 2) 蒸発冷却舗装システムは、白華により蒸発冷却性能が低下するが、そのときの舗装ブロック全体および上層厚さ10mmの部分においても、毛管水域

表3 壁面緑化における登攀形式と適応する植物の分類表 (文献等を参考に作成)

	形式	特徴	代表的な植物名	性質	耐日射性	耐陰性	耐寒性	耐乾性
植物登攀式	壁面登攀型	壁に付着型の植物を植栽し、植物の登攀力を利用して緑化する方法。設置、維持管理とも比較的安価で、最も普及しているタイプ。植物特性、壁表面の素材等を踏まえた植物の選択が必要。	ナツツタ	落葉	○	○	○	△
			オオイトバ	常緑	◎	○	○	△
			ヘデラ(ヘリックス)	常緑	◎	○	○	△
			ノウゼンカズラ	落葉	◎	×	◎	△
	巻付登攀型	ツル植物を壁にネット等の支持材を設置し、絡ませていく方法。利用可能なツル植物が多いため、季節感を取り込んだ色鮮やかな緑化が可能だが、自力登攀し、壁面を被覆することができないため支持材が必要。	カロライナジャスミン	常緑	◎	×	◎	△
			テイカカズラ	常緑	◎	×	◎	△
			クレマチス(アーマンディ)	常緑	◎	×	◎	△
			ヘチマ	落葉	◎	×	×	×
下垂式	壁面下垂型(支持材あり) 注)支持材なし2形式ある	屋上部や壁面上部にプランターを設置し、下垂型植物を植栽して上部から支持材に絡ませて壁面を覆う方法。利用可能な植物は限定され、下垂植物は生育が遅く、確実に早期に壁面を覆う場合などは、支持材を用いて、生長を促すことや巻き上がり防止を図ることが有効。	ヘデラ(カナリエンシス)	常緑	◎	○	○	○
			ヘデラ(バリエガータ)	常緑	◎	○	○	△
			コトネアスター類	常緑	◎	×	◎	△
			ハイズ:ブルーファシフィック	常緑	◎	×	◎	×
			ツルニチチソウ	常緑	○	×	◎	○
基盤取付式	プランター・ユニット型	壁面前にプランターやパネルユニットを設置し壁面を覆う方法。最も高価であるが、規模・形が自由に季節に合わせた様々な花等を植栽でき、デザイン性が高く、施工直後から高い被覆を実現できる新たなタイプ。	ヘデラ(カナリエンシス)	常緑	◎	○	○	○
			ヘデラ(ヘリックス)	常緑	◎	○	○	△
			イヌツゲ	常緑	◎	×	◎	△
	エスバリエ工法	樹木、特に果樹を壁面や塀の前方に植栽し、壁状に緑化する方法。西欧で発達した手法で、トレリスやフェンスあるいは止め具などを用いて誘引する。	ギボウシ	常緑	△	○	◎	△
			イオノブシジウム	落葉	◎	×	◎	△
			ティアレラ	常緑	×	○	◎	△

記号について 耐日射性: ◎日なたを好む。夏でも直射日光で良い
○日なたを好む。ただし、夏だけ直射日光を避ける
△半日陰を好む。春から夏は日よけが必要
×日陰を好む。冬でも日陰におく
耐陰性: ○日陰に強い
×日陰に弱い
耐寒性: ◎0℃以下に下がっても大丈夫な植物
○5℃以下に少し下がっても大丈夫な植物
△5～10℃は必要な植物
×10℃以上必要な植物
耐乾性: ○乾燥に強い
△普通の水やりが必要
×湿った状態が必要

の細孔量はそれほど変化しておらず、白華は表面のごく薄い膜であることが示唆された。また、下方に行くほど細孔が緻密化しており、これは水と反応が進行した影響があるものと考えられる。

3) 本学構内において人工被覆面に生育するコケ植物の分布マップを作成し、その生育形態を大きく4つに分類した。また人工被覆面に生育可能なコケを整理し、コケ緑化に向けた知見とした。

4) 壁面緑化の熱環境影響を実測により確認すると同時に、本学 38 号館の壁面緑化再生に向けて検討を深めた。

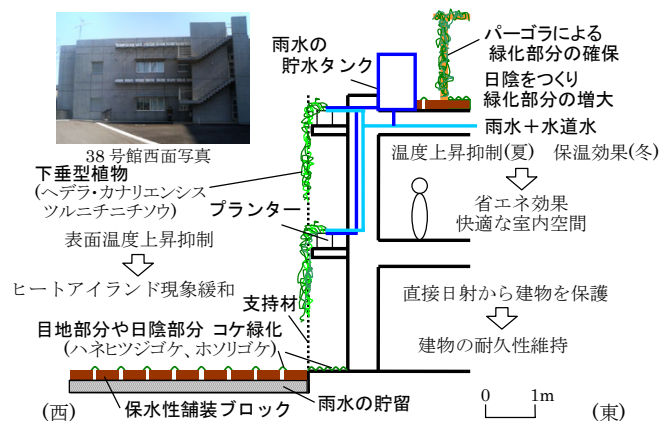


図13 本学38号館における壁面緑化再生案
(蒸発冷却舗装システムとコケ緑化も同時に検討)

参考文献

- 1) ヒートアイランド対策関係府省連絡会議: ヒートアイランド対策大綱、2004.3
- 2) Japanese Ministry of Land, Infrastructure and Transport, International Energy Agency: Proceedings of International Workshop on Countermeasures to Urban Heat Islands, 2006.8
- 3) 森山正和: ヒートアイランドの対策と技術、学芸出版社、2004.8
- 4) 国土交通省関東地方整備局: 報道記者発表資料「環境舗装東京プロジェクト」、2004.5
- 5) 円井基史、梅干野晃、浅輪貴史、板津佳恵: 蒸発冷却舗装システムの基本性能に関する夏季屋外実験 都市熱環境改善に向けた蒸発冷却舗装システムとその予測評価手法の開発 その1、日本建築学会環境系論文集、第600号、pp.51-58、2006.2
- 6) 柴田彩子、湯浅昇、大島明、松井勇: 竣工後33年を経過した打ち放しコンクリート外壁に付着した生物、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.325-326、2005.9
- 7) 大島明、松井勇、湯浅昇: 建築材料の微生物汚染に関する研究 - コンクリート及びモルタルに発生する微生物の調査、第8回日本・韓国建築材料施工 Joint Symposium 論文集、pp.181-184、2006.9
- 8) 井上浩: フィールド図鑑 コケ、東海大学出版社、1986年
- 9) 服部新佐ら: 原色日本蘚苔類図鑑、保育社、1972年
- 10) 広島大学デジタル自然史博物館、<http://www.digital-museum.hiroshima-u.ac.jp/~museum/>