

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14772

研究課題名(和文) 外壁面での水分に関わる藻類生育条件の定量化と汚染抑制手法の検討

研究課題名(英文) Quantification of algal growth conditions related to water content and examination of control methods

研究代表者

中嶋 麻起子(Nakajima, Makiko)

神戸大学・工学研究科・助教

研究者番号：40773221

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：外壁汚れの主原因である気生藻類に対して、水分条件の定量化、高温による藻類抑制手法の適用可能性について検討した。屋根面に藻類が生育する建物での環境測定と汚れ性状の測定より、結露による水分供給があり藻類が生育しやすい環境においても、日射による高温が生じる部位には藻類は発生しないことを示した。さらに、乾燥状態では高い耐熱性を持つが、湿潤状態では熱感受性が増加する藻類の性質を利用した藻類生育を抑制可能な暴露温度・暴露時間・含水条件を明らかにした。また、藻類の水分を吸収・保持能力を考慮し、藻類層を含む熱水分性状解析を作成し、外界気象条件から藻類の温度・湿度(含水率)を予測するモデルを作成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高温による気生藻類の死滅の可能性について指摘されているが、これらの性質を用いた外壁面での藻類の成長抑制方法についての検討はなされていない。本研究では藻類を死滅させる熱処理条件を定量的に示すことができた。これは、外壁材料へ物理的・化学的影響をほとんど与えず藻類を抑制する手法提案の第一歩であると考えられる。また、藻類自身の水分吸収・保持を考慮し、外壁面での藻類の増殖予測モデル作成により、外壁面での藻類予後の発生性状を十分に予測可能であることを示した。これは、建物の維持・管理を効率的に行う上で有益な情報であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Airborne algae were main cause of the soiling on walls. In this study, the quantification of the water conditions and control method of algal growth by the heat shock treatment were examined. From the measurement in the building where the algae grow on the roof surface, it was shown that the algae could not grow in the area where the high temperature due to the solar radiation occurred even if there was the water supply for algae due to the condensation. Algae have high heat resistance in the dry, however, the heat sensitivity increase in the wet. It was clarified the relationship between with algal mortality and the exposure temperature, exposure time, and algal water conditions of the heat shock treatment. In addition, considering the algal water absorption, the hygrothermal analysis including the algae layer was created, and the prediction model of algal growth was created using the algal temperature and humidity (moisture content) from the external meteorological conditions.

研究分野：建築環境工学

キーワード：気生藻類 外壁汚れ 温湿度 高温暴露 増殖予測モデル 含水率

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

外壁汚れの主原因が、大気中に生育する気生藻類の付着・生育であることは、既往研究により示されている(写真1~4)¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。藻類生育に対して水分供給が大きく影響することは明らかにされているが、日射・雨・風などの周辺環境条件や外壁表面温度湿度の影響についての定量化はほとんどなされていない。また、水分供給の影響についても定性的評価は行われているが、生育との関係について定量的に述べた研究は見られない。外壁面においては図1に示す7つの水分供給源があり、これらの要因が重なり合って藻類への水分供給が行われている。応募者の先行研究において、雨水が当たりにくい外壁で、「壁体中の水分」、「大気中の水蒸気」を供給源と考え、藻類生育の実態調査・実測を行ってきた。その結果、周辺環境条件の影響、結果として生じる外壁表面温度湿度の変動が藻類の増殖に及ぼす影響を明らかにした⁴⁾⁵⁾⁶⁾。さらに、温湿度環境に基づいた藻類の増殖・死滅プロセスを想定(図2)、成長予測モデルを作成し、高温による藻類の死滅可能性を示した⁷⁾。ただし、雨水・結露などの液水供給が行われる条件下での藻類の生育条件については未だ不明な点が多く、同様のプロセスが適用できるかどうかは明らかにされていない。そのため、水分供給形態に基づいた藻類の生育条件を定量化することは、外壁面での藻類制御のために欠かすことができない。また、応募者は高温による藻類死滅可能性を指摘した。本研究において、外壁面での藻類汚染に対してこの手法がどの程度有効であり、建築的手法でどのような対策方法が可能であることを示すことが、藻類抑制手法の開発に新たな提案を行うことができると考えている。

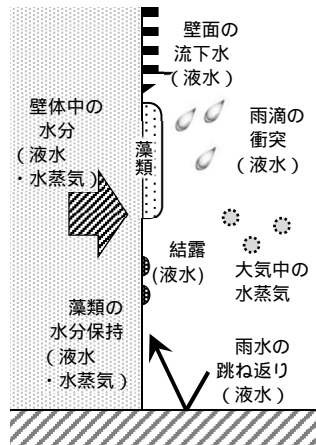
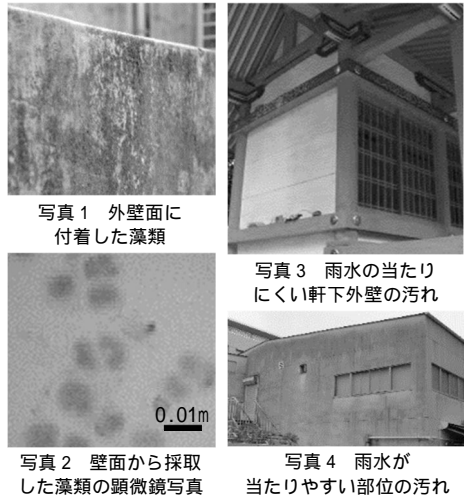


図1 外壁面での気生藻類への水分の供給源

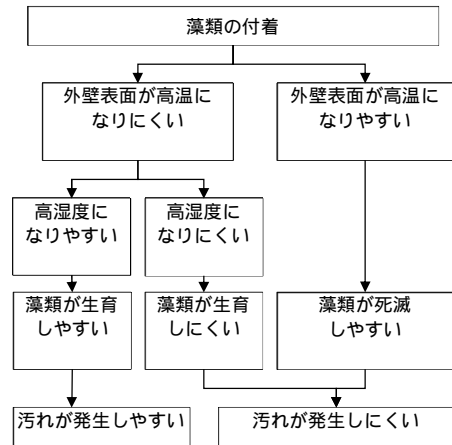


図2 雨水が当たりにくい部位での藻類の生育プロセス

2. 研究の目的

本研究では、外壁汚れの主原因である気生藻類について、外壁のどのような部位に生育し、それに対して周辺環境条件がどのように関与しているかを明らかにし、建築的手法による藻類の生育抑制方法の提案を目的としている。応募者はこれまでに実測・解析に基づき、外壁のどのような部位に藻類が生育し、それに対して周辺環境条件や外壁表面温度及び相対湿度がどのように関与しているかを明らかにしてきた。さらに、その中で高温による藻類の死滅可能性を指摘した。本研究ではそれらの知見に基づき、水分条件(大気中の水蒸気、材料内水分、雨水、結露等)についての定量化、高温による藻類抑制手法の建物外壁面での適用可能性についての検証を行う。

3. 研究の方法

(1) 屋根面に気生藻類が生育する建物での周辺環境測定と汚れ性状の測定

気生藻類による外壁汚れが屋根面に生じている建物において、外壁表面温度、周辺温湿度などの周辺環境測定と、汚れ性状の測定を行った。

(2) 高温暴露による気生藻類の死滅率の測定

気生藻類ふくめ Piokilohydrous は乾燥状態では高い耐熱性を持つが、湿潤状態では熱感受性が増加する⁸⁾⁹⁾。この性質を利用し、高温暴露によって気生藻類を死滅させ、外壁汚れの発生を防止する手法が可能であるかについて実験を行った。建物のコンクリート壁に生育する気生藻類を採取し、表1に示す実験条件において死滅率の測定を行った(実験室実験)。また、実際の建物外壁面を赤外線ヒーターで直接加熱し、死滅率の測定を行った(屋外加熱実験)。藻類の死滅率の測定にはPAM法(Pulse Amplification Modulation, パルス増幅変調法)によるクロロフィル蛍光測定と、藻類の測色値を用いた。

(3) 藻類の増殖・死滅モデルの改良

(1)、(2)の測定結果を利用し、温湿度に関する藻類の増殖・死滅条件を定量化し、藻類の増殖予測モデルの改良を行った。さらに、藻類自身が水分を吸収・保持する能力があることをモデルに反映するため、藻類を多孔質材料と見なし、外壁面に付着する藻類層を含む熱水分性状解析を作成し、外界気象条件から藻類の温度・湿度（含水率）を予測するモデルを作成する。これにより、気象条件と建物条件から外壁面での藻類の生育を予測することが可能となる。

		処理温度	含水状態	処理時間
実験 A	Case 1	35	湿潤	6 時間
	Case 2			24 時間
	Case 3			6 時間 × 4 日間
	control	-	-	-
実験 B	Case 1	40	湿潤	6 時間
	Case 2			24 時間
	Case 3		乾燥	6 時間
	Case 4			24 時間
	control	-	-	-
実験 C	Case 1	45	湿潤	6 時間
	Case 2			24 時間
	Case 3			6 時間 × 4 日間
	control	-	-	-

4. 研究成果

(1) 屋根面に気生藻類が生育する建物での周辺環境測定と汚れ性状の測定

周辺環境測定と汚れ性状の測定の結果、外壁面での気生藻類の生育は、温度と水分供給に支配されていることが明らかとなった。

本測定を実施した建物周辺は開けており、夜間放射により屋根の表面温度が低下しやすい。また、建物周辺の夜間の外気相対湿度は 100% 近くまで上昇していた。そのため、夜間に表面結露が発生し藻類が生育しやすい環境にある。しかし、日射により日中に表面温度が高くなる南西屋根・南東屋根では、高温により藻類が死滅しやすく汚れが発生しにくい。このことから、藻類の生育は温度と水分供給に依存することが明らかになった。さらに、年間の温湿度変化と汚れ性状の変遷から、藻類の増殖可能時期を求め、藻類の生育と温湿度条件との関係を明らかにした。

(2) 高温暴露による気生藻類の死滅率の測定

建物のコンクリート外壁に生育する気生藻類を用いた実験室内および屋外での高温暴露実験を行い、藻類の温度・含水状態と死滅率との関係について検討した。藻類の死滅率の測定には PAM 法(Pulse Amplification Modulation, パルス増幅変調法)によるクロロフィル蛍光測定と、藻類の測色値を用いた。実験条件を表 1 に示す。その結果、湿潤状態の藻類は 35 で 24 時間以上、40 以上で 6 時間以上の熱処理により死滅し、再び生育し始めることはないことを明らかにした。乾燥状態の藻類は、熱処理直後にわずかに蛍光強度が低下するが、時間の経過とともに回復した。したがって、乾燥状態では熱処理の効果は低く、藻類は死滅しにくいことが明らかになった。藻類と熱処理時間との関係は、連続あるいは断続的に熱処理を行った場合でも、藻類の死滅率の変化傾向にほとんど違いはなく、熱処理の効果は暴露された総時間数に依存することを示した。

コンクリート壁への熱処理実験では、熱処理直後から L^* は正の値となり、1 日後にやや低下、その後日数が経つにつれ増加し、熱処理により汚れの色は薄くなった。 a^* も熱処理直後から正の値となり、日数の経過とともに増加し、色度は緑から赤方向に変化した。よって、熱処理により藻類が死滅したと考えられる。

(3) 藻類の増殖・死滅モデルの改良

気生藻類の生育には、空気(O_2 , CO_2)、栄養素、光、水分(液体および蒸気)、および適切な温度が必要である。外壁面には十分な空気と光が存在するため、藻類の生育は温度と湿度に強く影響される。本モデルでは結露が発生する屋根面での増殖予測モデル作成のため、藻類自身の吸放湿(含水)性状を考慮した。藻類は多孔質材料であり水分を吸収・保持できるとし、式(1)により水分収支が表されるとした。

$$\rho_w l_a (d\psi_a / dt) = \alpha' (X_o - X_a) + Rain \quad (1)$$

ρ_w : 液水の密度 [kg/m³], l_a : 藻類層の厚さ [m], t : 時間 [sec], ψ_a : 藻類の含水率 [m³/m³], α' : 湿気伝達率 [kg/m²s(kg/kg)], X_o, X_a : 外気, 藻類の絶対湿度 [kg/kg], $Rain$: 降水量 [kg/m²s]

表面に付着する藻類層の厚さは個体数の増加に伴い増加するため、藻類層の厚さは式(2)のように仮定した。

$$l_a = \begin{cases} 0.0005 & (N < 10^3) \\ 0.0001 + 0.0004(N/10^3) & (10^3 \leq N) \end{cases} \quad (2)$$

藻類の最大含水量以上の水が供給されると、表面に水膜が形成される。水膜の水分収支式は式(3)となる。

$$\rho_w (dl_w / dt) = \alpha' (X_o - X_w) + Rain \quad (3)$$

l_w : 水膜の厚さ [m], X_w : 水膜の絶対湿度 [kg/kg]

藻類の平衡含水率曲線は土壌で近似できるとして sandy clay loam の値を用いた。

この藻類の水分保持モデルを含めた藻類の増殖予測モデルの概要を図に示す。本モデルにより、結露による水分供給が生じる屋根面での藻類汚れの変化性状を十分な精度で予測することが可能となった。ただし、藻類の表面に水膜が形成される場合、藻類は水没し空気の供給が絶たれる可能性がある。水膜が長時間存在する場合、藻類のガス交換を考慮したモデルを導入する必要がある。

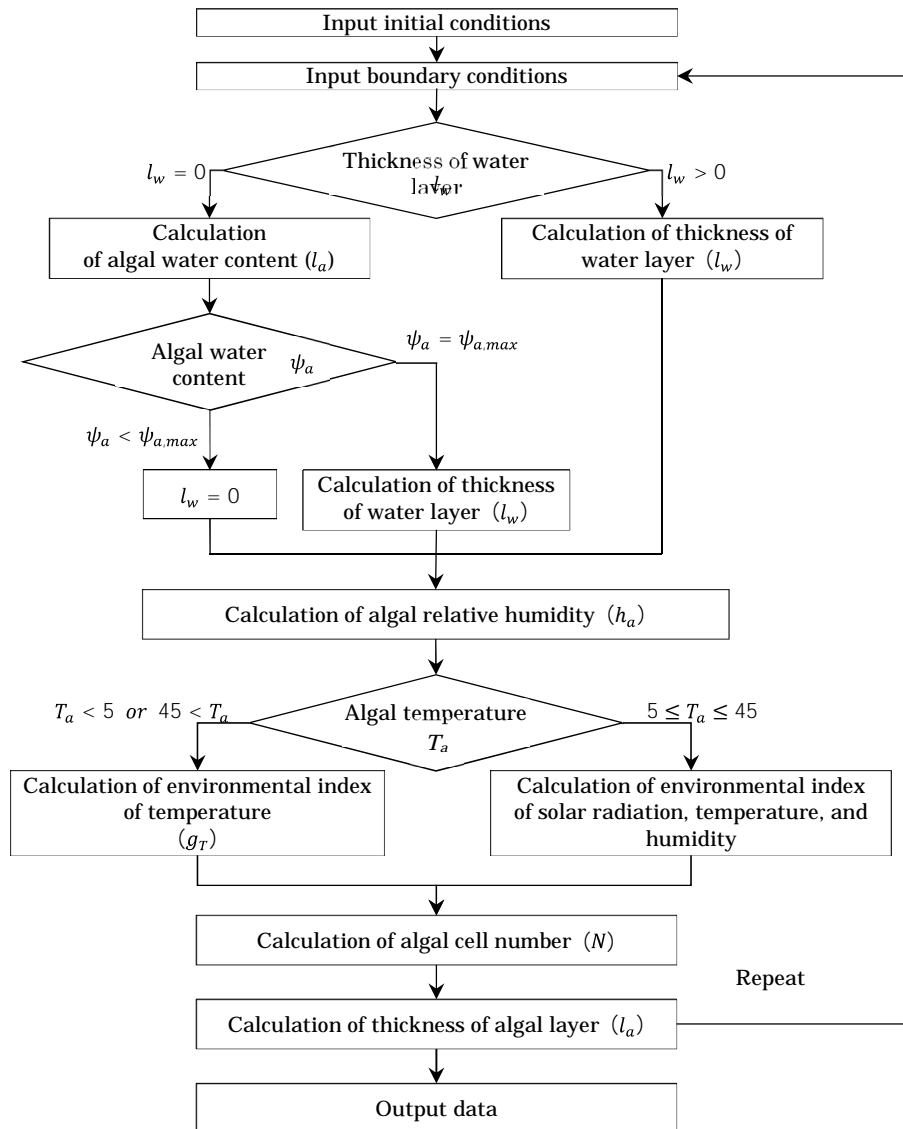


図3 藻類の増殖予測モデルの概要

参考文献

- 1) 半田信司：気生藻類，堀輝三，大野正夫，堀口健雄編「21世紀初頭の藻学の現況」，日本藻類学会，山形，pp. 81-84，2002
- 2) 橘高：建築物外壁面の汚染の調査及び基礎的考察 建築物外壁仕上材料の汚染の評価方法に関する研究(その1)，日本建築学会構造系論文報告集，第370号，pp.11-18，1986. 12
- 3) 辻本ら：外壁面に発生する藻類の同定および藻類汚染方法の検討 建築物の外壁面における，藻類汚染に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，第433号，pp. 11-17，1992. 3
- 4) Makiko Nakajima, Shuichi Hokoï, Daisuke Ogura: Algal growth on the exterior walls of buildings -Relationship between Environmental Conditions and Algal growth on the Exterior Walls at Kusyo Myojin Shrine, Ninna-ji Temple in Kyoto, 1st International Symposium on Building Pathology, Faculty of Engineering University of Porto, Portugal, 24 - 27 March 2015, Keynote lecture
- 5) 中嶋麻起子，銚井修一，小椋大輔：建物外壁における藻類の生育状況に関する研究，日本建築学会環境系論文集，第80巻，第710号，pp. 331-337，2015. 4
- 6) 中嶋麻起子，銚井修一，小椋大輔：仁和寺九所明神における藻類生育と周辺環境との関係，日本建築学会環境系論文集，第80巻，第713号，pp. 575-582，2015. 7
- 7) 中嶋麻起子，銚井修一，小椋大輔，伊庭千恵美：建物外壁での藻類の増殖と死滅のモデル化に関する研究，日本建築学会環境系論文集，第80巻，第718号，pp. 1125-1131，2015. 12，
- 8) M. Tretiaçh et al.: Heat Shock Treatments: A New Safe Approach against Lichen Growth on Outdoor Stone Surfaces, Environmental Science & Technology, 46, pp. 6851-6859, 2012
- 9) 河崎衣美，原光二郎，松井敏也，澤田正昭，井上才八，海老澤孝雄：アンコール遺跡バイヨン寺院浮き彫りの保存材料に関する研究(5) 太陽熱を利用した地衣類のクリーニング，日本文化財科学会第34回大会 研究発表要旨集，pp. 20-21，2017

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 益枝 大輔, 中嶋 麻起子, 銚井 修一, 松下 敬幸	4. 巻 第58号
2. 論文標題 寒冷地における藻類生育に関する研究 その1 実建物における藻類生育状況の調査と屋根表面温度測定と解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会近畿支部研究報告集	6. 最初と最後の頁 181-184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中嶋 麻起子, 銚井 修一, 益枝 大輔, 松下 敬幸	4. 巻 第58号
2. 論文標題 寒冷地における藻類生育に関する研究 その2 外壁構造が表面湿度に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会近畿支部研究報告集	6. 最初と最後の頁 185-188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 益枝 大輔, 中嶋 麻起子, 銚井 修一, 松下 敬幸	4. 巻 D-2分冊
2. 論文標題 寒冷地における藻類生育に関する研究 - 実建物における屋根表面温度測定及び解析と藻類生育状況との関係 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 161-162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 益枝 大輔, 中嶋 麻起子, 銚井 修一, 松下 敬幸	4. 巻 第59巻
2. 論文標題 寒冷地における藻類生育に関する研究 実建物における藻類の生育状況の変遷と生育時期の推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会近畿支部研究報告集	6. 最初と最後の頁 197-200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 益枝 大輔, 中嶋 麻起子, 銚井 修一, 松下 敬幸	4. 巻 D-2分冊
2. 論文標題 寒冷地における膜構造建物への藻類生育に関する研究 実建物における藻類の生育性状の変遷と生育時期の推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 51-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 益枝 大輔, 中嶋 麻起子, 銚井 修一, 松下 敬幸
2. 発表標題 寒冷地における藻類生育に関する研究 その1 実建物における藻類発生状況の調査を屋根表面温度測定と解析
3. 学会等名 平成30年度日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中嶋 麻起子, 益枝大輔, 銚井 修一, 松下 敬幸
2. 発表標題 寒冷地における藻類生育に関する研究 その2 外壁構造が表面温湿度に及ぼす影響
3. 学会等名 平成30年度日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 益枝 大輔, 中嶋 麻起子, 銚井 修一, 松下 敬幸
2. 発表標題 寒冷地における藻類生育に関する研究 - 実建物における屋根表面温度測定及び解析と藻類生育状況との関係 -
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 益枝 大輔, 中嶋 麻起子, 鉾井 修一, 松下 敬幸
2. 発表標題 寒冷地における藻類生育に関する研究 実建物における藻類の生育状況の変遷と生育時期の推定
3. 学会等名 令和元年度年度日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 益枝 大輔, 中嶋 麻起子, 鉾井 修一, 松下 敬幸
2. 発表標題 寒冷地における膜構造建物への藻類生育に関する研究 実建物における藻類の生育性状の変遷と生育時期の推定
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考