

氏名 (本籍)	小森 宇生也 (愛知県)
学位の種類	博士 (工学)
学位授与番号	甲第581号
学位授与日付	令和2年3月25日
専攻	環境エネルギーシステム工学専攻
学位論文題目	鱗状痕生成の化学メカニズムの解明とその除去法 (Chemical formation mechanism of ring deposits and its removal)
学位論文審査委員	(主査) 教授 板谷 義紀 (副査) 教授 神原 信志 准教授 小林 信介

### 論文内容の要旨

乗用車やバス、電車などの窓ガラスに鱗状痕（一般にウォータースポットと呼ばれる）が生成することは良く知られている。鱗状痕は、白色のリング状の形でガラス表面に固着し、車両の景観や視認性に影響するため定期的に除去作業が行われる。しかし、鱗状痕は水拭きや界面活性剤等では除去できないため、研磨剤を使用して多くの労力をかけて除去作業をする必要があり、簡便な除去法または鱗状痕生成を防止する技術の開発が望まれている。

本研究は、鱗状痕の化合物形態および化学的生成メカニズムを明らかにし、その除去法や防止法を開発を行うことを目的とする。鱗状痕の生成実験と化学組成分析および熱力学的平衡計算を行ない、化学的生成メカニズムを提案した。また、鱗状痕の除去法と生成防止法について検討を行った。

実験は、車用のみならず建築物用としても広く使われているソーダ石灰ガラスのほか、コーティング剤を塗布したガラスやフィルムを貼ったガラスを試験表面とし、鱗状痕生成実験を行った。鱗状痕生成用の水は、洗車によく用いられる地下水と水道水に加え、降雨で車が濡れることを考慮して雨水を準備した。また、水中シリコン濃度を調整した水も準備した。

マイクロピペットを用いて、ガラス表面に水を 10  $\mu$ L 滴下して液滴をつくり、ホットプレートによりガラス裏面を 40°C に加熱して液滴を蒸発させ、鱗状痕を生成させた。鱗状痕の観察および含有元素定性分析には SEM-EDX と顕微レーザーラマン分光分析を用いた。鱗状痕の主成分はシリコンであり、ガラス表面と化学的に結合していることが明らかとなった。すでに明らかにされている鱗状痕の物理的生成メカニズムと本実験結果から、鱗状痕は液滴内で含有元素同と水との化学反応により微粒子が生成し、マランゴニ対流により液滴の縁に運ばれ、そこで微粒子とガラス表面が反応する 2 つの反応機構によるものと考えた。

鱗状痕の主要な化合物を特定するため、多成分系熱力学的平衡組成を計算した。これより、鱗状痕を形成する化合物は、オルトケイ酸 ( $H_4SiO_4$ ) であると推定した。 $H_4SiO_4$  は 20–80°C の温度域で安定的に存在するが、80°C でピロケイ酸 ( $H_6Si_2O_7$ ) に転換しはじめ 100°C で完全に転換する。100°C 以上で  $H_6Si_2O_7$  は分解に転じ、120°C で完全に分解する。この挙動から、ガラス表面を 120 C 以上に加熱すると鱗状痕の主要成分を除去できると考えられる。

化学的な鱗状痕除去法として、希薄フッ酸溶液による分解除去法を試験した。0.5%フッ酸溶液によって鱗状痕を除去することができた。鱗状痕防止法として、ガラス表面に液滴をつくらない方法を検討した。

### 論文審査結果の要旨

本論文は、乗用車やバス、電車などの窓ガラスに付着する鱗状痕の化合物形態および化学的生成メカニズムを明らかにし、その除去法や防止法を開発を行うことを目的としている。鱗状痕の生成実験と化学組成分析および熱力学的化学平衡計算を行ない、化学的観点から鱗状痕生成メカニズムを提した。また、鱗状痕の除去法と生成防止法について検討を行っている。

鱗状痕生成実験および元素分析・レーザーラマン分光分析を行い、鱗状痕の主成分はシリコンであること、ガラス表面と化学的に結合していることを明らかにした。また、鱗状痕の生成過程を物理的生成メカニズムと本実験結果から推定し、鱗状痕は液滴内で含有元素と水との化学反応により微粒子が生成し、マランゴニ対流により液滴の縁に運ばれ、そこで微粒子とガラス表面が反応する 2 つの反応機構によるものと推定した。これらの研究成果は、これまで不明であった鱗状痕の生成挙動と除去方法について新規の有

用な情報を与えるものである。

申請された学位論文を慎重に審査した結果、本論文は新規性ある有効な知見を見い出しており、優れていると評価できること。学位審査委員会における審査の結果、本論文は学位論文に値するものと判定した。また、岐阜大学大学院工学研究科における課程申請による博士の学位に関する取扱要項第4の規定に基づく、提出する学位論文の基礎となる学術論文の数は環境エネルギーシステム専攻における規定に達しているものと確認された。

### 最終試験結果の要旨

学位審査委員会は、提出論文の基礎となる発表論文（査読付き論文 2 編）の内容を確認し、令和 2 年 2 月 17 日に開催された学位論文公聴会における論文提出者との質疑応答と口頭試問などに基づいて審査を行い、最終試験に合格と判定した。

---

発表論文（論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ）

発表論文（学位論文に直接関係するもの）

- 1) 車用ガラス表面に生成するリング状痕の化学組成, 小森 宇生也, 神原信志, 早川幸男, 自動車技術会論文集, 51(1), pp. 221-225 (2020)
- 2) Formation and Removal of Silicon Ion Deposits on Glass and Metal Surfaces, Htay Win, Ukiya Komori, Yusuke Yamada, Makoto Kanazawa, Yukio Hayakawa, Shinji Kambara, Applied Sciences in press (2020)