

高分子表面における疎水効果と界面構造の相関解明

Analyses of the correlation between “icephobicity” of polymer surface and their interfacial structure

所属機関： 神戸大学

代表研究者氏名： 松本 拓也

研究期間： 2024年5月30日～2024年7月6日

区分： 個人 A

滞在研究機関： Department of Mechanical & Industrial Engineering, University of Toronto
5 King's College Road, Toronto, ON M5S 3G8 Canada

共同研究者等： Prof. Kevin Golovin

Ice adhesion has been regarded as a huge serious issue in the fields of aircrafts, windmills, infrastructure, housing, and shipbuilding. Therefore, the icephobic properties is desired. This icephobicity of polymer surface is more significant in many devices and infrastructure products and would be controlled by interface between polymer and ice. However, despite these economic and social demands, development of durable and high-performance icephobic surfaces remains a challenge. Herein, we attempted to prepare and investigate on the icephobic and hydrophobic surface with novel fluorine functional groups such as trifluorosilane. Moreover, in the first month in University of Toronto, I prepared PDMS-brush and learned about the method to evaluate icephobic properties of the surface.

海外研究活動概要

氷の付着 (Ice adhesion) は、航空機、風車、インフラ、住宅、造船などの分野で深刻な問題として認識されている。具体的には、上空1万メートルを飛行する航空機の主翼への積雪によるフライトパフォーマンスの低下やフライト事故、寒冷地での送電線への積雪による断線、建築物への積雪による倒壊、極地を運航する貨物船への安全性の担保など幅広い分野において、社会的な課題となっている。その氷の付着を防ぐために、多くのインフラや構造物は、表面を塗料などのポリマーで塗装することで、その表面における着氷性の制御が試みられてきた。しかし、その制御法の多くは一般的な疎水性表面と同じ表面を利用しているに過ぎず、その着氷性の機構や界面における制御のメカニズムに関しては、未解決のままとなっている。

本研究者の松本拓也は神戸大学にてこれまでに、高分子材料の疎水性の制御を化学的な官能基の導入やその運動性の観点から制御し、表面に水が存在する際の最表面の構造変化がその疎水性挙動に大きく影響することをナノスケールの精密測定と解析によ

り明らかにしてきた。(参考文献1, 2, 3) それらの知見に基づいた化学的な表面設計を通し、疎水性という観点から材料表面の研究に本研究では取り組んだ。その研究の遂行にあたり、これまでに多彩な評価法や解析による材料を創出(文参考文献4, 5)し、それらの知見を多く有するカナダのトロント大学の機械工学専攻の Kevin Golovin 助教の研究室と共同し、疎氷性の評価のノウハウや解析手法、さらに材料設計を学び取り入れることで、本研究を遂行した。

化学的な設計として、これまでの疎水性表面や疎氷性表面で多く取り入れられているトリフルオロメチル基の代替となるような官能基を設計し、導入することで、新たな疎氷性表面の創出に取り組む。とりわけ、近年ではパーフルオロ化合物 (PFAS) の人体や環境への蓄積が問題となり、その規制が厳しくなっているため、その代替となる新たな疎氷性・疎水性の設計指針と疎氷性・疎水性の新奇官能基の探索が重要視されつつある。そこで、本研究者の松本拓也と Kevin Golovin は、トリフルオロシリル基を有する表面に着目し、その設計と創出に着手した。併せて、疎氷性評価のためのノウハウを身につ

け、帰国後に日本でも評価を可能にするため、疎水性を示す PDMS ブラシ表面を構築し、その表面の疎水性評価にも取り組んだ。

成果

まず、トリフルオロシリル基を有する表面の構築のために、その表面の合成に取り組んだ。手法としては、Figure 1 に示したように鏡面研磨のシリコン基板に対し、5 分間のプラズマ処理をし、表面に多数のヒドロキシ基を導入し、親水化処理を行った。さらに、メルカプト基を有するシランカップリング剤を作用させることで、表面にチオール基を導入し多表面変シリコン基板を作製した。その官能基の導入は、表面接触角の評価により、親水化後のものと比較して、大幅に水滴の接触角が増加したことから確認した。さらに、反応時間や熱処理条件などを適時、最適化し、高い再現性でのチオール基導入を達成した。

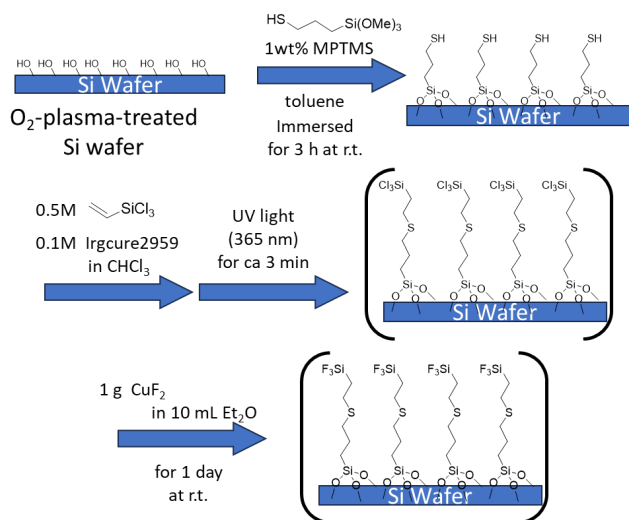


Figure 1. トリフルオロシリル基表面の合成案。

さらに、ビニルトリクロロシランとチオール・エン反応により、トリクロロシランを導入し、続けてニフッ化銅を作用させることで、トリフルオロシリル基に変換することを試みた。残念ながら、滞在期間内では、トリフルオロシリル基の導入評価にまでは至れなかったが、機械工学専攻の研究室で化学的な変換反応をする環境の構築とそのノウハウを現地学生に伝えることができた。

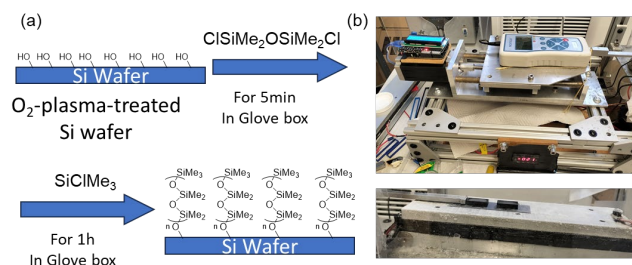


Figure 2. (a)PDMS ブラシ表面の合成と(b)着氷性評価の装置写真。

また、疎水性評価のための試料作製としてポリジメチルシロキサン (PDMS) ブラシ表面の構築とその評価にも取り組んだ。着氷性評価の装置は、自作していたものの、要素パーツに関しては市販品を活用して構築していたことから、日本帰国後でも同様の装置の構築が可能であることが分かった。評価の結果、作製した PDMS ブラシ表面の着氷力は非常に低い値を示し、十分な再現性が取れることが明らかとなった。

今後の展望

研究機関の都合上、実験すべてを完遂するに至らなかったが、2024 年度においては日本での追加の実験に加え、再度渡航し、実験をさらに遂行することを計画している。さらに、Kevin Golovin との議論の上で、トロント大学の化学専攻の Helen Tran 助教にも協力を仰ぎ、種々のブラシ表面での着氷特性を合成・評価し、分子レベルでの機構解明に取り組むことが決まっており、現在それらを計画・遂行している段階である。

参考文献

1. Y. Xie, *et al.*, *Langmuir*, **38**, 6472 (2022).
2. T. Matsumoto, *et al.*, *Polym. J.*, **54**, 1081 (2022).
3. T. Matsumoto, *et al.*, *Polym. J.*, **55**, 1287 (2023).
4. K. Golovin, *et al.*, *Science*, **364**, 371 (2019).
5. X. Zhao, *et al.*, *ACS Nano*, **15**, 13559 (2021)