

審査の結果の要旨

氏名 王 恒

固体表面の着霜・凍結現象は、例えば航空機の安全性、空調機器のエネルギー効率など、様々な工学の問題と直結する。したがって、霜や氷が成長しにくい固体表面の開発は様々な工学分野において強く求められている。本研究では、霜や氷が成長しにくい固体表面として超撥水面を対象とし、特に超撥水面上の水滴の凍結を研究対象とする。固体表面上の水滴の凍結については、表面に静置した水滴を対象として、凍結開始の過冷却温度や凍結開始までの時間遅れを評価する方法と、表面に衝突する水滴を対象として、凍結の動的挙動を評価する方法に分けられるが、本研究では、特に後者に着目する。本研究の目的は超撥水面に衝突する水滴の凍結のメカニズムを明らかにすることである。本論文は、「**Bouncing behavior of a water droplet on a super-hydrophobic surface near freezing temperatures** (氷点付近における超撥水面上の水滴の動的挙動に関する研究)」と題し、全6章から構成されている。

第1章は序論であり、本論文では、超撥水面上の水滴の動的挙動について、実験と数値計算により研究を行うことを明確に示し、研究目的と本論文の構成が述べられている。

第2章では、本論文に関連する先行研究が述べられている。具体的には、超撥水面、超撥水面上の静止した水滴、超撥水面に衝突する水滴、超撥水面の濡れ性の遷移、関連する数値計算の5項目に分けて、先行研究が述べられている。これらの先行研究を示した上で、改めて本論文の位置づけが述べられている。

第3章では、超撥水面上の水滴の動的挙動に関する実験研究が述べられている。本論文ではナノ微粒子-ポリマー材料-エタノールの懸濁液を金属基板に塗布することにより超撥水面を作成し、その超撥水面の特性評価を行った。さらに、作成された超撥水面基板において、水滴のサイズ、水滴の温度、超撥水面基板の温度をパラメータとして、水滴の衝突試験を行った。水滴の衝突試験において、超撥水面基板の温度が一定の場合に、水滴の温度が高いほど跳ね返り高さが低くなることを見出した。さらに超撥水面基板の温度が氷点下になると、水滴の温度が高いほど、跳ね返らずにそのまま付着凍結することを見出した。この結果は、水滴の初期温度が低いほど、水滴が基板と接触する際に温度が下がり、容易に凝固点に近づくために凍結し易くなるという予想と反する。しかし、水滴の初期温度が高いほど、水滴と基板の温度差が大きくなり、より多くの水蒸気が水滴表面から蒸発し、基板表面に凝縮すると考えられる。その結果、基板表面の濡

れ性が変化し、超撥水面が親水化するために、水滴の跳ね返りが小さくなると考えると、合理的に結果を解釈することができる。

第4章では、水滴の衝突による超撥水面の濡れ性の変化に関する実験研究とエネルギー損失の解析が述べられている。超撥水面に静止した水滴、超撥水面に衝突する水滴のそれぞれについて、氷点付近における前進接触角、後退接触角を測定し、超撥水面の濡れ性の変化を考察した。また、実験結果に基づき、水滴の衝突の際のエネルギー損失のモデル化を行った。

第5章では、氷点付近における超撥水面上の水滴の動的挙動に関する数値解析が述べられている。水滴の衝突時の超撥水面の濡れ性の変化を接触角の変化によってモデル化することにより、実験と同様の水滴の動的挙動を数値計算により再現することに成功した。また、付着損失、粘性損失、位置エネルギーの損失などを定量的に評価した。

第6章は結論であり、実験研究、数値計算の結果から導かれる氷点付近における超撥水面上の水滴の動的挙動のメカニズムを説明している。特に超撥水面基板の温度が氷点下になると、水滴の温度が高いほど、跳ね返らずにそのまま付着凍結する現象について、水滴が超撥水面に衝突する際の水蒸気の蒸発量、凝縮量は超撥水面の濡れ性を変化させるのに十分な量であること（第3章）、温度の変化だけでは水滴の衝突時に見られる前進接触角、後退接触角の変化を説明できないこと（第4章）、数値計算において接触角の変化をモデル化することにより、実験と同様の水滴の動的挙動を再現できること（第5章）などから、水滴の衝突時の超撥水面の濡れ性の変化が水滴の動的挙動を決める支配的な要因であると結論付けた。水滴の温度変化ではなく、超撥水面の濡れ性の変化が水滴の付着凍結を促進するという本論文の結論は、今後、霜や氷が成長しにくい固体表面の開発に新たな指針を与えると考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。