



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on New Adhesion and Friction Based on Stress Dispersion Effects of Surface Microstructure of Organisms [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	辻岡, 一真
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第16369号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/94930
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	TSUJIOKA_Kazuma_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理学） 氏名 辻岡 一眞

審査担当者	主査	教授	佐田 和己
	副査	教授	幅崎 浩樹
	副査	教授	長島 一樹
	副査	教授	松尾 保孝

学 位 論 文 題 名

Study on New Adhesion and Friction Based on Stress Dispersion Effects of Surface
Microstructure of Organisms
(生物表面微細構造の応力分散効果に基づく新たな接着・摩擦に関する研究)

生物表面微細構造は生物が持つ特徴的な機能を我々が認知しやすい現象として表現する最も一般的なものである。しかしながら、この特徴的な構造を我々が応用する場合には、加工材料との組み合わせやプロセスを考慮することが必要であることや、我々が認知していない機能が隠されていることを考える必要がある。そのため、生物微細構造の機能解明は特に重要な研究領域となっている。

本論文では、様々な生物が持つ摩擦や接着という表面が持つもっとも重要な物理特性についての研究を行い、生物表面構造が持つ摩擦・接着特性について詳細なメカニズム解明を行い、そのメカニズムの理解から新しい表面デバイス創成を目的として研究を行った。

第1章では、生物を模倣して優れた機能発現についての研究を実施するバイオミメティクス概念についての背景説明、接着や摩擦の重要性について述べている。

第2章では、ウバウオが通常では困難な水中の粗い面での素早く、強力な接着が可能である機能に着目して研究を行った。既存研究では詳細なメカニズム解明が行われていなかったが、接着分野の基本原則である柔らかさ（接触面積増加）と硬さ（剥離抵抗）の両立が重要である点に着目し、模倣構造として硬い高分子ナノフィラメント周辺を粘液の代わりにやわらかいポリジメチルシロキサン（PDMS）で包埋した材料を作製した。シミュレーションによる解析から、ナノフィラメントへの応力分散が剥離に関わる接着界面への応力集中を防いでいる事がわかった。これらは毛状構造とPDMSのパラメータを変化させた結果からも裏付けられた。作製した模倣構造は水中や紙やすりのような粗い面でも高い接着力を維持し、繰り返し使用することが可能であった。このことから、ヤモリや甲虫、蜘蛛など他の生物における毛状構造がもつ接着力機能メカニズムとはことなり、ウバウオが柔らかい粘液と硬い毛状構造で強力な接着力を達成していることが明らかになり、新たな生物の機能解明にも寄与した。また、このメカニズムをもとに、微粒子を用いた機能性模倣接着材料への応用を行った。微粒子が硬さを担っていることにより、より作製方法が容易でありながらフィラメント構造よりも強力な水中接着表面を作製することに成功した。

第3章では、オオヒラタシデムシの階層構造が持つ摩擦低減機能を明らかにした。森林などに生息するオオヒラタシデムシの外皮はマイクロメートルサイズのドーム構造に数百ナノメートルの直径を持つシワ構造がのった階層的な構造を持つことを電子顕微鏡観察で明らかにした。この構造機能は不明瞭だったが、落葉の下など摩擦が発生しやすい生息環境で発見できることから、摩擦に関する機能を有していることが予想された。実際にヤスリで微細構造を除去した場合、微細構造のある表面に対して摩擦威力が増加した。そのため、この階層構造の機能評価を行うために模倣構造の作製とシミュレーションによる機能評価の研究を行った。高分子材料により模倣構造を作製して摩擦測定を行ったところ、階層構造は、構造のない表面に対してしわ構造やMLAs(ドーム)のみの構造よりも摩擦を低減した。他の研究によれば今回のような乾燥摩擦において重要なのは真実接触面積であり、微細構造によってこれが減ったため摩擦が減少したと考えられる。しかしながら、摩擦の基本原則であるアモン・トンクローンの法則からすれば、微細構造によって接触面積が減っても荷重に比例して微細構造が変形するため真実接触面積、すなわち摩擦力は増加する（摩擦係数は一定）と予想されるが、それとは異なる測定結果となった。これは加重によって構造が変形しないという前提とは異なる挙動を示していることが考えられた。そのため、シミュレーションを行った。その結果、階層構造はドームとシ

ワの両方に対する有効な階層的荷重分散によって、接触点が大幅に減少しているにもかかわらず変形を抑制し、真実接触面積の増加が抑えられことによって単層構造よりも摩擦を低減することが明らかとなった。

第4章では、以上の総括を行っている。

以上のように、著者は生物の構造や生態系を着眼点にして、生物が持つ構造を材料特性との組み合わせから実社会で利用できるデバイスへの作りこみ、それを応用しての生物機能解明、さらには原理応用による高機能なデバイス作製実現の研究を行い、バイオミメティクス研究に対して原理解明の重要性と複合領域研究へ貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。