

東京大学の江島准教授等は水の中でも強力な接着力を発揮する接着剤を開発した。開発された接着剤は、海岸の岩場に生息するムラサキガイからヒントを得た「バイオミメティクス^(注1)」技術を活用した。接着剤の課題である水中での接着力低下を解決するもので、傷口をふさぐ外科手術用接着剤などへの商品化が期待される。

企業名	東京大学 大学院工学系研究科マテリアル工学専攻		
研究分野	高分子材料、生体ナノ粒子、バイオ接着、生物模倣、金属-ポリフェノール錯体		
所在地	〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1		
TEL	03-5841-7170	URL	http://biomacro.t.u-tokyo.ac.jp/
資本金	—	従業員数	—

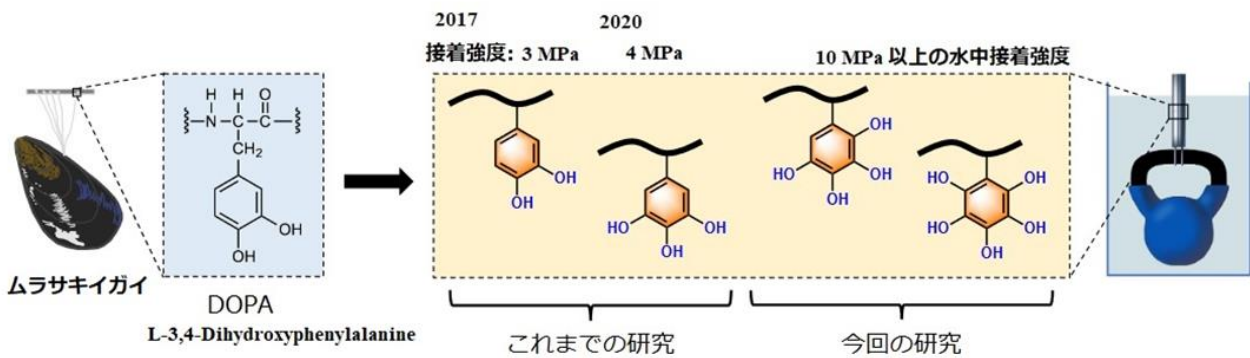
【本技術の概要】

東京大学大学院工学系研究科の江島広貴准教授らのグループは、水中でも接着強度 10MPa を超える超高強度水中接着剤の開発に成功した。一般的な接着剤は、水中で接着強度が大幅に低下することは良く知られている。この原因の一つは、被着体表面の水和水が接着剤と被着体間の相互作用を阻害するためと考えられていた。同研究グループは、海辺の磯場の岩にくっついている海洋生物であるムラサキガイ（ムール貝）の接着機構にヒントを得て、開発した。本接着剤は湿潤環境下においても高い接着強度を発揮できるため、外科手術用接着剤などへの応用が期待される。

本研究成果は、2022年4月13日（英国夏時間）に英国科学雑誌「Nature Communications」のオンライン版に掲載された。

【研究経緯・基本原理】

接着剤は合成高分子で構成されその接着のメカニズムは、液体の状態では被着体に塗布され表面に広がり（濡れ）、接着剤がナノスケールの凹凸に入り込み固化することで機械的な接合をする（アンカー効果）。また、被着体表面と接着剤が分子レベルで近接することで分子間力が生じて接着する。一方、水中での接着の場合、被着体表面は接着剤と接するよりも水に覆われている方が界面自由エネルギー的に安定な場合が多く、水中では接着剤が被着体表面に十分に濡れ広がらず、接着力は弱まってしまふ。しかし、海洋生物であるムラサキガイが岩に強固に固着しているのは、接着部である足糸^(注2)先端部に接着効果の強いDOPAと呼ばれるタンパク質^(注3)により岩に強固に固着していることが見出された。DOPAはベンゼン環上に2個の水酸基をもつ化合物であることが分かった。このことから、2017年に米国の研究グループは、ポリスチレン骨格に2個の水酸基を導入すると、さらに優れた水中接着剤になることを報告した（ACS Appl. Mater. Interfaces, 2017, 9, 7866-7872）。この2017年の論文では、アルミ基板を水中接着させた時の接着強度（3 MPa）は世界最高強度であったが、その後、本研究グループは、2020年に3個の水酸基を導入することで、4 MPaの水中接着強度を達成した（J. Mater. Chem. B, 2020, 8, 6798-6801）。



出典： <https://20511701.fs1.hubspotusercontent-na1.net/>

図1. 水中接着剤の研究経緯と原理

(注1) 生物の構造や機能などから着想を得て、新しい技術や材料の開発に活かすこと。

(注2) ムラサキガイは足糸（そくし）と呼ばれる繊維を何本も分泌して岩石表面に接着する。先端部位の接着性のみならず、波によって繰り返しかかる負荷に耐え得る優れた力学特性を備えている。

(注3) DOPA: (L-3,4-ジヒドロキシフェニルアラニン)。ムラサキガイの接着性タンパク質に多く含まれている物質。L-チロシンが水酸化されることで合成される。側鎖のカテコール基が水中接着に重要な役割を果たしており、多くのタンパク質ファミリーが同定されている (Annu. Rev. Mater. Res., 2011, 41, 99-132)。

【今回の研究成果】

今回の研究では、さらに多くのフェノール性水酸基（4個および5個）を導入した高分子を合成することに世界で初めて成功した（図1）。高分子側鎖の分子構造を併せて最適化することでこれまで以上の水中接着強度 10 MPa 以上を達成した。この接着強度は、わずか 1cm 四方の接着面積で約 100kg の重りをもち上げることに相当する。フェノール性水酸基数が増えるほど基材表面への吸着に有利になることが示唆された。一方、フェノール性水酸基数が増えると高分子鎖はより親水性をもち、水中で膨潤や溶解が起こると水中接着強度は大幅に低下する。そのため、水中接着剤は疎水性であることが必要となる。高分子材料の疎水性を保ちながら、界面への接着に寄与するフェノール性水酸基をできるだけ多く導入する手段を検討した結果、一つのスチレンユニット上に4個および5個という多数のフェノール性水酸基をもつモノマーを新たに設計・合成し、疎水性モノマーと共重合することで、疎水性を損なうことなく、多数のフェノール性水酸基を高分子鎖上に導入することが可能となり、今回の成果につながった。

本接着剤は湿潤環境下で強い接着力を発揮するため、手術用接着剤などへの応用が期待される。同研究グループは、環境や人体に優しい水中接着剤実現のために自然から学ぶべきことはまだまだたくさんあることが予想されることから、今後もバイオミメティクスに基づく材料工学研究を推進する方針である。

【期待される用途】

本研究の成果は大気中で基材同志を接着させ、それを水中等で接着状態を保持するのではなく、あくまでも、基材が水等で濡れている状態で接着保持可能としたものである。水中（海中含め）や体液等の湿潤環境で作用する接着剤の位置付けである。

【有望技術紹介 No.85】

・医療用接着剤（皮膚・粘膜用、インプラント用）

指先をカッターなどで切った場合、傷口を縫合する処置の必要があったが、接着剤を塗布することで、迅速に止血することができる。細菌等による汚染も少ないため、傷口の治癒も早まることが期待される。



・緊急用接着（止血用、排水管・排油管等）

インプラントなど処置中に歯茎等を傷つけた場合、口腔内の止血に手間取る場合が多く発生していた。本接着剤を用いることで、迅速、安全に止血ができる。



・湿潤および水中での材料表面接着（コンクリートや金属）

水中や海水中での橋梁工事では、コンクリートや金属などの接着施工が多くある。本接着剤を活用することで、迅速かつ安全に施工すること可能と見込まれる。



出典：<https://shingi.jst.go.jp/pdf/2015/kisoken102.pdf>

【発表雑誌】

- ・雑誌名：「Nature Communications」（オンライン版：4月13日）

論文タイトル：Ultrastrong underwater adhesion on diverse substrates using noncanonical phenolic groups

著者：Bohan Cheng, Jinhong Yu, Toma Arisawa, Koki Hayashi, Joseph J. Richardson, Yasushi Shibuta, Hiroataka Ejima*

DOI 番号：10.1038/s41467-022-29427-w

アブストラクト URL：<https://www.nature.com/articles/s41467-022-29427-w>

【研究支援】

本研究は、克研究奨励賞、日本医療研究開発機構（AMED）官民による若手研究者発掘支援事業、社会実装目的型の医療機器創出支援プロジェクト「水生生物の接着機構にヒントを得た生体組織接着剤の研究開発」、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業（さきがけ）「微生物の鉄代謝から着想を得た分解性結合の立案と動作検証（JPMJPR21N4）」、野口遵研究助成金、公益財団法人フジシール財団、文部科学省科学技術人材育成費補助事業卓越研究員事業の支援を受けて実施された。

専門家による目利きコメント

生物が長い年月をかけて進化の過程で作りあげてきた構造や機能を学ぶことで、現在、不可能と見られている課題を解決する技術や材料を開発につながる可能性があると思われる。また、生物が作り上げてきたものは、環境との調和性に優れていることが大きな特徴でもある。

お問い合わせ

大学名：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 工学部 4号館 323号室

氏名：江島広貴 准教授

TEL：03-5841-7170

E-mail：ejima@material.t.u-tokyo.ac.jp