

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：20106

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01645

研究課題名（和文）材料表面精密制御によるフジツボ接着メカニズムの解明と抗付着材料の開発

研究課題名（英文）The investigation of the barnacle settlement mechanism with precisely controlled material surfaces for developing eco-friendly anti-fouling materials

研究代表者

平井 悠司 (Hirai, Yuji)

公立千歳科学技術大学・理工学部・准教授

研究者番号：30598272

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：本申請研究は、海洋付着生物であり人工物への付着によって深刻な生物汚損が問題となっているフジツボの付着メカニズムを解明し、環境に優しい新規防汚材料を開発することを目的とし遂行された。本研究によって、ヒドロキシル基表面へのフジツボ付着は非常に少なく、側鎖にヒドロキシル基を有するポリビニルアルコールを架橋させたコーティング材料は、海中に浸漬しても海洋生物が付着しづらい防汚効果を有することが明らかとなった。その他にも、微細構造や表面官能基パターンもフジツボの付着に影響を与えることが示唆され、新規防汚材料開発のための指針を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本申請研究では材料表面の化学組成を精密に制御してフジツボの付着実験を行い、材料表面のヒドロキシル基が強くフジツボの付着を抑制することを明らかとした。さらに一般的な高分子材料であり、側鎖にヒドロキシル基を持つポリビニルアルコールを架橋させて基板をコーティングすると、海中に浸漬しても海洋付着生物が付着せず、防汚材料として利用可能であることが示された。その他にも材料表面の官能基をマイクロスケールでパターンニングすると、ヒドロキシル基の割合が多くてもフジツボが付着するなど、幾何学的なパターンも影響することが示唆されるなど、これまでに報告されていないフジツボ着生に関する多くの知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）： This study had aimed at the investigation of the barnacle settlement mechanism with precisely controlled surface functional groups and microstructures for developing eco-friendly anti-fouling materials. As the results of the experiments, a surface hydroxyl group strongly inhibits the barnacle settlement, and the cross-linked poly(vinyl alcohol) coating had shown an anti-fouling property via the field experiment. Furthermore, this study revealed that surface microstructures and micro-patterned surface functional groups affect a barnacle settlement. These results suggest strategies for the development of the eco-friendly anti-fouling materials.

研究分野：バイオメテイクス

キーワード：フジツボ 防汚 自己組織化単分子膜 フィールド実験

1. 研究開始当初の背景

本研究では代表的な海洋付着生物であるフジツボに着目した。フジツボは図1に示すような生活サイクルをもち、遊泳可能なキプリス幼生時に一对の付着器を利用して表面を探索、付着する場所を決めると接着タンパク質を分泌して付着する。フジツボが付着することで、船舶では流体抵抗の増加による燃費の悪化、漁網の網目が詰まることによる養殖魚の窒息死、そして海岸線沿いにある火力発電所等の冷却用水系統の狭窄による発電効率の低下など、多くの問題を引き起こしている。実際に付着による航行速度の低下や付着生物除去などの被害額は国内の船舶、養殖網、発電施設の冷却水系統からの除去費用を合わせると年間数千億円にも上る。これまでは付着生物の付着を防ぐ為に有機スズ化合物が広く用いられてきたが、近年、海洋生物に対する高い内分泌かく乱作用が問題となり使用が禁止された。その為、毒物を用いない、環境負荷の少ない抗付着材料の開発が求められている(①)。

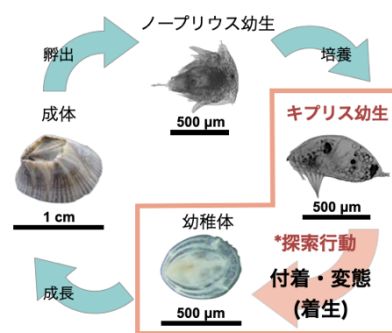


図1 フジツボのライフサイクル

様々な研究者、企業から抗付着材料の開発に関して報告されているが、未だに効果的な抗付着材料は開発されていない。それはフジツボがどのようにして付着表面の化学組成や表面構造を認識して付着しているのか、表面-生物の関係を関連付けた付着のメカニズムがまだ解明されていないためである。一般的な抗付着材料開発においては、開発された様々な材料表面にフジツボが付くかどうかを判断しているだけであり、「なぜ」付着しなかったのかがほとんど議論されていない。フジツボの付着メカニズム、特に様々な表面をどのように認識して付着しているのかを明らかにすることは、生態を理解するという面では基礎学術ではあるが、その結果は抗付着材料の開発につながる、社会に還元可能な重要な成果となる。そのため様々な材料表面、特に化学組成を精密に制御した表面や微細構造上におけるフジツボの付着挙動、分泌する接着タンパク質の解析を通して付着メカニズムを解明することは必須の研究課題である。

2. 研究の目的

本研究では精密に制御された材料表面上において海洋付着生物であるフジツボがどのように付着しているのかに焦点を当て、そのメカニズムを解明することを目的とした。さらにそれらの知見を利用して最終的には毒物を用いない低環境負荷な抗付着材料の開発を目指した。具体的には以下の項目について検討を行った。

(1) 混合 SAM 基板上におけるフジツボ付着実験

申請者らのこれまでの研究で、自己組織化単分子膜(SAM)を用いて基板表面の官能基を精密に制御し、その表面でフジツボの付着実験を行ったところ、OH基修飾表面には極めて付着しづらく、COOH基修飾表面では付着率が高くなることが明らかとなった。そこで、OH基の割合がどの程度になると付着が抑制されるのか、OH基とCOOH基を任意の割合で混合したSAMを作製し、その基板上でフジツボ付着実験を行うことで、防汚効果を発現させるのに必要なOH基の割合を調査した。

(2) SAMのマイクロパターンニングと付着実験

フジツボのキプリス幼生は付着場所を探す探索行動時に、先端直径20 μm程度の1対の付着に大きく関与する感覚器を用いて表面を探索する。そこで末端にOH基を有するSAMとCOOH基を有するSAMで基板表面をドット状にマイクロパターン修飾し、どの程度の大きさのマイクロパターンを認識し、さらに防汚効果が発現するのかを調査した。

(3) 微細構造と表面官能基が与えるフジツボ付着への影響調査

これまでの申請者らの研究で、表面微細構造もフジツボの付着に影響を与えることが明らかとなっている。本項目では表面微細構造と表面化学組成のどちらのほうの方がより影響が大きいのかを調査することを目的とし、マイクロスケールの微細構造を有する基板に金を蒸着し、SAMを形成させることで、微細構造と表面官能基を同時に制御した実験系においてフジツボの付着実験を行った。

(4) 3Dプリンタを用いた新規付着実験系の構築

これまでの申請者らの研究では、調査対象の基板にシリコーン樹脂製のウェルを置いて付着実験を行ってきた。しかしながらこの実験方法は基本的に化学物質の毒性試験に用いる方法であり、基板評価を目的として構築された実験方法ではない。実際に、複数基板を同時に評価することができず、さらにウェル内の海水が付着実験日数とともに劣化するため、フジツボ幼生に刺激を与えないように換水する必要があるなど、実験操作にも技術が求められる系であった。そこで、複数基板を同時評価可能かつ換水を必要としない新規実験系の構築を検討した。

(5) 架橋PVAコーティングの海中曝露実験

上述したように、OH基で修飾した基板表面にフジツボが付着しづらいということが明らかと

なっている。そこで側鎖に OH 基を有するポリビニルアルコール(PVA)を有機チタン系化合物で架橋した架橋 PVA コーティング基板を作製し、室内実験でフジツボ付着に対する防汚性を評価するとともに、海中に浸漬し、実際に防汚コーティングとして利用が可能なかを調査した。

3. 研究の方法

本研究では、静岡県清水市(東経: 34° 59' 32", 北緯: 138° 30' 40")の栈橋から採集した成体のタテジマフジツボ(*Amphibalanus amphitrite*)を実験室に持ち帰り、毎日1回の頻度でアルテミア(*Artemia sp.*)を与え飼育、干出刺激によって孵出させたノープリウス幼生に珪藻を与えて培養し、キプリス幼生に変態後回収して付着実験に用いた。

(1) 混合 SAM 基板上におけるフジツボ付着実験

末端に OH 基を有する 11-メルカプト-1-ウンデカノールと COOH 基を有する 11-メルカプトウンデカン酸の 1 mM のエタノール溶液を調整し、この 2 溶液を OH 基の割合が 0%~100%まで、20%刻みとなるように混合した。ガラス上にクロム、

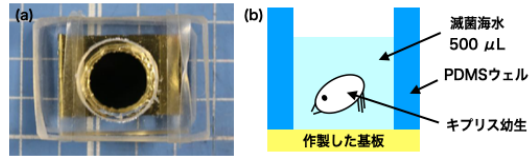


図 2(a) 実験系を上から撮影した写真と (b) 実験系の概略図

次に金をスパッタした基板を前述の溶液に 15 時間浸漬して OH 基と COOH 基の混合 SAM を形成させ、その後エタノールと超純水で洗浄、試験基板を得た。作製した基板の表面濡れ性を接触角計で測定し SAM が形成していることを確認した後、着生実験に使用した。着生実験系の模式図を図 2 に示す。SAM 基板上にシリコンウェルを置き、滅菌海水 500 μ L、キプリス幼生 30 匹を加えた。サンプルは人工気象器内(温度: 25°C, 湿度: 80%, 蛍光灯点灯無し)で静置し 1 日毎に光学顕微鏡を用いて 5~7 日間、キプリス幼生の状態を観察した。このとき、観察時には滅菌海水を 250 μ L ずつ交換する作業を 2 回行い、脱皮殻やごみを取り除いた。使用したキプリス幼生の活性を確認するため、24 穴のポリスチレン (PSt) 製ウェルでも同様の実験を行った。

(2) SAM のマイクロパターニングと付着実験

SAM のマイクロパターニングには一般的なフォトリソグラフィ法によって作製された種々のフォトマスクを用いた(図 3)。まず、前述と同様の方法で 1 種類目の SAM を金基板上に形成させ、フォトマスクを載せて 5~10 分程度紫外オゾン処理することで部分的に SAM を除去した。その後、違う種類のチオール試薬/エタノール溶液に浸漬することで、2 種の末端官能基で表面が修飾されたマイクロパターン SAM 基板を作製した。この時、末端に OH 基と COOH 基を有するチオール試薬を用い、目的のパターンに応じて浸漬する順番を変えた。作製した SAM 基板を用いて上記と同様の条件で付着実験を行った。

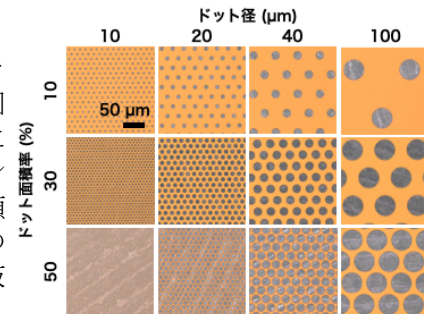


図 3 実験に用いたフォトマスクのレーザ顕微鏡像。黄土色の表面がマスク(クロム)、青部分が透過(石英)になっている。

(3) 微細構造と表面官能基が与えるフジツボ付着への影響調査

既報に従い自己組織化を利用してハニカム状多孔質膜を作製し、その上面をスコッチテープで剥離することでピラー構造化膜を作製した。架橋前のポリジメチルシロキサン(PDMS)前駆体と架橋剤の混合物をピラー構造化膜に流し込み、60°C、12 時間熱架橋後にピラー構造化膜から剥がし取ることで PDMS のマイクロレンズアレイ (MLA) を作製した(②)。PDMS-MLA に剥離層として PVA の 1 wt% 溶液をスピコート後、厚さ 2 mm 程度の PSt 板を乗せて 150°C、15 分間、0.1 MPa でプレスして PSt を軟化させた後、2 MPa で 1 分間プレスすることで PDMS-MLA の微細構造を PSt に転写、ディンプル様の PSt 微細構造を得た。作製した PSt ディンプル構造に金をスパッタし、各種末端官能基(OH 基, COOH 基, CH₃基)を有する 1 mM のチオール試薬/エタノール溶液に浸漬することで、微細構造表面の化学修飾を行った。作製した微細構造はレーザ顕微鏡や走査型電子顕微鏡(SEM)で観察し、SAM の形成は水滴の接触角を測定することで確認した。フジツボの付着実験は前述と同様の方法で行った。ただし、本実験ではキプリス幼生 15 匹で実験を行った。

(4) 3D プリンタを用いた新規付着実験系の構築

3D モデリングソフトウェアを用いて、試験基板枚数に応じた多角形の筒と足場を設計し、3D プリンタを用いて印刷した(図 4(a))。印刷後、本体の内壁面に 2 cm×1.5 cm の試験基板をカーボンテープで固定し(図 4(b))、プランクトンネット(網目 100 μ m)を本体と足場で挟みグルーガンで接着した(図 4(c))。その後、密閉シール容器に作製した実験系をグルーガンで取り付け

た(図4(d))。作製した実験系にプランクトンネットから高さ1 cmの位置まで滅菌海水を注ぎ入れ、箱内部にキブリス幼生を約350個体入れた。キブリス幼生を投入後、密閉シール容器の蓋を閉じ、前述と同様に設定した人工気象器に静置させた。1日毎に試験基板への着生数を光学顕微鏡で12日間カウントし、実験に利用可能かを試験した。

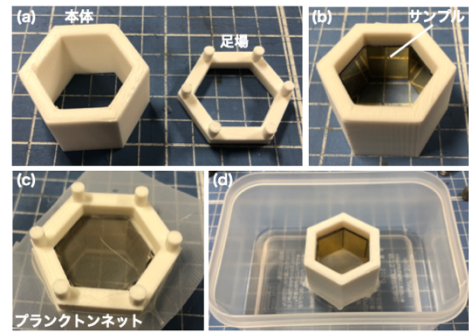


図4 新規実験系作製中の各段階の写真

(5) 架橋PVAコーティングの海中曝露実験

5 wt%に調整したPVA(平均重合度: 1,500~1,800, けん化度: 78~82 mol%)水溶液と架橋剤である有機チタン系化合物を重量比10, 20, 30, 40, 50 wt% (PVAのけん化度を80%としたとき, それぞれモル比0.19, 0.38, 0.56, 0.75, 0.94)になるように加えた。調整したPVA溶液を洗浄した100 mm角, 1.0 mm厚のアルミニウム基板に滴下し, 真空下, 100°Cの条件下にて24時間加熱・乾燥させることで架橋させ, 海中曝露実験用の基板を作製した。作製した基板は図5に示すステンレス治具に固定し, 北海道曹達株式会社ソーダグループ苫小牧共同岸壁(北緯42°39'05", 東経141°40'40")において2018年5月10日から9月20日まで海水面から5 mほどの海中に垂下した。浸漬した治具は約1ヶ月に1回引き上げて写真撮影及び目視による状態観察を行った。治具はサンプル表面への海洋付着生物による被覆状況については撮影した写真データから算出した。このとき, サンプル固定用の枠やエッジの影響を考慮し, サンプル中央付近の60 mm×40 mmの領域のみを計測対象とし, ①生存フジツボ, ②死亡フジツボ, ③基板表面に残存するフジツボ底殻, ④その他の付着生物に分類後, スキャナでPCに取り込み, 画像解析ソフトにより被覆率を算出した。算出に当たり, 付着珪藻などの小型付着生物は対象とせず, フジツボやザラボヤ, ドロクダムシのような大型の付着生物のみを計測した。

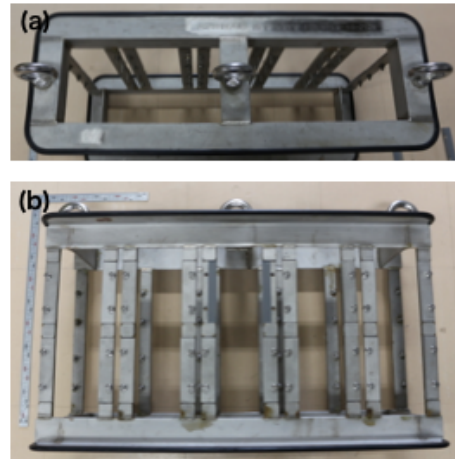


図5 浸漬実験で使用したステンレス治具の写真。(a) 上面図, (b) 側面図

4. 研究成果

(1) 混合SAM基板上におけるフジツボ付着実験

図6に作製したSAM基板の水滴の接触角と付着実験の結果を示す。末端がOH基及びCOOH基の場合, どちらも親水性であるため明確に水滴の接触角からはSAMの形成が確認できなかったが, COOH基の割合が増えるほど接触角も増加する傾向があったことから, おおよそ目的道理に混合SAMが形成しているとした。それぞれの混合SAM基板を用いてフジツボの付着実験を行ったところ, OH基の割合が0.8以上の時付着率が低く, COOH基の割合と比例して付着率も上がっていた。また, OH基とCH₃基の混合SAMにおいても同様の結果を得ているため, OH基が表面に占める割合が8割以上の時, フジツボに対する防汚効果が働くことが明らかとなった。

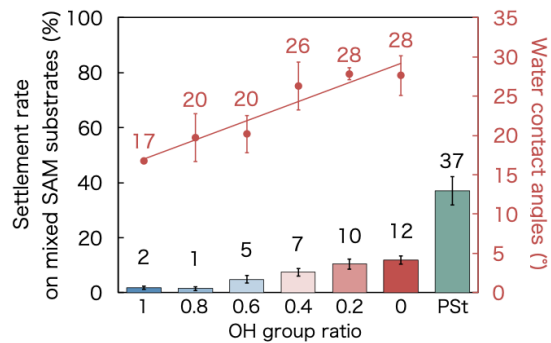


図6 各SAM表面の水滴の接触角とフジツボの付着率。PStは対照区として利用した24穴のウェル底面への付着率

(2) SAMのマイクロパターン化と付着実験

末端OH基及び末端COOH基SAMをドット状にマイクロパターン化した表面で行った付着実験の結果を図7に示す。実験の結果, ほとんどの表面の付着率は変わらず, OH基が9割かつドット状にCOOH基がある表面のみ, 付着率が低くなった。混合SAMの結果からはOH基が8割以上表面にあると防汚効果が現れたが, 表面のパターンによっては9割OH基があっても付着が抑制されない可能性が示唆された。現時

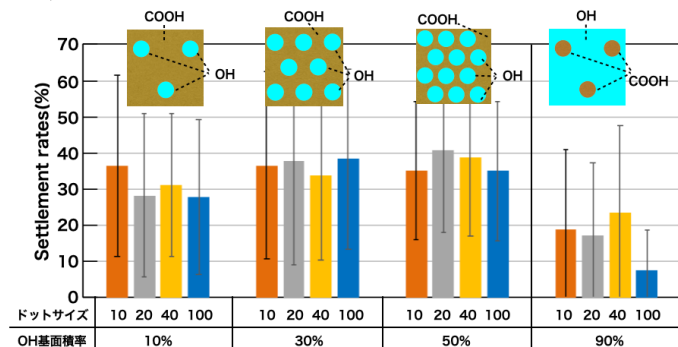


図7 各マイクロパターン化SAM表面へのフジツボ付着率

点では試行回数が十分ではないため、今後もさらなる検証が必要である。

(3) 微細構造と表面官能基が与えるフジツボ付着への影響調査

図 8 に作製したディンプル構造の SEM 像と付着実験結果を示す。SEM 像より、曲率半径 8 μm 程度のディンプル構造が形成されていることを確認した。その表面に SAM を形成させて付着実験を行ったところ、対照区として用いたフラットな PSt 表面よりもディンプル構造の方が付着率が高くなっており、さらに表面未修飾(PSt)のディンプル構造と比べて COOH 基表面では付着率は高くなり、CH₃ 基では同程度、OH 基ではかなり低くなっていた。したがって、本実験で用いたディンプル構造はフラットと比べて付着しやすい表面ではあるものの、OH 基表面ではフジツボの付着が強く抑制されていたことから、表面微細構造よりも表面官能基の影響が強いと示唆された。今後は付着しづらい微細構造を探し、付着しやすい表面官能基(例えば COOH 基表面)にした際にどちらの効果が強く影響するのかなども調査していく必要がある。

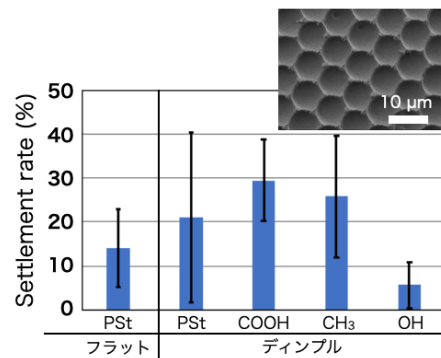


図 8 作製したディンプル構造の SEM 像と各表面のフジツボの付着率

(4) 3D プリンタを用いた新規付着実験系の構築

図 9 に新規実験系を用いて 5 種の SAM 基板及び金基板を同時に付着評価を行った結果を示す。個別ウェルで行った実験結果と同様に、COOH 基表面や金表面にはフジツボが着生しやすく、それ以外の表面への付着は低かった。全体を通して付着率は 5 割を超えており、また死亡個体数も 3%程度と極めて少なく、さらに水換えの必要もなく長期間の付着実験が可能であったことから、新規実験系を用いて複数基板の評価が可能であることが示された。一方で付着しやすい表面と付着しづらい表面を同時に評価してしまうと、付着しやすい表面に多くの個体が付着してしまうため、どの程度付着しづらいかを評価するのが困難であった。本実験系を用いて防汚効果を示す表面を探索する場合は、付着しやすかった表面を除きながら繰り返し実験を行う必要がある。

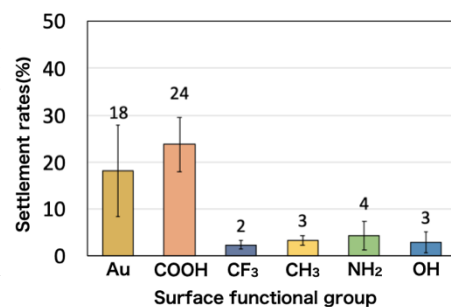


図 9 新規実験系を用いて 6 種の表面の付着評価を同時に行った結果

(5) 架橋 PVA コーティングの海中曝露実験

図 10 に浸漬実験後の基板の写真と表面被覆率のグラフを示す。比較対象として用いたアルミニウム基板には浸漬 1 ヶ月後からフジツボが付着し始めたのに対し、架橋 PVA 表面にはほとんど付着せず、3 ヶ月後までは比較的きれいな表面であった。しかしながら浸漬実験 4 ヶ月後には表面にヨコエビの棲管が形成されており、海洋生物に対する防汚効果がなくなっていることが推測された。PVA の耐候性が低いこともあり、4 ヶ月後には架橋 PVA コーティングが剥がれてしまったと考えられた。今後は PVA コーティングの厚みやフィラーの添加などによって耐候性を向上させる必要がある。

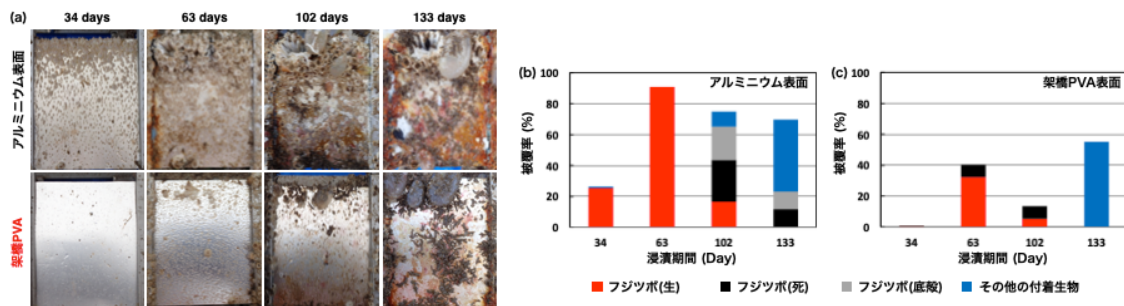


図 10 (a)1 ヶ月毎に海中から引き上げたときの各表面の写真。(b)対照区であるアルミニウム表面及び(c)架橋 PVA コーティング表面の海洋生物の被覆率

<引用文献>

- ① T. Murosaki, T. Noguchi, K. Hashimoto, A. Kakugo, T. Kurokawa, J. Saito, Y. M. Chen, H. Furukawa and J. P. Gong, *Biofouling*, 25(7), 657 (2009)
- ② 1) H. Yabu and M. Shimomura, *Langmuir*, 21(5), 1709 (2005)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 CasaIme Loida O., Katayama Keisuke, Hayakawa Yoshiaki, Nakamura Kensuke, Yamauchi Arisa, Nogata Yasuyuki, Yoshimura Erina, Matsuda Fuyuhiko, Umezawa Taiki	4. 巻 20
2. 論文標題 Effective Synthesis and Antifouling Activity of Dolastatin 16 Derivatives	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Marine Drugs	6. 最初と最後の頁 124 ~ 124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/md20020124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 野方 靖行、原 猛也	4. 巻 73
2. 論文標題 発電所における海生生物対策技術とその適用 (9) 海生生物の廃棄物処理・再利用技術	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 火力原子力発電	6. 最初と最後の頁 22-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 野方 靖行	4. 巻 64
2. 論文標題 海生生物付着防止と後処理技術	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 配管技術	6. 最初と最後の頁 21-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nosaka Masanaru, Tsujioka Kazuma, Matsuo Yasutaka, Okamatsu Takahiro, Arita Toshihiko, Shimomura Masatsugu, Hirai Yuji	4. 巻 37
2. 論文標題 Effect of the Microstructures on Vulcanized Rubber Frictions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 6459 ~ 6467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.1c00590	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 原 猛也、野方 靖行	4. 巻 72
2. 論文標題 発電所における海生生物対策技術とその適用 (5) 復水器等の物理洗浄・化学洗浄	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 火力原子力発電	6. 最初と最後の頁 223-230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 野方 靖行、原 猛也	4. 巻 72
2. 論文標題 発電所における海生生物対策技術とその適用 (6) 電気防汚技術	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 火力原子力発電	6. 最初と最後の頁 381-388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 野方 靖行、原 猛也	4. 巻 72
2. 論文標題 発電所における海生生物対策技術とその適用 (7) 防汚塗料	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 火力原子力発電	6. 最初と最後の頁 581-585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 野方 靖行、原 猛也	4. 巻 72
2. 論文標題 発電所における海生生物対策技術とその適用 (8) 復水器の鉄皮膜形成	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 火力原子力発電	6. 最初と最後の頁 848-856
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 原 猛也、野方 靖行	4. 巻 72
2. 論文標題 発電所における海生生物対策技術とその適用 (4) 海水電解液以外の薬剤注入	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 火力原子力発電	6. 最初と最後の頁 73-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Murosaki Takayuki, Momose Ai, Nogata Yasuyuki, Onodera Shinya, Azuma Otohiko, Hirai Yuji	4. 巻 33
2. 論文標題 Antifouling Activity of Hydroxyl Functional Groups in PVA Thin Films Against the Settlement of Sessile Organisms in Laboratory and Field Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 591 ~ 598
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.33.591	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fathoni Imam, Petitbois Julie G., Alarif Walied M., Abdel-Lateff Ahmed, Al-Lihaibi Sultan S., Yoshimura Erina, Nogata Yasuyuki, Vairappan Charles S., Sholikhah Eti Nurwening, Okino Tatsufumi	4. 巻 25
2. 論文標題 Bioactivities of Lyngbyabellins from Cyanobacteria of Moorea and Okeania Genera	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 3986 ~ 3986
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules25173986	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 原 猛也、野方 靖行	4. 巻 71
2. 論文標題 発電所における海生生物対策技術とその適用 (3) 海水電解装置による防汚	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 火力原子力発電	6. 最初と最後の頁 758-766
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 室崎 喬之	4. 巻 275
2. 論文標題 付着基質表面の性状による付着生物の接着制御	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 医学の歩み	6. 最初と最後の頁 842-848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Murosaki Takayuki, Abe Kentaro, Nogata Yasuyuki, Hirai Yuji	4. 巻 32
2. 論文標題 Barnacle Settlement Behaviors on Microstructured Surfaces with Different Geometric Parameters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 303 ~ 308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.32.303	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Uemura Shun, Matsuo Yasutaka, Okamatsu Takahiro, Arita Toshihiko, Shimomura Masatsugu, Hirai Yuji	4. 巻 22
2. 論文標題 Low Friction, Superhydrophobic, and Shape Memory Vulcanized Rubber Microspiked Structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 1901226 ~ 1901226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adem.201901226	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 百々瀬 愛、室崎 喬之、野方 靖行、小野寺 真也、東 乙比古、下村 政嗣、平井 悠司	4. 巻 36
2. 論文標題 架橋PVAコーティングのフジツボ付着防止効果の検証	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sessile Organisms	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4282/sosj.37.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 室崎 喬之、平井 悠司、野方 靖行	4. 巻 54
2. 論文標題 付着基質表面の微細形状がフジツボの付着に及ぼす影響(Antifouling effects of surface microstructures against barnacle settlements)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 塗装工学	6. 最初と最後の頁 446 ~ 451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計37件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 室崎 喬之
2. 発表標題 海洋付着生物の付着基質選択性に着目した付着制御技術
3. 学会等名 NBCI テクノロジー委員会 バイオミメティクス分科会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 室崎 喬之
2. 発表標題 表面性状による付着生物の接着制御 ~ 「付」と「着」 ~
3. 学会等名 PWCバイオミメティクス研究クラスター講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊 純平、室崎 喬之、野方 靖行、下村 政嗣、平井 悠司
2. 発表標題 ドットパターンニングSAM基板上におけるフジツボキプリス幼生の付着調査
3. 学会等名 2022 年度日本付着生物学会総会・研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岸上 大輝、室崎 喬之、野方 靖行、下村 政嗣、平井 悠司
2. 発表標題 付着基質表面のマイクロディンプル形状が付着珪藻(Navicula sp.)の付着挙動に及ぼす影響
3. 学会等名 2022 年度日本付着生物学会総会・研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Junpei Watanabe, Kei Mikami, Takayuki Murosaki, Yasuyuki Nogata, Masatsugu Shimomura, Yuji Hirai
2. 発表標題 Selectivity for surface functional groups in larvae of barnacles
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science ~Toward Sustainable Development~(ISSS-9) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kei Mikami, Junpei Watanabe, Takayuki Murosaki, Yasuyuki Nogata, Masatsugu Shimomura, Yuji Hirai
2. 発表標題 Investigation of the influence of a surface functional group against barnacle settlements using the 3D printed new experimental setup
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science ~Toward Sustainable Development~(ISSS-9) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshiyuki Doi, Yuji Hirai and Masatsugu Shimomura
2. 発表標題 Fabrication of the glass microstructures by a low energy consumption
3. 学会等名 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taiki kishigami, Takayuki Murosaki, Yasuyuki Nogata, Masatsugu Shimomura and Yuji Hirai
2. 発表標題 The adhesion of marine benthic diatoms on the surfaces with hexagonal packed micro dimple arrays
3. 学会等名 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野方 靖行
2. 発表標題 発電所における付着生物対策の現状
3. 学会等名 海を拓く現場計測研究会 令和3年度第1回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takayuki Murosaki, Yasuyuki Nogata, Yuji Hirai
2. 発表標題 The pre-settlement behaviors of barnacles on antifouling micro-topographic surfaces
3. 学会等名 The 38th International Conference of Photopolymer Science and Technology(ICPST-38) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 室崎 喬之
2. 発表標題 付着基質の表面形状を利用した海洋生物付着抑制技術
3. 学会等名 表面技術協会北海道支部及び腐食防食学会北海道支部 2021年北海道夏期セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 室崎 喬之
2. 発表標題 フジツボキプリス幼生の着生前探索行動と付着基質表面性状との関係
3. 学会等名 ベントス・プランクトン合同大会2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kei Mikami, Junpei Watanabe, Takayuki Murosaki, Yasuyuki Nogata, Masatsugu Shimomura, Yuji Hirai
2. 発表標題 Investigation of the effects of a surface functional group against barnacle settlement by using a newly constructed barnacle settlement experimental setup
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊 純平、三上 恵、室崎 喬之、野方 靖行、下村 政嗣、平井 悠司
2. 発表標題 フジツボキプリス幼生着生時の表面官能基に対する選択性
3. 学会等名 2021年度日本付着生物学会研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三上 恵、渡邊 純平、室崎 喬之、野方 靖行、下村 政嗣、平井 悠司
2. 発表標題 着生防止基板を同時評価可能な新規フジツボ着生実験系の検討
3. 学会等名 2021年度日本付着生物学会研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野方 靖行
2. 発表標題 汚損生物としての付着生物に関する最新情報と問題提起
3. 学会等名 2020年度オンラインシンポジウム「海洋利用と生物付着の制御」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三上 恵、百々瀬 愛、室崎 喬之、野方 靖行、平井 悠司、下村 政嗣
2. 発表標題 表面微細構造と表面化学組成を組み合わせた基板におけるフジツボ付着の調査
3. 学会等名 2020年度日本付着生物学会研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 室崎 喬之、百々瀬 愛、野方 靖行、小野寺 真也、東 乙比古、平井 悠司
2. 発表標題 フィールド環境下における海洋付着生物に対するPVA薄膜の抗付着効果
3. 学会等名 第71回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ai Momose, Takayuki Murosaki, Yuji Hirai, Yasuyuki Nogata, Masatsugu Shimomura
2. 発表標題 Antifouling coatings of cross-linked PVA against marine sessile organisms
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 百々瀬 愛 室崎 喬之, 平井 悠司, 野方 靖行, 下村 政嗣
2. 発表標題 架橋ポリビニルアルコール上でのフジツボ付着の調査
3. 学会等名 2019年度高分子学会北海道支部若手研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 百々瀬 愛 室崎 喬之, 平井 悠司, 野方 靖行, 下村 政嗣
2. 発表標題 末端 OH / COOH基混合自己組織化単分子膜上でのフジツボの付着挙動
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Murosaki, Yasuyuki Nogata, Yuji Hirai
2. 発表標題 Barnacle settlement behaviors on microstructured surfaces with different geometric parameters
3. 学会等名 The 36th International Conference of Photopolymer Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 室崎 喬之
2. 発表標題 表面微細構造による海洋付着生物の付着抑制技術
3. 学会等名 2019 年度 粉体操作に伴う諸現象に関する勉強会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Murosaki, Yasuyuki Nogata, Yuji Hirai
2. 発表標題 Pre-settlement behaviors of cypris larvae of the barnacle, <i>Amphibalanus amphitrite</i> , on the micro-structured surfaces
3. 学会等名 The open International Symposium: Reproductive Biology of Barnacles (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Murosaki, Yasuyuki Nogata, and Yuji Hirai
2. 発表標題 Settlement behavior of sessile organisms on micro-structured surfaces
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 室崎 喬之
2. 発表標題 材料の表面形態と海洋付着生物（主にフジツボ類）の付着に関する最新のトピックス
3. 学会等名 旭川高専特別講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 百々瀬 愛、瀬川 雄太、室崎 喬之、平井 悠司、野方 靖行、下村 政嗣
2. 発表標題 ヒドロキシ基比率の異なる基板上におけるフジツボの付着挙動
3. 学会等名 第53回高分子学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuji Hirai, Riku Tamura, Syun Uemura, Yasutaka Matsuo, Takahiro Okamoto, Toshihiko Arita, Masatsugu Shimomura
2. 発表標題 Vulcanized Rubber Microstructures and Their Wettability Control by Elongation
3. 学会等名 42 nd Annual Meeting, The Adhesion Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 百々瀬 愛、瀬川 雄太、室崎 喬之、平井 悠司、野方 靖行、下村 政嗣
2. 発表標題 材料表面のヒドロキシ基比率とフジツボの着生との関係
3. 学会等名 2019年度日本付着生物学会総会・研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 百々瀬 愛、瀬川 雄太、室崎 喬之、平井 悠司、野方 靖行、下村 政嗣
2. 発表標題 表面化学組成の違いがフジツボの付着に及ぼす影響
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平井 悠司、田村 陸、松尾 保孝、岡松 隆裕、有田 稔彦、下村 政嗣
2. 発表標題 超撥水微細構造ゴムの延伸による濡れ性制御
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平井悠司、田村陸、下村政嗣、松尾保孝、岡松隆裕、有田稔彦
2. 発表標題 微細構造を有する超撥水加硫ゴムの延伸による濡れ変化
3. 学会等名 日本ゴム協会 2018年年次大会(創立90周年記念大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 AI MOMOSE, YUTA SEGAWA, TAKAYUKI MUROSAKI, YUJI HIRAI, YASUYUKI NOGATA, MASATSUGU SHIMOMURA
2. 発表標題 Evaluations of Barnacle Settlements on Self-assembled Monolayer Surfaces
3. 学会等名 14th INTERNATIONAL CERAMICS CONGRESS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 百々瀬 愛、瀬川 雄太、室崎 喬之、平井 悠司、野方 靖行、下村 政嗣
2. 発表標題 基板表面のヒドロキシ基がフジツボの付着に与える影響
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 室崎 喬之、野方 靖行、平井 悠司、下村 政嗣
2. 発表標題 海洋付着生物に対する表面微細構造を用いた低環境負荷型防汚材料の開発
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ai Momose, Yuta Segawa, Takayuki Murosaki, Yuji Hirai, Yasuyuki Nogata, Masatsugu Shimomura
2. 発表標題 Influence of the surfaces with different hydroxyl group ratio on the settlement of barnacles
3. 学会等名 7th Nagoya Biomimetics International Symposium (NaBIS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ai Momose, Yuta Segawa, Takayuki Murosaki, Yuji Hirai, Yasuyuki Nogata, Masatsugu Shimomura
2. 発表標題 Investigation of the barnacle settlements on the surfaces with different hydroxyl group ratio
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	野方 靖行 (Nogata Yasuyuki) (10371535)	一般財団法人電力中央研究所・環境科学研究所・上席研究員 (82641)	
研究分担者	室崎 喬之 (Murosaki Takayuki) (40551693)	旭川医科大学・医学部・助教 (10107)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------