

令和元年6月26日現在

機関番号：54101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06819

研究課題名(和文) バイオフィーム生成超初期過程の走査型イオン伝導顕微鏡その場観察

研究課題名(英文) In-situ observation on initial stage of biofilm formation by means of scanning ion conductance microscopy

研究代表者

平井 信充 (Hirai, Nobumitsu)

鈴鹿工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：50294020

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：バイオフィーム加速生成装置(Laboratory Biofilm Reactor; LBR)を用いて常在菌(環境菌)により生成するバイオフィームや、枯草菌*Bacillus subtilis*、海洋菌*Aliivibrio fischeri*等の単一菌により生成するバイオフィームが、ガラスや透明プラスチックなど様々な基板上に形成される超初期過程について、水中その場で走査型イオン伝導顕微鏡(Scanning Ion Conductance Microscopy: SICM)を用いて詳細な3次元構造をサブミクロンスケールで詳細に観察することに世界で初めて成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バイオフィームは、細菌の作用により水と接する各種材料表面に膜状に形成され、様々な悪影響を引き起こす。そのため、バイオフィームの生成を抑制する材料の開発が強く望まれているが、材料との相互作用の影響を最も受けるバイオフィーム生成の超初期過程について、その観察手法は確立されていなかった。今回本研究により、走査型イオン伝導顕微鏡(SICM)による、様々な基板上に形成した様々なバイオフィームの生成超初期過程の観察手法の確立に世界で初めて成功した。今後、バイオフィーム付着挙動の基板種依存性をSICMにより明らかにし、バイオフィームの生成を抑制する材料の開発につながることを期待できる。

研究成果の概要(英文)：In situ three dimensional observation in detail at submicron scale in water on the early initial stage of formation of biofilm formed by various kinds of bacteria, called "environmental biofilm" in Laboratory Biofilm Reactor (LBR) or by one kind of bacteria such as *Bacillus subtilis*, *Aliivibrio fischeri*, etc, on various substrates, such as glass, plastics, and so on, have been succeeded by means of Scanning Ion Conductance Microscopy (SICM).

研究分野：界面制御工学

キーワード：走査型イオン伝導顕微鏡 バイオフィーム めめり 走査型プローブ顕微鏡 微生物 細菌 形態観察  
バイオフィアウリング

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

バイオフィームとは、水があるあらゆる場所に存在しており、自然界にも広く存在する。生物由来の膜状物質であり、細菌の作用により各種材料表面に形成される。バイオフィームの形成過程の概要は以下の通りである。材料表面に付着した細菌が、細胞外重合物質 (EPS, Extracellular polymeric substance) を分泌し、それにより、バリアーを形成することで、環境変化や化学物質から内部の細菌を守る。これにより、生息密度の高い閉鎖的なコロニーが形成され、恒常性が保たれると考えられている。細菌は材料表面に形成されたバイオフィーム中に生息し、材料と相互作用を起こす。具体的には、金属表面に形成されると腐食、歯の表面に形成されると虫歯、病院内で形成されると感染症、食品表面に形成されると腐敗等の原因となる。このようにバイオフィームは様々な問題の原因となっていることから、その生成防止や除去方法に関する知見は極めて重要であるが、現状は対処療法的なアプローチに留まっているのが現状である。

この理由を明らかにするためには、基板材料の影響が最も大きいと思われる、菌が材料に付着してバイオフィームが成長し始める「成長の超初期過程」についての詳細な理解が必須である。その理解に向けた重要な解析手法の一つとして、様々な環境下 (様々な基板上、様々な水溶液中 (例えばバイオフィーム洗浄剤含有溶液)) でバイオフィームがどのように成長、溶解、形態変化するかについての、液中その場での観察が挙げられる。

本研究で使用する走査型イオン伝導顕微鏡 (Scanning Ion Conductance Microscopy : SICM) は液中環境においてイオン電流を検出することによりプローブを制御し、試料表面の 3 次元形状を取得できる走査型プローブ顕微鏡である。プローブ先端が非接触で走査できることから、試料表面との相互作用力は原子間力顕微鏡等にも比べても非常に小さく、極めて軟らかい試料でも形状を歪ませることなく観察できる。また液中環境にて観察できるため、バイオフィームが形成された環境を保った状態での観察が可能となる。さらにアスペクト比の高いナノピペットをプローブとしているため、液中において立体的に形成されたバイオフィームの状態を高分解能で観察できることが期待できる。

### 2. 研究の目的

従来細胞等の水中における形態観察に用いられてきた走査型イオン伝導顕微鏡 (Scanning Ion Conductance Microscopy : SICM) を用いて、各種基板上に生成した各種バイオフィームの形状をナノスケールで正確に水中その場で観察する手法を確立することが本研究の目的である。



図1 LBRの外観写真

### 3. 研究の方法

#### (1)常在菌 (環境菌) バイオフィームの観察

実験室バイオフィーム加速生成機 (Laboratory Biofilm Reactor : 以下 LBR) 1) (図1) にガラス板 (10mm x 10mm x 1mm) をセットし、希釈した人工海水 (塩分濃度約 1%) を 30 °C で 1 週間循環させてガラス板表面に常在菌バイオフィームを成長させた後、SICM に導入し、生理食塩水中でその表面を観察した。なお、同様の条件で常在菌バイオフィームを成長させたガラス板表面をラマン分光分析機 (NRS-3100, JASCO 社製) で分析した。

#### (2)単一菌 (海洋菌, *aliivibrio fischeri*) バイオフィームの観察

バイオフィームを形成する菌として、国立研究開発法人理化学研究所バイオリソース研究センター (RIKEN BRC) 微生物材料開発室より購入した海洋菌 (*aliivibrio fischeri*, JCM18803) を用いた。SICM 観察に用いる海洋菌バイオフィームは以下の手順で作製した。マリン寒天培地から海洋菌をニクロムループで 1 コロニーから釣菌し、培養液 50ml を用いて菌液を作製し、大気雰囲気下培養器中 (設定温度 22°C) で 48h 静置培養した。この菌液をリン酸緩衝生理食塩水にて 16 倍に希釈したのち、ポリスチレン製シャーレに入れて大気雰囲気下培養器中 (設定温度 22°C) で 60h 静置培養し、ポリスチレン製シャーレ内面にバイオフィームを形成した。その後、ポリスチレン製シャーレ中の液を、4% グルタルアルデヒドを含むリン酸緩衝生理食塩水に交換し、1 日以上静置することによりバイオフィームの固定化を行った後、SICM に導入しリン酸緩衝生理食塩水において表面観察を行った。

### 4. 研究成果

#### (1)常在菌 (環境菌) バイオフィームの観察

ラマン分光分析により 1513, 1154, 1007  $\text{cm}^{-1}$  近傍にピークが見られた。これは常在菌バイオフィームに特徴的なピークであった。よって本条件により基板上にバイオフィームが形成されていることがわかった。このバイオフィーム成長後の基板を生理食塩水中で SICM により観察した。図2に得られた SICM 観察像の一例を示す。

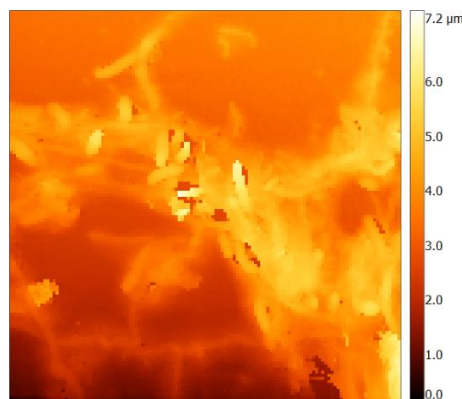


図2 常在菌バイオフィーム観察像

SICM 像の走査領域は  $40 \times 40 \mu\text{m}$ 、画素数は  $128 \times 128$  である。図において、より明るい部分がより高く、より暗い部分がより低いところを表している。図の上部および左下部にみられる平坦なガラス基板に、図の中央部および右部にみられるバイオフィームが成長していることがわかる。今回観察したバイオフィームは  $1 \sim 2 \mu\text{m}$  程度の太さを有する紐状のものが絡み合った構造をしていた。

(2) 単一菌 (海洋菌, *aliivibrio fischeri*) バイオフィームの観察

図 3 に得られた SICM 観察像の一例を示す。SICM 像の走査領域は  $48.3 \times 53.3 \mu\text{m}$ 、画素数は  $256 \times 256$  である。図において、より青い部分がより高く、より赤ないし黒い部分がより低いところを表している。図の中央やや左側にバイオフィームが成長していることがわかる。

(3) まとめと今後の展望

以上、2 つの代表的な観察例を示したが、他にも様々な条件下での観察を行った。それらの観察を通じて、バイオフィーム加速生成装置 (Laboratory Biofilm Reactor; LBR) を用いて常在菌 (環境菌) により生成するバイオフィームや、枯草菌 *bacillus subtilis* 海洋菌 *aliivibrio fischeri* 等の単一菌により生成するバイオフィームが、ガラスや透明プラスチックなど様々な基板上に形成される超初期過程について、水中その場で走査型イオン伝導顕微鏡 (Scanning Ion Conductance Microscopy: SICM) を用いて詳細な 3 次元構造をサブミクロンスケールで詳細に観察する技術の確立に成功したと考えている。今後、本観察技術を用いて、バイオフィームの微視的な付着形態とバイオフィームの除去しやすさとの関係性を明らかにするとともに、バイオフィーム洗浄剤含有溶液中におけるバイオフィーム微視的形態の経時変化観察を行うことにより、バイオフィームの生成を抑制する材料の開発につながる知見を積み上げたいと考えている。

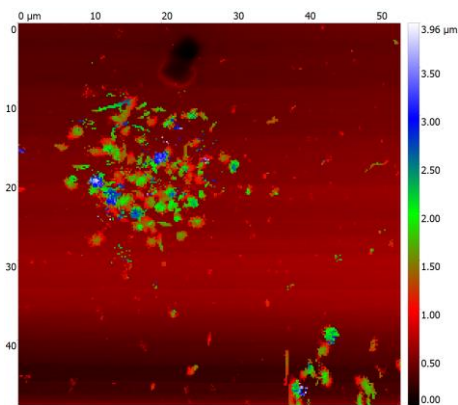


図 3 単一菌バイオフィーム観察像

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 16 件)

1. Evaluation for immunity of biomaterials based on Raman spectroscopy, H. Kanematsu, Y. Sakagami, D. M. Barry, M. Yoshitake, A. Ogawa, N. Hirai, T. Kogo, D. Kuroda, Y. Mizunoe, Materials Science and Technology 2018, 1482-1489, 2019.
2. Biofilm Formation of a Polymer Brush Coating with Ionic Liquids Compared to a Polymer Brush Coating with a Non-Ionic Liquid, H. Kanematsu, A. Oizumi, T. Sato, T. Kamijo, S. Honma, D. M. Barry, N. Hirai, A. Ogawa, T. Kogo, D. Kuroda, K. Sano, K. Tsunashima, S.-H. Lee and M.-H. Lee, Coatings 8(11), 398-1-398-14, 2018.
3. Effects of Elastic Waves at Several Frequencies on Biofilm Formation in Circulating Types of Laboratory Biofilm Reactors, H. Kanematsu, S. Maeda, D. M. Barry, S. Umeki, K. Tohji, N. Hirai, A. Ogawa, T. Kogo, H. Ikegai, and Y. Mizunoe, In ceramic Transactions - Advances in Ceramics for Environmental, Functional, Structural, and Energy Applications, 265, 43-51, 2018.
4. バイオフィーム SICM 形態観察に与える液中への固定化剤添加の影響, 平井信充, 吉岡正義, 岩田太, 兼松秀行, 材料とプロセス (CD-ROM) 31(2), ROMBUNNO.D32, 2018.
5. 鉄鋼スラグ上に形成された常在菌バイオフィーム生成量の定量分析の試み, 梅川響, 東浦英宇, 甲斐穂高, 平井信充, 材料とプロセス (CD-ROM) 31(2), ROMBUNNO.PS - 112, 2018.
6. Polymer Brush Made by Ionic Liquids and the Inhibition Effects for Biofilm Formation, H. Kanematsu, A. Oizumi, T. Sato, T. Kamijo, S. Honma, D. M. Barry, N. Hirai, A. Ogawa, T. Kogo, D. Kuroda, K. Tsunashima, ECS Transactions 85, 1089-1095, 2018.
7. Electrochemical Responses of Graphene with Biofilm Formation on Various Metallic Substrates by Using Laboratory Biofilm Reactors, H. Kanematsu, K. Shindo, D. M. Barry, N. Hirai, A. Ogawa, D. Kuroda, T. Kogo, K. Sano, H. Ikegai, Y. Mizunoe, ECS Transaction 85 491-498 2018.
8. Biofilm formation on titanium alloy surfaces in a laboratory biofilm reactor, H. Kanematsu, S. Kanesaki, H. Kudara, D. M. Barry, A. Ogawa, T. Kougo, D. Kuroda, N. Hirai, H. Ikegai, Y. Mizunoe, Ceramic Transactions 265, 219-228, 2018.
9. Effects of Ionic Liquids on Biofilm Formation in a Loop-Type Laboratory Biofilm Reactor, H. Kanematsu, T. Saito, D. M. Barry, N. Hirai, T. Kogo, A. Ogawa, K. Tsunashima, ECS Transaction 80(10), 1147-1155, 2017.
10. Biofilm Formation Behaviors on Graphene by *E. coli* and *S. epidermidis*, H. Kanematsu, M. Sato, K. Shindo, D. M. Barry, N. Hirai, A. Ogawa, T. Kogo, Y. Utsumi, A. Yamaguchi, H. Ikegai, Y. Mizunoe, ECS Transaction 80(10), 1167-1175, 2017.
11. The development of the anti-biofouling coating agent using metal nanoparticles and analysis by Raman spectroscopy and FIB system, K. Sano, H. Kanematsu, N. Hirai, A.

- Ogawa, T. Kogo, T. Tanaka, *Surface and Coatings Technology* 25(9), 1-7, 2017.
12. 走査型イオン伝導顕微鏡を用いた常在菌バイオフィーム形態観察, 平井信充, 兼松秀行, 生貝初, 白澤樹, 江口由祐, 岩田太, *材料とプロセス*(CD-ROM) 30(2) ROMBUNNO. D14 2017.
  13. シラン系樹脂に含有させた金属ナノパウダーの分散状態によるバイオフィーム付着性評価, 佐野勝彦, 兼松秀行, 平井信充, 小川亜希子, 幸後健, 田中敏宏, *材料とプロセス*(CD-ROM) 30(1), ROMBUNNO. 309, 2017.
  14. Corrosion resistance of some metal films by PVD and the biofouling in marine environments, H. Kanematsu, M. H. Lee, N. Hirai, A. Ogawa, T. Kogo, D. Kuroda, K. Sano, National Association for Surface Finishing Manufacturing and Technology Trade Show and Conference, SUR/FIN 2017 1, 102-109, 2017.
  15. Biofouling on mortar mixed with steel slags in a laboratory biofilm reactor, H. Kanematsu, K. Sano, T. Masuda, S. Yokoyama, N. Hirai, A. Ogawa, T. Kougo, K. Yamazaki, T. Tanaka, American Institute of Physics Publishing (AIP Publishing) 1807, 020004-1-020004-5, 2017.
  16. Application of a Loop-Type Laboratory Biofilm Reactor to the Evaluation of Biofilm for Some Metallic Materials and Polymers such as Urinary Stents and Catheters, H. Kanematsu, H. Kudara, S. Kanesaki, T. Kogo, H. Ikegai, A. Ogawa and N. Hirai, *Materials* 9(10), 824-834, 2016.

[学会発表] (計 39 件)

1. 鉄鋼スラグの沿岸域環境修復材としての応用時におけるスラグ上バイオフィーム生成の影響, 平井信充, イオン液体の革新的応用展開ネットワーク第3回研究会, 2019.
2. 各種バイオフィームで被覆した製鋼スラグを浸漬した人工海水の pH 測定, 廣田さくら, 加藤花, 中川元斗, 平井信充, 第28回日本MRS年次大会, 2018.
3. Changes of Raman shifts for biofilms with resonance effects of alternating electromagnetic fields, K. Yokoi, H. Kanematsu, H. Miura, A. Ogawa, N. Hirai, T. Kogo, D. Kuroda, K. Sano, K. Suzuki, D. M. Barry, 第28回日本MRS年次大会, 2018.
4. Staining of biofilms by crystal violet and the color change with the components, M. Takayanagi, S. Hosaka, Y. Sakagami, H. Kanematsu, A. Ogawa, N. Hirai, T. Kogo, D. Kuroda, K. Sano, D. M. Barry, 第28回日本MRS年次大会, 2018.
5. Estimation of the Amount of Biofilm Formed on Steelmaking Slags, H. Umekawa, H. Kai, H. Higashiura and N. Hirai, 第28回日本MRS年次大会, 2018.
6. Five Kinds of Bacteria and Their Differences of Biofilm Formation Behaviors, H. Kanematsu, A. Ogawa, N. Hirai, T. Kogo, D. Kuroda, K. Sano, D. M. Barry, 第28回日本MRS年次大会, 2018.
7. Graphene Sheets and Their Various Responses for Biofilm Formation, T. Kogo, H. Kanematsu, A. Tazaki, R. Nakagawa, A. Ogawa, N. Hirai, D. Kuroda, K. Sano, D. M. Barry, 第28回日本MRS年次大会, 2018.
8. Biofilm adhesion to silane-based resin with different structure, K. Sano, H. Kanematsu, N. Hirai, D. Kuroda, A. Ogawa, and T. Kougo, 第28回日本MRS年次大会, 2018.
9. Analyses for biofilm components by Raman spectroscopy and its reproducibility, Y. Sakagami, S. Hosaka, H. Kanematsu, N. Hirai, A. Ogawa, T. Kogo, D. Kuroda, K. Sano, D. M. Barry, 第28回日本MRS年次大会, 2018.
10. Polymer brush coating and its biofilm formation behaviors, A. Oizumi, H. Kanematsu, T. Sato, T. Kamijo, S. Honma, N. Hirai, A. Ogawa, T. Kogo, D. Kuroda, K. Sano, K. Tsunashima and D. M. Barry, 第28回日本MRS年次大会, 2018.
11. Wettability assessment by liquid-squeezing on biofilm formation, N. Tanaka, T. Kogo, N. Hirai, A. Ogawa, H. Kanematsu, J. Takahara, A. Awazu, Y. Haruzono, S. Ichida, and Y. Tanaka, 第28回日本MRS年次大会, 2018.
12. In-situ observation on biofilm formed on glass by scanning ion conductance microscopy, N. Hirai, F. Iwata and H. Kanematsu, 第28回日本MRS年次大会, 2018.
13. 枯草菌ないし海洋菌バイオフィームで被覆した製鋼スラグを浸漬した人工海水の pH 測定, 廣田さくら, 加藤花, 中川元斗, 平井信充, 日本鉄鋼協会シンポジウム「バイオフィーム被覆による鉄鋼スラグの新機能創出とその評価・分析 I」, 2018.
14. 種々のシラン系樹脂で被覆したスラグ表面へのバイオフィーム形成の差異, 佐野勝彦, 兼松秀行, 平井信充, 黒田大介, 小川亜希子, 幸後健, 日本鉄鋼協会シンポジウム「バイオフィーム被覆による鉄鋼スラグの新機能創出とその評価・分析 I」, 2018.
15. TOC分析によるバイオフィーム定量の試み, 梅川響, 甲斐穂高, 東浦英宇, 平井信充, 日本鉄鋼協会シンポジウム「バイオフィーム被覆による鉄鋼スラグの新機能創出とその評価・分析 I」, 2018.
16. 伊勢湾浸漬試験で製鋼スラグ上に形成されたバイオフィーム中の細菌叢解析, 小川亜希子, 田中礼士, 鈴木賢紀, 平井信充, 日本鉄鋼協会シンポジウム「バイオフィーム被覆による鉄

- 鋼スラグの新機能創出とその評価・分析 I」, 2018.
17. 構造の異なるシラン系樹脂へのバイオフィーム付着性, 佐野勝彦, 佐野勝彦, 兼松秀行, 平井信充, 黒田大介, 小川亜希子, 幸後健, 表面技術協会講演大会, 2018.
  18. 走査型イオン伝導顕微鏡による枯草菌バイオフィームの水中形態観察の試み, 平井信充, 白澤樹, 岩田太, 生体医歯工学共同研究拠点成果報告会, 2018.
  19. 鉄鋼スラグ上へのバイオフィーム生成挙動に関する研究, 平井信充, 藤本夏鈴, 加藤花, 兼松秀行, 生貝初, 溶融塩化学討論会, 2017.
  20. 機械的剥離法により形成されたグラフェンのバイオフィーム形成能について, 新堂浩大, 兼松秀行, 平井信充, 小川亜希子, 幸後健, 黒田大介, 中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2017.
  21. SICM observation on biofilm formed on glass substrates, N. Hirai, F. Iwata, H. Kanematsu, The 2nd International Symposium on Biomedical Engineering, 2017.
  22. Scanning Ion Conductance Microscopy of Indigenous Bacteria Biofilms formed on Glass Surface in Artificial Sea Water, N. Hirai, H. Sawada, S. Iida, T. Shirasawa, M. Yoshioka, Y. Eguchi, F. Iwata, H. Ikegai and H. Kanematsu, 8th International Symposium on Surface Science, 2017.
  23. カロテノイド分析によるバイオフィーム定量評価に関する基礎研究, 甲斐穂高, 東浦英宇, 平井信充, 日本鉄鋼協会シンポジウム「鉄鋼スラグ等各種材料上へのバイオフィーム形成挙動の評価・分析とその有効利用」, 2017.
  24. 鉄鋼スラグ上に形成されたバイオフィームの海水採取場所による違い, 佐野勝彦, 兼松秀行, 平井信充, 小川亜希子, 幸後健, 田中敏宏, 日本鉄鋼協会シンポジウム「鉄鋼スラグ等各種材料上へのバイオフィーム形成挙動の評価・分析とその有効利用」, 2017.
  25. バイオフィームによって引き起こされた微生物腐食の機構, 生貝初, 小林正和, 平井信充, 戸田裕之, 上杉健太郎, 兼松秀行, 日本鉄鋼協会シンポジウム「鉄鋼スラグ等各種材料上へのバイオフィーム形成挙動の評価・分析とその有効利用」, 2017.
  26. バイオフィームで被覆した鉄鋼スラグのカルシウム溶出挙動の調査, 加藤花, 中川元斗, 平井信充, 甲斐穂高, 日本鉄鋼協会シンポジウム「鉄鋼スラグ等各種材料上へのバイオフィーム形成挙動の評価・分析とその有効利用」, 2017.
  27. 鉄鋼スラグ上のバイオフィーム生成挙動に与える人工海水中腐植酸の効果, 藤本夏鈴, 赤塚友香, 平井信充, 日本鉄鋼協会シンポジウム「鉄鋼スラグ等各種材料上へのバイオフィーム形成挙動の評価・分析とその有効利用」, 2017.
  28. 電子顕微鏡および SICM によるガラス上バイオフィームの形態観察法の検討, 澤田遥, 平井信充, 岩田太, 日本鉄鋼協会シンポジウム「鉄鋼スラグ等各種材料上へのバイオフィーム形成挙動の評価・分析とその有効利用」, 2017.
  29. 銀および銅ナノ粒子分散シラン系樹脂コーティング膜の撥水性とバイオフィーム付着性の相関, 佐野勝彦, 兼松秀行, 平井信充, 小川亜希子, 幸後健, 田中敏宏, 表面技術協会講演大会, 2017.
  30. 鉄鋼材料上への溶融金属めっき/物理蒸着複合皮膜とそれらのバイオフィーム特性, 兼松秀行, PARK Jun - Mu, LEE Myeong - Hoon, 小川亜希子, 平井信充, 幸後健, 黒田大介, 佐野勝彦, 表面技術協会講演大会, 2017.
  31. ナノ銀粒子, 銅粒子分散シラン系樹脂コーティングコンポジットフィルムバイオフィーム抑制効果について, 兼松秀行, 平井信充, 小川亜希子, 黒田大介, 幸後健, 佐野勝彦, 生貝初, 水之江義充, 日本金属学会講演大会, 2017.
  32. バイオフィーム被覆による鉄鋼スラグの有用成分供給・環境修復機能の制御, 平井信充, 異分野融合シンポジウム「微生物を基軸とした環境と電気と金属」, 2017.
  33. 各種溶射材の大気腐食とバイオフィーム, 兼松秀行, 小川亜希子, 幸後健, 黒田大介, 平井信充, 日本溶射学会全国講演大会, 2017.
  34. いくつかのイオン液体を用いたバイオフィーム形成抑制効果の検討, 兼松秀行, 齋藤達希, 保坂翔也, 東史也, 幸後健, 小川亜希子, 平井信充, 網島克彦, 電気化学会講演大会, 2017.
  35. 銀ナノ粒子分散シラン系樹脂コーティングの表面状態とバイオフィーム付着性の相関, 佐野勝彦, 兼松秀行, 平井信充, 小川亜希子, 幸後健, 田中敏宏, 表面技術協会講演大会, 2017.
  36. 循環型バイオフィームリアクターを使った In - vitro バイオフィーム形成と 3D 顕微鏡による評価について, 兼松秀行, 小川亜希子, 幸後健, 平井信充, 黒田大介, 日本金属学会講演大会, 2017.
  37. ナノコンポジットフィルムによるバイオフィームフリー表面の作製とその評価法 (有機エレクトロニクス), 兼松秀行, 佐野勝彦, 幸後健, 小川亜希子, 平井信充, 電子情報通信学会技術研究報告会, 2016.
  38. SICM による常在菌バイオフィーム形態観察の試み, 平井信充, 飯田壮葵, 吉岡正義, 江口由祐, 岩田太, 生貝初, 兼松秀行, 第 36 回表面科学学術講演会, 2016.
  39. Trial of In-situ Observation on Indigenous Bacterium Biofilm in Aqueous Solution by means of Scanning Ion Conductive Microscopy, N. Hirai, S. Iida, M. Yoshioka, Y.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等 <https://researchmap.jp/read0051689/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：兼松 秀行

ローマ字氏名：Hideyuki Kanematsu

所属研究機関名：鈴鹿工業高等専門学校

部局名：

職名：教授

研究者番号（8桁）：10185952

研究分担者氏名：生貝 初

ローマ字氏名：Hajime Ikegai

所属研究機関名：人間総合科学大学

部局名：人間科学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：60184389

研究分担者氏名：岩田 太

ローマ字氏名：Futoshi Iwata

所属研究機関名：静岡大学

部局名：電子工学研究所

職名：教授

研究者番号（8桁）：30262794

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。