

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02795

研究課題名（和文）高分子ソフト界面における表面電位の正確な理解とバイオ応用

研究課題名（英文）Accurate understanding of the surface potential in polymer soft interfaces and the bio-applications

研究代表者

増田 造（Masuda, Tsukuru）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教

研究者番号：70814010

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では高分子の精密重合により系統的に構造制御したモデル界面を調製し、界面動電現象の解析と界面における生体・細胞との相互作用との関わりを解析した。4級アンモニウムを含む高密度なポリマーブラシにおいては固体表面に用いられる式が解析に適し、タンパク質吸着は静電相互作用により制御された。さらにバクテリアとの相互作用解析を行うことで、高密度な界面では低密度な界面に比較してバクテリア培養初期に強く相互作用することが示され、殺菌性の要因と考えられた。以上より、高分子材料合成と構造-物性相関及び相互作用解析の精緻な研究から抗菌材料の原理が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では高分子材料合成と構造-物性相関及び相互作用解析の精緻な研究から、高分子界面の構造がタンパク質のような分子スケールの対象からバクテリアの接着挙動・活性に及ぼす影響を評価することに成功している。抗菌材料は、医療・環境分野において重要な材料であり、その設計に関わるメカニズムを精密な相互作用解析から示したことは高分子材料・生体材料分野において意義のある貢献である。今後さらに、高分子の化学構造が相互作用に及ぼす影響を解析することで、分子レベルのメカニズムや抗菌材料の設計指針につながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：Surface potential is one of the important factors affecting the functionality of the interfaces. In this study, model interfaces were systematically prepared by controlled radical polymerization to investigate the electrophoretic behavior and interaction to biomolecules and cells. For the cationic polymer brushes possessing quaternary ammonium moiety, the equation for the solid surface was suited, and interaction to protein was regulated by the electrostatic interaction. The interaction analysis to bacteria suggested that initial adsorption of bacteria on the high-graft-density polymer brush strongly interacted compared to that of the low-graft-density polymer brush. This result was considered to involve in the bactericidal ability. Thus, structure-property relation for polymer materials and precise interaction analysis indicated the mechanism for bactericidal materials.

研究分野：高分子材料

キーワード：高分子ソフト界面 表面電位 精密ラジカル重合 生体材料 水晶振動子マイクロバランス 分子間相互作用解析

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

高分子などのソフトマターからなる表面・界面(ソフト界面)は、高分子鎖と溶媒・イオンが存在する nm スケールの厚みをもつ境界層であり、2次元的な固体表面とは異なる性質を持つ (*Prog. Polym. Sci.* **2010**, *35*, 94.)。表面電位は界面機能を支配する重要な因子のひとつである。材料科学の観点からは生体の構成要素(タンパク質・細胞など)もソフトマターであり、近年大きく発展するバイオ応用においてもソフト界面の表面電位の理解は不可欠である。

表面電位の指標にはゼータ電位が広く用いられている。一般的な固体界面ではゼータ電位を電気泳動移動度から求めることができるが、これは明確な表面を持つことを前提とした理論に基づく。一方、溶媒・イオンが浸透するソフト界面において厳密にはゼータ電位を定義できない。Ohshima らの理論によると、溶媒・イオンが浸透する界面における電気泳動移動度は、体積あたりの電荷密度と高分子層での溶媒の流れを表すパラメータ(*softness*)で定まり、電荷密度が表面電位と対応する (*Sci. Technol. Adv. Mater.* **2009**, *10*, 063001.)。しかしながら、ソフト界面の表面電位も固体界面の理論に基づくゼータ電位により議論されてきた。これは表面電位の過大評価につながるとともに、固体界面の理論では説明できない現象も報告されている(細胞での例: *Colloid Polym. Sci.* **1994**, *272*, 487.)。このように、ソフト界面は厳密なモデルに基づいた材料設計がなされていない。

構造明確なソフト界面において、実際の界面構造と界面導電現象の理論式に基づく解析の対応を調査することで、ソフト界面における表面電位を正確に理解する学問的基盤を構築できると予想される。ここで、構造明確なソフト界面(モデル界面)として、片末端が基板固定され良溶媒中で高分子が伸長した形態をとるポリマーブラシに注目した。これは高分子の精密ラジカル重合法により調製可能であり、高分子鎖の鎖長・密度が系統的に制御できる。

ソフト界面における表面電位の理解は、応用においても必須である。本研究では、構造・電位が規定されたソフト界面と、生体分子や種々の細胞との相互作用が定量的に制御できるか評価し、バイオ界面として抗菌界面の設計の指針を得ることを目指した。

2. 研究の目的

高分子の精密ラジカル重合法により系統的に構造制御したモデル界面を調製し、実際の界面構造と界面導電現象の理論式に基づく解析の対応を調査することでソフト界面の表面電位の正確な理解を目的とする。得られた学問的基盤に基づくバイオ応用として、抗菌性表面の設計指針を提案する。

3. 研究の方法

高分子の精密ラジカル重合法を用いて、修飾する高分子鎖の鎖長・密度を制御した表面を調製する。特に、片末端を基板固定して高密度に高分子鎖を修飾することで、良溶媒中で高分子が伸長した形態をとるポリマーブラシについて検討した。高分子の精密ラジカル重合法として、表面開始型原子移動ラジカル重合(SI-ATRP)を用いた。調製した高分子の分子量・化学構造は、それぞれゲル浸透クロマトグラフィー(GPC)および核磁気共鳴(NMR)から評価した。また、高分子修飾表面の構造は X 線光電子分光(XPS)による元素分析、分光エリプソメトリ、接触角測定から評価した。

調製した表面の電荷密度・表面電位は、界面動電現象における電気泳動移動度から解析した。一般的な固体表面に対する Smolchowski の式によると、単位面積あたりの電荷密度からゼータ電位が決まる。また Ohshima の式では、体積あたりの電荷密度(Z_eN)と高分子層での溶媒の流れを表す *softness* パラメータ (λ^{-1}) を推定でき、電荷密度が表面電位と対応する。

生体分子との相互作用解析について、電荷が異なる 2 種類のタンパク質としてウシ血清アルブミン (BSA) とリゾチームを対象として、エネルギー散逸型水晶振動子マイクロバランス (QCM-D) による相互作用解析を行った。さらに抗菌性の指針を得るため、バクテリアとして黄色ブドウ球菌 (*S. aureus*) の接着挙動を解析した。

4. 研究成果

本研究では SI-ATRP により 4 級アンモニウム塩を側鎖にもつ poly(2-(methacryloyloxy)ethyl) trimethyl ammonium chloride (PMTAC) からなるカチオン性ポリマーブラシを膜厚・グラフト密度を制御しながら合成した。SI-ATRP の開始として、(11-(2-bromo-2-methyl)propionyloxy) trichloro silane (BrC11TCS) を用い、グラフト密度が低いポリマーブラシの合成には非開始剤として dodecyltrichlorosilane を用いた (図 1)。サンプルは、モノマーと開始剤の濃度比 $[M]/[I]$ (X) とシランカップリングにおける BrC11TCS/(BrC11TCS + dodecyltrichlorosilane) の比率 (Y) を用いて、PMTACX-I-Y と表記する。高分子及び高分子修飾表面の構造解析を行ったところ、系統的に膜厚とグラフト密度を制御できたことを確認した (表 1)。また、接触角測定からいずれの表面も親水性であることを確認した。

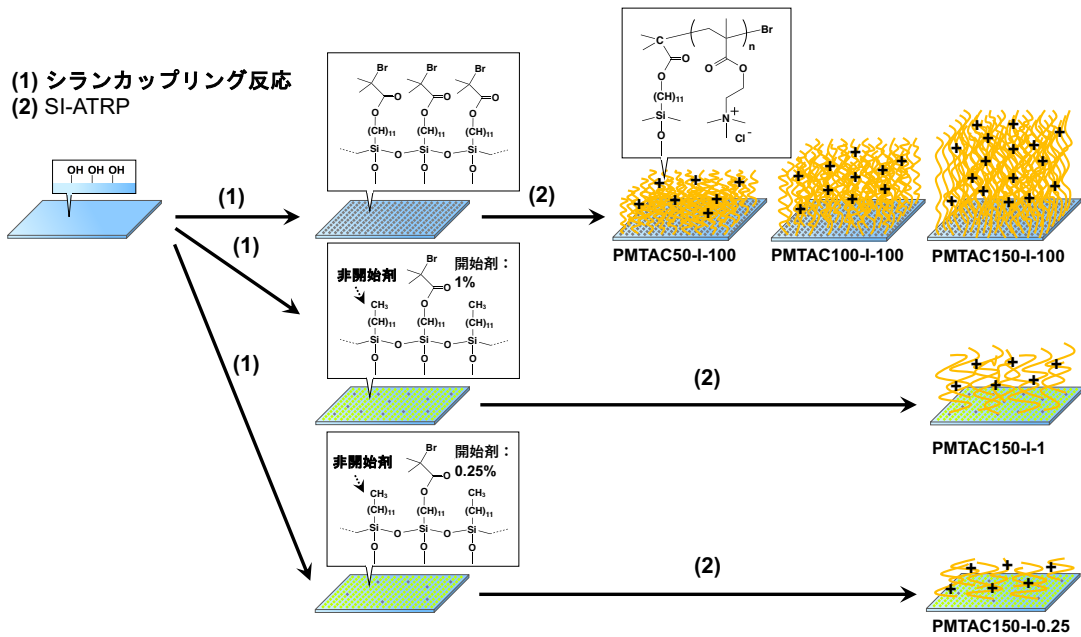


図 1. Poly(2-(methacryloyloxy)ethyl) trimethyl ammonium chloride) (PMTAC)からなるカチオン性ポリマーブラシの合成.

表 1. PMTAC ブラシの評価.

Sample	Thickness / nm ^{a)}	Graft density / chains nm ⁻²	Contact angle in air / deg	Contact angle in water / deg
PMTAC50-I-100	7.3 ± 0.4	0.48	18.8 ± 8.4	139.2 ± 5.6
PMTAC100-I-100	11.8 ± 0.6	0.43	16.3 ± 7.4	143.1 ± 7.1
PMTAC150-I-100	17.6 ± 0.3	0.45	8.3 ± 2.3	145.6 ± 7.8
PMTAC150-I-1	6.2 ± 0.4	0.16	12.7 ± 2.4	152.7 ± 6.4
PMTAC150-I-0.25	2.2 ± 1.0	0.06	48.4 ± 1.4	152.6 ± 7.0

a) 分光エリプソメトリによる解析.

図 2(a)に電気泳動光散乱における電気泳動移動度 (EPM, μ)の NaCl 濃度依存性を示す。いずれの表面においても NaCl 濃度の増加に従って移動度は低下した。本結果の解析に Ohshima の式を適用したところ、表面電位の値はほぼ 0 mV と電的に中性であることを予測したが、後述するタンパク質吸着が静電相互作用により制御されることを説明できないと考えられた。固体表面に用いられる Smolcowski の式を適用したところ、フィッティングが適しいずれの構造の PMTAC ブラシも正に帯電する結果を与えた (図 2(b), 表 2)。ここで、 L は表面の電荷から滑り面までの距離に対応するパラメータであるが、いずれも 1 nm 以下であった。ポリマーブラシは高密度な構造であり、電気浸透流が高分子層内に浸透しないことが考えられる。

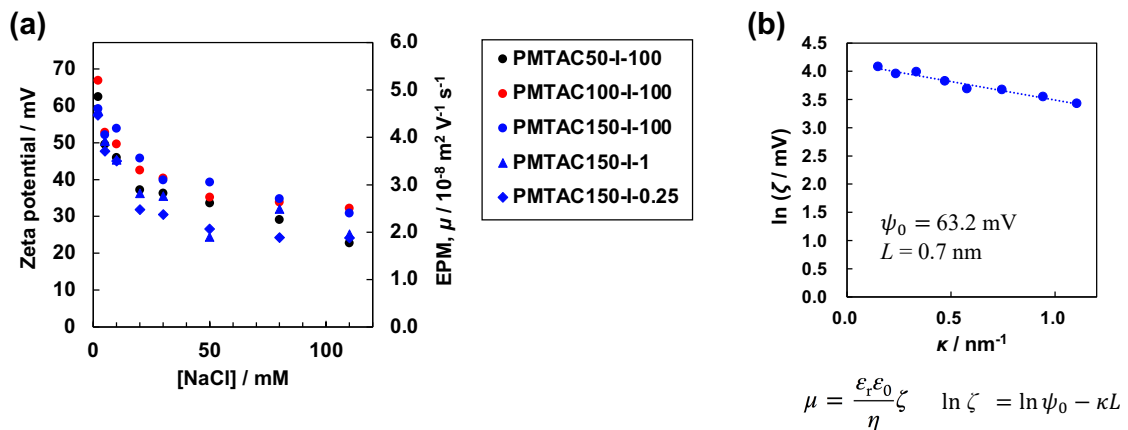


図 2. (a) 電気泳動光散乱による電気泳動移動度の NaCl 濃度依存性の解析. (b) Smolcowski の式によるフィッティング解析.

表 2. Smolcowski の式による解析.

Sample	ψ_0 / mV	L / nm	R^2
PMTAC50-I-100	63.6	0.9	0.95
PMTAC100-I-100	64.0	0.7	0.90
PMTAC150-I-100	63.2	0.7	0.96
PMTAC150-I-1	59.1	0.8	0.82
PMTAC150-I-0.25	57.7	0.9	0.88

QCM-D によりリン酸緩衝 (PBS, pH 7.4) 中でのタンパク質の吸着量を評価した。タンパク質として BSA (pI ~ 5) とリゾチーム (pI ~ 11) を用い、それぞれ PBS 中で負・正に帯電している。高密度な PMTAC ポリマーブラシに対して、BSA は顕著に吸着したのに対してリゾチームの吸着量は少なかった (図 3)。すなわち、タンパク質吸着は静電相互作用により制御できたと考えられる。グラフト密度が低下すると、リゾチームの吸着量が増加した。これは、タンパク質のポリマー鎖中にできた隙間への入り込みによると考えられる。

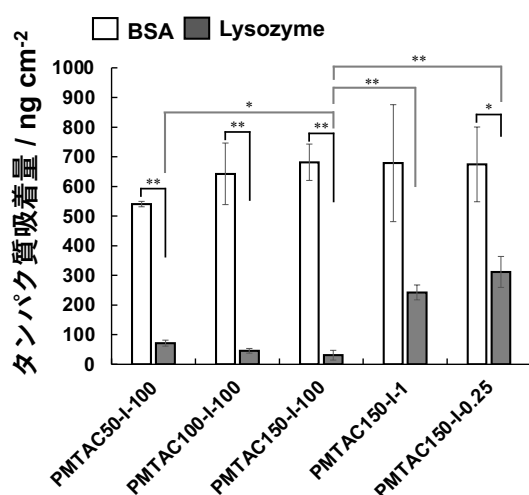


図 3. PMTAC ブラシにおけるタンパク質吸着量の評価.

続いて、殺菌性の評価を行った。高密度なポリマーブラシ PMTAC150-I-100 (0.45 chains nm⁻²) および低密度なポリマーブラシ PMTAC150-I-0.25 (0.06 chains nm⁻²) に *S. aureus* を栄養培地 (Trypticase soy broth, TSB) 中で作用させ LIVE/DEAD 染色を行ったところ、高密度な PMTAC150-I-100 において高い殺菌性が見られた。界面における殺菌にはポリマーブラシと細胞膜の接触が必要であるため、高密度な PMTAC ポリマーブラシ表面の高い殺菌性は、ポリマーブラシ表面と細菌間の接触面積の増加によるものと考えられる。そこで、メカニズムを考察するため、QCM-D 測定におけるエネルギー散逸に注目して吸着状態の考察を行った。

まずは、分子スケールでの相互作用を考察するためタンパク質について解析を行った。図 4(a) に吸着における周波数変化 (ΔF) とエネルギー散逸変化 (ΔD) の関係を示す。いずれのデータにおいても F 値の減少がタンパク質の吸着に対応する。Lysozyme の吸着では、 ΔF の減少に伴い D 値が増加し、これはタンパク質吸着において典型的に見られる振る舞いである。一方、アニオン性の BSA の吸着において、低密度な PMTAC150-I-0.25 では D 値が増加したが、高密度な PMTAC150-I-100 では D 値が減少した。これは BSA が吸着した PMTAC150-I-100 は吸着前よりも硬い状態になっており、アニオン性の BSA が PMTAC ポリマーブラシに強固に吸着していると考えられる。このように、静電相互作用により駆動されるタンパク質吸着では、グラフト密度が吸着状態に影響する重要なパラメータであることが示された。

さらに QCM-D 測定において TSB 中で 37 °C でバクテリアを培養しながら、PMTAC150-I-100 および PMTAC150-I-0.25 に対する接着挙動を解析した (図 4(b))。バクテリアの接着に伴い F 値が減少し、 D 値は増加した。接着初期 (10 分, 図 4(b)-(1)) における $\Delta D/\Delta F$ を解析したところ、PMTAC150-I-100 における $\Delta D/\Delta F$ の方が値が小さかった。これは高密度な PMTAC ポリマーブラシにおいて、低密度な PMTAC ポリマーブラシよりも *S. aureus* が強く相互作用することを示しており、これが殺菌性が高くなる要因であることが考えられた。培養を継続すると、 D 値が増加し (図 4(b)-(2))、2 時間以上経過するとさらにその傾きの減少が見られた (図 4(b)-(3))。PMTAC150-I-0.25 の殺菌性が低いことを考慮すると、PMTAC150-I-0.25 における $\Delta D/\Delta F$ の減少は、*S. aureus* が活性であり生物学的な作用により細胞接着できたことを示すと考えられる。一方、高密度な PMTAC150-I-100 の傾き (3) は PMTAC150-I-0.25 における値よりも大きく、これは死細胞が細胞接着できないことを示唆しており、これは PMTAC150-I-100 の殺菌の結果であ

ると考えられる。以上のように、高分子界面の精密な構造制御と吸着量と吸着状態 (粘弾性) を高精度に測定可能な QCM-D 測定から、4 級アンモニウムを含む界面での殺菌性と吸着状態の関係を解析することができた。本研究成果は、界面科学の専門誌である *Langmuir* に掲載された (T. Masuda et al., *Langmuir* **2023**, *39*, 16522.)。

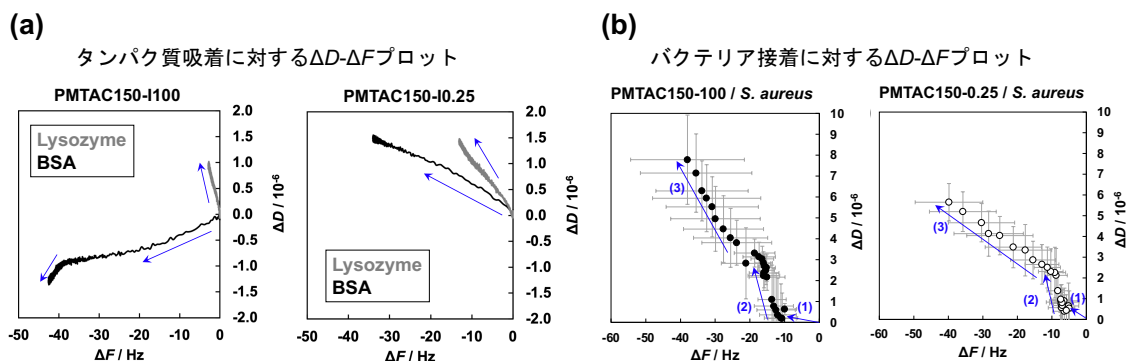


図 4. (a) タンパク質 BSA, 及びリゾチームの吸着における ΔD - ΔF プロット. (b) 栄養を含む培地中での *S. aureus* の接着における ΔD - ΔF プロット.

また、バクテリア付着抑制を示すコーティング材料として、親水性分子として双性イオンまたは非イオン性ユニットを含む共重合体の解析において、いずれの親水性分子を用いた場合でも random 共重合体よりも block 共重合体の方が効果的に付着抑制を示された。このようにバクテリアの付着抑制に向けた高分子材料設計指針を得ることに成功している (T. Masuda et al., *Heliyon* **2024**, *10*, e26347.)。

さらに、高分子の精密重合による界面構造制御に基づく機能性界面・生体材料の総合論文をまとめ、界面構造の精緻な制御の重要性の発信に努めた (T. Masuda et al., *Journal of Materials Chemistry B* **2022**, *10*, 1473.; T. Masuda et al., *Polymer Journal* **2024**, published online. <https://doi.org/10.1038/s41428-024-00908-7>).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Masuda Tsukuru, Watanabe Yoichi, Kozuka Yuta, Saegusa Yui, Takai Madoka	4. 巻 39
2. 論文標題 Bactericidal Ability of Well-Controlled Cationic Polymer Brush Surfaces and the Interaction Analysis by Quartz Crystal Microbalance with Dissipation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 16522 ~ 16531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.3c02472	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 Masuda Tsukuru, Yoshizawa Shoichi, Noguchi Aya, Kozuka Yuta, Isu Norifumi, Takai Madoka	4. 巻 10
2. 論文標題 Superior antibacterial surfaces using hydrophilic, poly(MPC) and poly(mOEGMA) free chains of amphiphilic block copolymer for sustainable use	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 e26347 ~ e26347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heliyon.2024.e26347	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 Kozuka Yuta, Masuda Tsukuru, Isu Norifumi, Takai Madoka	4. 巻 40
2. 論文標題 Antimicrobial Peptide Assembly on Zwitterionic Polymer Films to Slow Down Biofilm Formation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 7029 ~ 7037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.4c00086	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 Masuda Tsukuru	4. 巻 -
2. 論文標題 Design of functional soft interfaces with precise control of the polymer architecture	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-024-00908-7	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 Masuda Tsukuru, Takahashi Shutaro, Ochiai Takuro, Yamada Takayoshi, Shimada Naohiko, Maruyama Atsushi	4. 巻 14
2. 論文標題 Autonomous Vesicle/Sheet Transformation of Cell-Sized Lipid Bilayers by Hetero-Grafted Copolymers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 53558 ~ 53566
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscami.2c17435	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 Masuda Tsukuru, Takai Madoka	4. 巻 10
2. 論文標題 Design of biointerfaces composed of soft materials using controlled radical polymerizations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry B	6. 最初と最後の頁 1473 ~ 1485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TB02508B	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 Masuda Tsukuru, Takai Madoka	4. 巻 52
2. 論文標題 Structure and properties of thermoresponsive gels formed by RAFT polymerization: effect of the RAFT agent content	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 1407 ~ 1412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-020-00401-x	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 -

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 増田 造、渡部 洋一、ソ セキイ、高井 まどか
2. 発表標題 構造明確なポリマーブラシにおける分子間相互作用と予測の試み
3. 学会等名 第72回 高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 ソ セキイ、増田造、高井まどか
2. 発表標題 Machine learning modeling of the hydrophilic/hydrophobic properties of polymer brush to ward understanding protein adsorption
3. 学会等名 第72回 高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小塚 友太、増田 造、高井 まどか
2. 発表標題 双性イオン性ポリマー・抗菌性ペプチド修飾材料におけるバイオフィルム形成・除去評価
3. 学会等名 第72回 高分子討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 増田 造、ソ セキイ、渡部 洋一、高井 まどか
2. 発表標題 タンパク質吸着の予測に向けた構造明確なポリマーブラシの機械学習モデルの構築
3. 学会等名 第72回 高分子討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 増田 造、渡部 洋一、小塚 友太、三枝由依、高井 まどか
2. 発表標題 構造制御されたカチオン性ポリマーブラシ表面の殺菌性とバクテリアとの相互作用解析
3. 学会等名 膜学会 第45年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小塚 友太、増田 造、高井 まどか
2. 発表標題 抗菌性ペプチド固定化リン脂質ポリマー修飾膜によるバイオフィルム形成抑制・除去
3. 学会等名 膜学会 第45年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shiwei SU, Tsukuru MASUDA, Madoka TAKAI
2. 発表標題 Machine learning modeling of the wettability and zeta potential of polymer brush interface toward understanding protein adsorption
3. 学会等名 6th G'L'owing Polymer Symposium in KANTO (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tsukuru Masuda, Shiwei Su, Yoichi Watanabe, Madoka Takai
2. 発表標題 Analysis of Molecular Interaction in Well-Defined Polymer Brushes and Modeling by Machine Learning
3. 学会等名 MRM 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tsukuru MASUDA
2. 発表標題 Development of Structure Controlled Soft Interfaces: Bactericidal Ability and Molecular Interaction in Well-Controlled Cationic Polymer Brush Surfaces
3. 学会等名 6th G'L'owing Polymer Symposium in KANTO (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 増田 造
2. 発表標題 精密重合による機能性ソフト界面の設計と機械学習によるモデル化の試み
3. 学会等名 第188回 東海高分子研究会講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 増田 造
2. 発表標題 高分子界面の精密合成・構造-物性相関と機械学習モデル構築の試み
3. 学会等名 第74回 医用高分子研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 増田 造、渡部 洋一、高井 まどか
2. 発表標題 Characterization of surface potential and fixed aqueous layer of well-defined cationic polymer brush
3. 学会等名 第71回 高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田 造、三枝 由依、辻 俊一、高井 まどか
2. 発表標題 Making polymer gels viscostic: Reactivity of crosslinker in radical copolymerization affects viscoelasticity and adhesiveness
3. 学会等名 第71回 高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三枝 由依、増田 造、辻 俊一、高井 まどか
2. 発表標題 Development of highly viscous zwitterionic hydrogels toward biocompatible adhesive materials
3. 学会等名 第71回 高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田 造、渡部 洋一、高井 まどか
2. 発表標題 Structure controlled cationic poly(2-(methacryloyloxy)ethyl)trimethylammonium chloride) brushes toward antibacterial biointerfaces
3. 学会等名 ICYRAM2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田 造
2. 発表標題 精密なグラフト高分子構造制御とソフト界面機能
3. 学会等名 関東高分子若手研究会サマーキャンプ2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田 造、三枝 由依、辻 俊一、高井 まどか
2. 発表標題 ラジカル共重合と開始剤の反応性に基づく高粘性なハイドロゲルの創製
3. 学会等名 第71回 高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本 空、増田 造、高井 まどか
2. 発表標題 接着性マクロ開始剤を用いたリン脂質ポリマーブラシの合成と物性評価
3. 学会等名 第71回 高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田 造、三枝 由依、辻 俊一、高井 まどか
2. 発表標題 高粘性な双性イオン高分子ゲルの生体親和性粘着剤としての評価
3. 学会等名 第44回 日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田 造、渡部 洋一、高井 まどか
2. 発表標題 構造制御されたカチオン性ポリマーブラシ表面におけるタンパク質吸着と殺菌性の解析
3. 学会等名 第17回ナノ・バイオメディカル学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田 造、渡部 洋一、高井 まどか
2. 発表標題 構造明確なカチオン性ポリマーブラシ表面におけるタンパク質吸着と殺菌性：グラフト構造が相互作用の硬さに及ぼす影響
3. 学会等名 第32回 MRS-J年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ソ セキイ、増田 造、高井 まどか
2. 発表標題 Machine learning-based prediction of hydrophilic/hydrophobic property of well-defined polymer brush surfaces
3. 学会等名 第32回 MRS-J年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田 造、三枝 由依、辻 俊一、高井 まどか
2. 発表標題 高分子ゲル合成におけるラジカル共重合と開始剤の反応性の影響
3. 学会等名 第34回 高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 増田 造
2. 発表標題 精密な構造制御に基づく高分子ソフト界面の機能開拓
3. 学会等名 令和4年度高分子学会九州支部若手研究者フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡部洋一・増田造・高井まどか
2. 発表標題 カチオン性ポリマーブラシ修飾表面における膜厚と界面導電現象の解析
3. 学会等名 第70回 高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増田造・高井まどか
2. 発表標題 ラジカル重合における網目構造形成反応制御に注目したゲル設計：RAFT重合の利用
3. 学会等名 第70回 高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増田造・渡部洋一・高井まどか
2. 発表標題 カチオン性ポリマーブラシ表面をモデル界面とする界面導電現象の解析
3. 学会等名 第70回 高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡部洋一・増田造・高井まどか
2. 発表標題 The analysis of the electrokinetic behaviors of the well-defined cationic polymer brushes
3. 学会等名 第31回 MRS-J年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増田造・吉沢 翔一・野口 礼・井須 紀文・高井まどか
2. 発表標題 Antibacterial properties of amphiphilic block copolymer composed of electrically neutral hydrophilic segment and silane coupling segment
3. 学会等名 第31回 MRS-J年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増田造・辻俊一・小泉英樹・高井まどか
2. 発表標題 A Strong Cationic Radical Initiator-Based Synthesis of a Thermoresponsive Hydrogel
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増田造・渡部洋一・高井まどか
2. 発表標題 カチオン性ポリマーブラシ表面の合成とモデル界面としての界面動電現象解析
3. 学会等名 第32回 高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡部洋一・増田造・高井まどか
2. 発表標題 カチオン性・双性イオン性コポリマーブラシ表面における界面導電現象の解析
3. 学会等名 第69回 高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田造・高井まどか
2. 発表標題 RAFT重合を利用した温度応答性ゲルの合成：RAFT剤添加の効果
3. 学会等名 第29回 ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsukuru Masuda, Madoka Takai
2. 発表標題 Design of therremoresponsive gels by the use of RAFT polymerization: Effect of RAFT agent conte
3. 学会等名 3rd GLowing Polymer Symposium in KANTO (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田造・高井まどか
2. 発表標題 RAFT重合を利用した温度応答性ゲルの合成と評価：RAFT剤添加の効果
3. 学会等名 第32回 高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 増田造・坂本和歌子・嶋田直彦・丸山厚 (他、著者多数・監修：荏原充宏)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 315
3. 書名 刺激応答性高分子の開発動向	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------