

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04863

研究課題名(和文)非天然由来の合成高分子からなる新規な人工細胞の創製

研究課題名(英文)Creation of novel artificial cells consisting of non-natural synthetic polymers

研究代表者

吉田 絵里 (Yoshida, Eri)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60263175

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、天然には存在しない化合物から人工的に生命をつくり出せる可能性を実験的に示すこと目的として、細胞の生体膜の形態や動的挙動を、細胞と類似の構造をもつ、合成高分子の集合体に発現させることに成功した。生体膜の1形態である、多数の貫通した細孔を持つ核膜の形態や、神経細胞の軸索や樹状突起構造、ヒト赤血球の温度による形態変化、オートファジーに關与するカップ状単離膜の形成過程等を、両親媒性ジブロック共重合体の設計とその自己組織化を通して、共重合体を構成単位とする高分子ジャイアントベシクルでつくり出し、非天然の合成高分子から人工生命を創製できる可能性を実験的に証明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、生物学をはじめ、高分子化学や有機合成化学、コロイド化学、超分子科学など、幅広い分野に人工生命創製の手がかりを与えるものであり、学術的研究の進歩と発展を促す。また、生命誕生の起源の解明を助ける。一方、単細胞生物であるバクテリアの人工モデルとして、その生産活動を利用したバイオ燃料開発への応用や、極限環境条件下で増殖する古細菌のモデルとして、極限環境に生息するバクテリアの工業的な利用にも役立つことから、産業の発展にも寄与する。

研究成果の概要(英文)：With the aim of elucidating the possibility of artificial life employing non-natural compounds, this study investigated the creation of biomembrane morphologies and dynamic behaviors in synthetic polymer aggregates with similarity to cells in their structure. This investigation demonstrated that polymer giant vesicles, composed of amphiphilic diblock copolymers, could exhibit various cellular features such as the morphology of the nuclear envelope with numerous pores, neuron-like tubular extensions, erythrocyte-like morphological transformations, and the process of cup-like vesicle formation. These results highlight the potential of designing and self-assembling diblock copolymers to pave the way for the creation of artificial life using non-natural synthetic polymers.

研究分野：高分子化学

キーワード：人工細胞モデル 高分子ジャイアントベシクル 生体膜 自己組織化 両親媒性ジブロック共重合体 光精密リビングラジカル重合 重合誘導型自己組織化 人工生命

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

ベシクルは、1分子内に親水部と疎水部を合わせもつ界面活性剤様の分子が、水中で疎水部を内側に、親水部を外側に向けて集まってできた袋状の分子集合体である。疎水部が内側の層の中で二重に合わさった分子二重層の構造をとっており、生体内では脂質からなる脂質二重層として、細胞膜や細胞小器官の膜を形成し、生命活動の維持に重要な役割を果たしている。

著者は、天然には存在しない合成高分子を構成単位とする、マイクロメートルサイズのジャイアントベシクルが、その大きさや構造、物理的性質など多くの点で、細胞や細胞小器官を形成している生体膜と酷似していることを見出していた(Yoshida, *Colloid Polym. Sci.* 2013, **291**, 2733)。この発見は、生体由来の分子を用いなくても、非天然の化合物を使って人工的に生体膜をつくり出せることを意味している。この研究は、合成高分子という無生物から人工生命を創製できる可能性を秘めていることから多くの注目を集めていた(2nd International Conference and Exhibition on Materials Science & Engineering, 2013, Las Vegas, USAでの招待講演など)。さらに、著者は、生体内の消化器官や内分泌器官に見られる絨毛組織に、円錐型の臨界充填形を持つ脂質の割合が高いことに着目し、類似の臨界充填形を持つ合成高分子の設計・合成を通して、胆嚢の絨毛組織とほぼ同じ大きさの絨毛構造の創製に成功していた(Yoshida, *Colloid Polym. Sci.* 2015, **293**, 1841)。

2. 研究の目的

このような背景から、本研究では、合成高分子のさらなる設計を通して、非天然の合成高分子の分子二重層からなる高分子ベシクルに、生体膜と類似の形態や機能、さらに増殖作用をつくり出すことによって、人工的に生命を創製できる可能性を実験的に証明することを目的とした。この目的の設定には、「生体由来でない非天然の化合物を用いて、生命を人工的につくり出すことは可能か?」という、本研究課題の核心的な問いがある。これまで生体膜に関する研究の多くは、生体由来の分子を用いて行われてきたが、生体組織を構成する分子は、それ自体すでに生命を生み出す要素を潜在的に持っているため、生体分子を用いて人工生命をつくり出すことができたとしても、完全な意味での人工生命の創製とはいいい難い。そこで、本研究では、天然には存在しない合成高分子を用いて、その集合体であるベシクルに、生命を生み出す袋である生体膜の形態や機能を人工的につくり出すことによって、この問いに答えることを目標にした。

この研究は、単細胞生物である微生物の生産活動を利用したバイオ燃料開発への応用や、太古の深海に似た極限環境条件下で増殖し、かつ明確な核を持たない原始的な単細胞生物である古細菌のモデルとなることから、生命誕生の起源の解明にもつながると期待された。

3. 研究の方法

高分子ジャイアントベシクルを人工細胞モデルとして確立するために、石油由来の原料からなる両親媒性ジブロック共重合体を用いた。その合成方法には、ジブロック共重合体の生成とともにベシクルへの自己組織化が起こる、重合誘導型自己組織化法を採用した。この重合には著者が開発した、温度の影響を受けにくい、安定ニトロキシラジカルを触媒とする光精密リビングラジカル重合法を用いた。また、両親媒性ジブロック共重合体には、この研究課題の予備的な実験で細胞との類似性が見出されていた、ポリメタクリル酸(PMA)を親水部に、メタクリル酸エステル(RMA)とメタクリル酸(MA)のランダム共重合体(P(RMA-*r*-MA))を疎水部にもつ共重合体PMA-*b*-P(RMA-*r*-MA)を選択した。高分子ジャイアントベシクルは、(4-*tert*-ブチルフェニル)ジフェニルスルホニウムトリフレート存在下、2,2'-アゾビス[2-(2-イミダゾリン-2-イル)プロパン]を開始剤に、4-メトキシ-2,2,6,6-テトラピペリジン-1-オキシドを触媒とする重合で得られたPMAのリビングポリマーを用いて、70mol%のメタノール水溶液中、RMAとMAのランダムブロック共重合を行うことにより合成した。光精密リビングラジカル重合は、超高压水銀ランプによるUV照射により行った。

4. 研究成果

(1)人工核膜モデルの創製

生体膜のユニークな形態の1つに、細胞の核を取り囲み、多く貫通した穴を持つ核膜がある。この核膜の形態を、両親媒性ジブロック共重合体の自己組織化により形成されたジャイアントベシクルにつくり出すことに成功した。

ジャイアントベシクルの構成単位となる両親媒性ブロック共重合体には、PMAを親水セグメントに、メタクリル酸メチル(MMA)とMAからなるランダム共重合体(P(MMA-*r*-MA))を疎水セグメントにもつジブロック共重合体、PMA-*b*-P(MMA-*r*-MA)を用いた。共重合体の自己組織化膜中に穴をつくり出すには、ベシクル膜の構成成分に、穴の縁を形成する円錐型の臨界充填形をもつ共重合体を含む必要がある。そこで、共重合体の疎水セグメントに少量のメタクリル酸4-オキシ-2,2,6,6-テトラメチルピペリジン(TPMA)ユニットを導入し、MAユニットと酸塩基相互作用を起こさせることによって、切頭円錐型の共重合体の臨界充填形の一部を円錐型に変換することを考案した。

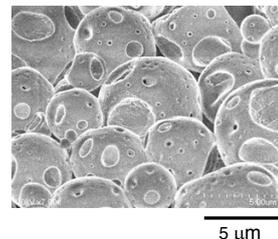


図1. 1mol%のTPMA unitsを含む両親媒性ジブロック共重合体の重合誘導型自己組織化によって形成された、多数の穴をもつ高分子ベシクルの走査型電子顕微鏡写真。

ジブロック共重合体の構造:
PMA₂₀₈-*b*-P(MMA_{0.826}-*r*-
MA_{0.164}-*r*-TPMA_{0.010})₃₅₂

P(MMA-*r*-MA)セグメントに1mol%のTPMAユニットを導入した結果、ベシクル膜中に多くの穴が形成されたことが、走査型電子顕微鏡観察により確認された(図1)。この穴の形成は、トルフルオロ酢酸(TfA)の添加により阻害されたことから、穴の形成が疎水セグメント中のTPMAユニットとMAユニットの相互作用に基づいていることが明らかになった。また、この穴をもつベシクルを加熱した結果、高分子ベシクル膜上で出芽分離が見出された。さらに、重合の進行によって、共重合体がジャイアントベシクルに自己組織化する際、疎水セグメントの伸長にともなって、ベシクルの膜内でより小さな子ベシクルが形成され、子ベシクルの膜内でさらに小さな孫ベシクルが形成される、ベシクルの新しい増殖形態をつくり出すことにも成功した。この研究成果に対し、海外の複数の国際学会に招待され、基調講演や招待講演を行った。

(2)人工神経細胞膜モデルの創製

生体内の情報伝達に重要な役割を果たしている神経細胞について、細胞体からの出芽による軸索と樹状突起の形成と伸長過程を、高分子ベシクル膜上でつくり出すことに成功した。神経細胞は情報伝達のために軸索と樹状突起を伸長するが、この過程は、細胞体から神経細胞膜に脂質分子を常に供給することにより維持される。この軸索と樹状突起の形成と伸長過程を高分子ベシクルで発現させるために、ベシクルにその膜成分である両親媒性ジブロック共重合体を供給することで、ベシクル膜上に突起構造が形成されるかを調べた。PMA-*b*-P(MMA-*r*-MA)からなる高分子ベシクルは、親水セグメントであるPMA鎖の長さによってその形態が異なり、PMA鎖がP(MMA-*r*-MA)鎖と同程度の長さの長鎖PMAからはワーム状の、それより短鎖のPMAでは球状のベシクルが形成される。そこで、直径約11.7 μ mの球状ベシクルの存在下で、長鎖PMAのリビングポリマーを用いて、MMAとMAのランダムブロック共重合を重合誘導型自己組織化に適用した。その結果、重合によって生成した共重合体が高分子ベシクル膜に吸収され、膜内での重合の進行による共重合体の成長によって、球状ベシクルの表面からワーム状ベシクルが突起し、軸索や樹状構造様の構造体が形成された。また、その形成過程は、重合の初期に多数の短い突起物がベシクル表面に出芽するが、重合の進行にともなって突起物の中の1本もしくは2本が太い突起物となって伸長し、さらに重合後期には突起物に分岐が起こることがわかった(図2)。自然界では、2本の軸索を持ちかつミエリン鞘のない神経細胞は、無脊椎動物のセンサー細胞に見出される。この突起構造の形成メカニズムは、神経細胞の軸索や樹状突起の形成メカニズムと酷似していることから、神経細胞膜の動的な形態を人工的につくり出すことができることを実験的に明らかにした。

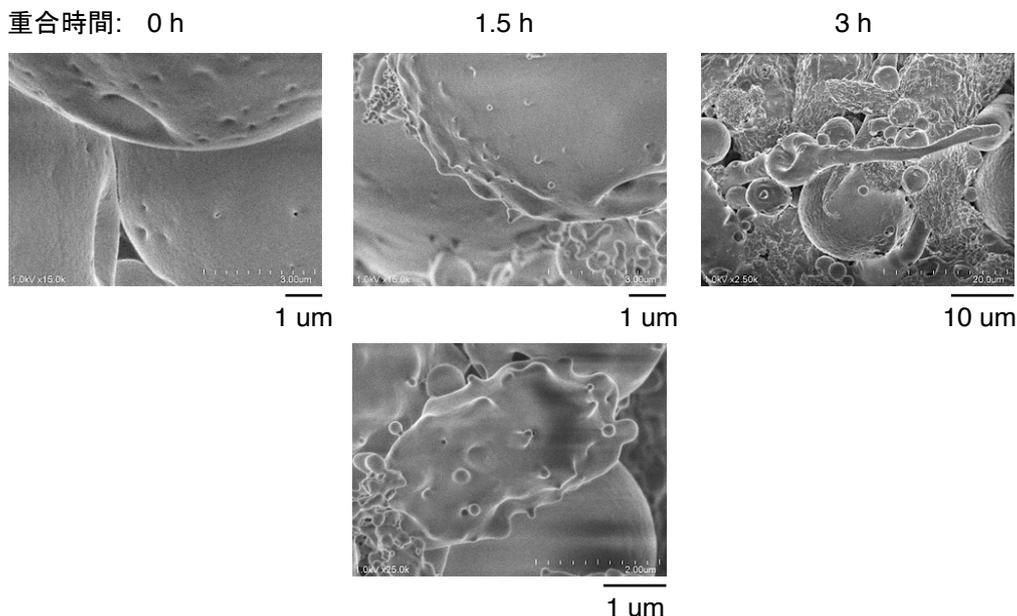


図2. 球状ベシクル(構成単位: PMA₁₄₁-*b*-P(MMA_{0.831}-*r*-MA_{0.169})₃₆₈)存在下の重合誘導型自己組織化により形成された2本の軸索状構造をもつ高分子ベシクルと、重合の進行による形成過程。

(3)ヒト赤血球の人工モデルの創製

赤血球は、通常両側に凹みを持つ円盤状の構造をとるが、その構造は温度変化によりさまざまな形態に変化する。この赤血球の形態変化を、高分子ベシクルの感熱応答挙動を利用して発現させることに成功した。メタクリル酸*n*-ブチル(BMA)とMAからなるランダム共重合体(P(BMA-*r*-MA))を疎水セグメントにもつ両親媒性ジブロック共重合体、PMA-*b*-P(BMA-*r*-MA)は、窪みをもつ球状ベシクルを形成する。このベシクルを、70mol%のメタノール水溶液中で室温から50°Cに加熱した。その結果、低濃度(6 g/L)のベシクル溶液では、温度の上昇にともなってベ

シクル膜の一部が微小球体となって融離し、自身は赤血球の1形態であるウニ状のechinocyte様の形態に変化した。一方、高濃度(10 g/L)では、赤血球の別の形態であるknizocyteやacanthocyte様の形態を経由して、カップ状のstomatocyte様の形態に変化することがわかった(図3)。光散乱解析および走査型電子顕微鏡観察の結果、これらの形態変化は、温度変化によって可逆的に起こることが明らかになった。また、この形態変化は、水溶液中のメタノールの含有量によっても引き起こされた。このように、ヒト赤血球と同程度のサイズを持つ高分子ジャイアントベシクルで、赤血球の形態変化に酷似した挙動を創製できたことは、この高分子ベシクルが赤血球の人工モデルとして有用であるとともに、このモデルを赤血球の形態変化によって引き起こされる疾病の解明や、赤血球の形態変化による貯蔵中の血液の劣化防止に応用できる可能性が示唆された。

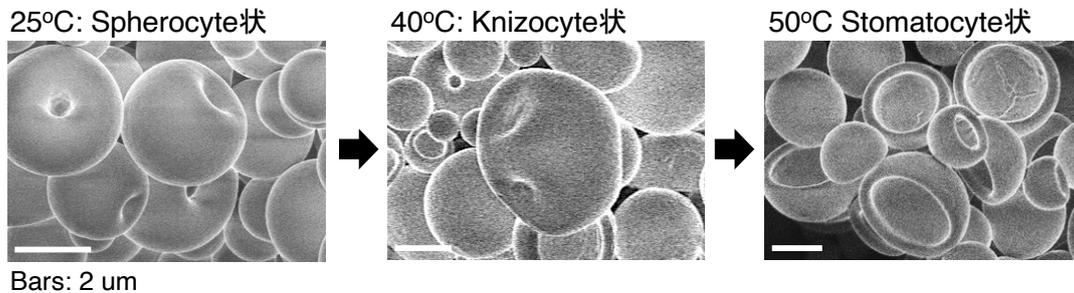


図3. 高分子ジャイアントベシクルの温度上昇による赤血球様の形態変化.
両親媒性ジブロック共重合体の構造 $PMA_{211}-b-P(BMA_{0.553}-r-MA_{0.447})_{287}$

(4)オートファジーの誘導因子であるカップ状単離膜の人工モデルの創製

生体内のカップ状の構造は、細胞や細胞小器官に見られる生体膜の動的な形態であるが、その形態の発生メカニズムについては未解明なことも多い。そこで、オートファジーの初期の過程で形成されその開始を誘導する、カップ状の形態をもつ単離膜の形成メカニズムを、両親媒性ブロック共重合体がカップ状ベシクルを形成する過程を解析することにより明らかにした。PMA-*b*-P(BMA-*r*-MAA)の重合誘導型自己組織化の過程について、P(BMA-*r*-MAA)セグメント鎖長とベシクルの形態との関係調べた。その結果、ベシクルは重合の初期段階ではカップ状ではなく、むしろ球状の形態をとることがわかった。重合の進行によってP(BMA-*r*-MAA)セグメント鎖が伸長するにしたがい、球状ベシクルのサイズが減少し、同時に、微小な球状粒子を介してお互いのベシクルがネットワーク状に結合し、重合後期で迅速にカップ状ベシクルに成長することが明らかになった。このカップ状ベシクルの形成過程は、単離膜の発生と成長メカニズムとよく一致していたことから、生体膜の動的な形態変化を、合成高分子の重合を利用して作り出せることを実験的に証明した。

(5)形態の違いによる高分子ジャイアントベシクルの構造安定性の評価

単細胞生物であるバクテリアは、球状の形態以外にも楕円状やワーム状、螺旋状などさまざま

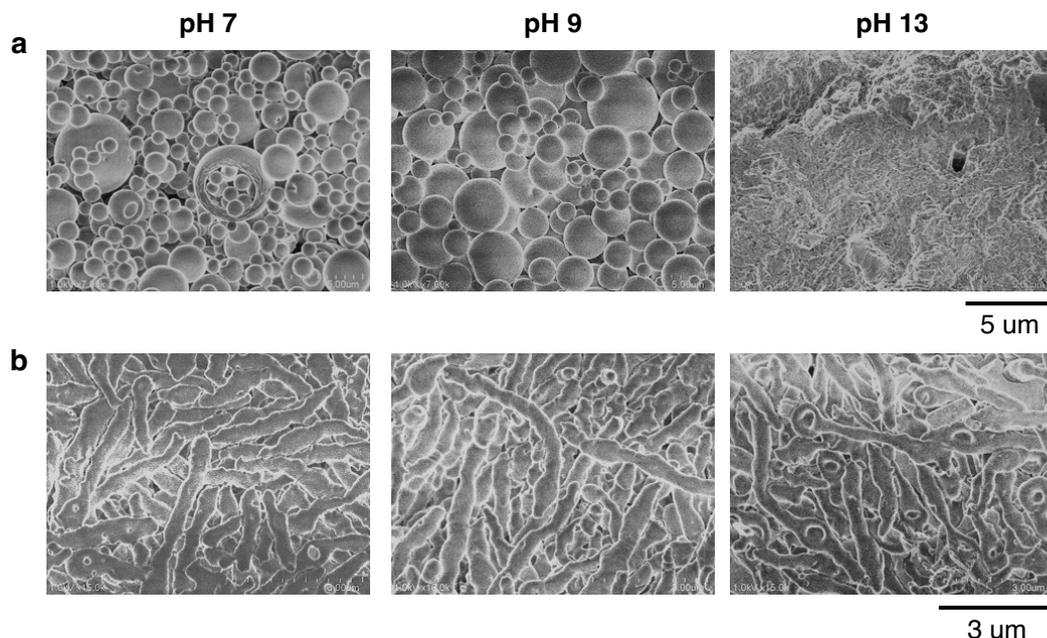


図4. 形態による高分子ジャイアントベシクルのpHに対する構造安定性の違い.
上段(a): 球状ベシクル、下段(b): ワーム状ベシクル.

な形態を持つ。このようにバクテリアが多様な形態をとる理由を、高分子ベシクルの形態と構造安定性との関係から明らかにした。PMA鎖長の異なるPMA-*b*-P(MMA-*r*-MA)によって形成された、球状ベシクルとワーム状ベシクルについて、温度やpH、塩濃度に対する構造安定性を評価した。その結果、いずれの物理的因子に対しても、球状ベシクルは崩壊や融合を引き起こしたのに対し、ワーム状ベシクルは塩基性の高いpH環境下や（図4）、塩化ナトリウムの高濃度の条件下でもその形態を維持できることがわかった。このことは、多くのバクテリアが楕円やワームの形態を持つことへの理解につながった。

(6) 化学反応によるベシクルの形態変化

細胞膜の形態維持や膜輸送で重要な役割を担っている細胞膜表面の受容体のモデルとして、高分子ベシクルの膜表面に化学反応部位を導入し、その反応とベシクルの形態変化について検討を行った。その結果、この結合部位の反応に連動してベシクルの形態が変化することを見出し、細胞により近い人工細胞膜モデルを創製することができた。反応部位として、酸素やプロトンに対する捕捉能を有し、かつ電子伝達触媒の前駆体にもなる2,2,6,6-テトラメチルピペリジン (TP) を選択した。TPを側鎖にもつメタクリル酸エステル誘導体であるメタクリル酸4-オキシ-2,2,6,6-テトラメチルピペリジン (TPMA) のホモポリマー (PTPMA) を親水セグメントに、MMAとTPMAのランダム共重合体P(MMA-*r*-TPMA)を疎水セグメントにもつ両親媒性ジブロック共重合体、PTPMA-*b*-P(MMA-*r*-TPMA)を構成単位とする、直径約3 μmの球状ジャイアントベシクルをメタノール中、過酸化水素と50°Cで反応させた。電子スピン共鳴 (ESR) による解析の結果、ベシクル中の96%のTP部位が、*N*-オキシラジカル (TEMPO) に変換されたことがわかった。また、電子顕微鏡観察から、この酸化によってベシクルが球状から板状に変化したことが明らかになった。さらに、この板状ベシクルをL-アスコルビン酸と反応させた結果、77%のTEMPOが還元されてヒドロキシルアミン体に変換された。このことから、TEMPOが膜表面で1電子受容体として作用したことが示唆された。一方、球状ベシクルの感熱応答挙動についても検討した結果、加熱によって崩壊した球状ベシクルが冷却により再生されることがわかった。このことより、このベシクル膜が熱力学的な流動性と再生可能な形態安定性を持つことが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Eri Yoshida	4. 巻 300
2. 論文標題 Polymer nanoarchitectonics for synthetic vesicles with human erythrocyte-like morphology transformation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Colloid Polym. Sci.	6. 最初と最後の頁 497-508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00396-022-04958-2	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 Eri Yoshida	4. 巻 12
2. 論文標題 Mechanisms of cup-shaped vesicle formation using amphiphilic diblock copolymer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 OJPolym. Chem.	6. 最初と最後の頁 43-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/ojchem.2022.122003	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 Yoshida Eri	4. 巻 3
2. 論文標題 Neuron-like tubule extension of giant polymer vesicles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Reports	6. 最初と最後の頁 195 ~ 202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.25082/CR.2021.01.004	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 Yoshida Eri	4. 巻 6(1)
2. 論文標題 Giant vesicles of amphiphilic diblock copolymer with branched side chains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Colloid and Surface Science	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11648/j.css.20210601.11	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 Yoshida Eri	4. 巻 41
2. 論文標題 Preparation of giant vesicles supporting hindered amine on their shells through photo living radical polymerization-induced self-assembly	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Dispersion Science and Technology	6. 最初と最後の頁 763 ~ 770
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01932691.2019.1617163	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 Yoshida Eri	4. 巻 298
2. 論文標題 Thermo-responsiveness of giant vesicles supporting hindered amines as reactive sites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Colloid and Polymer Science	6. 最初と最後の頁 1205 ~ 1214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00396-020-04697-2	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 Yoshida Eri	4. 巻 15
2. 論文標題 Perforated vesicles composed of amphiphilic diblock copolymer: new artificial biomembrane model of nuclear envelope	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 9849 ~ 9857
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SM01832H	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 Yoshida Eri	4. 巻 1
2. 論文標題 Morphological stability of worm-like vesicles consisting of amphiphilic diblock copolymer against external stress	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Reports	6. 最初と最後の頁 102 ~ 107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.25082/CR.2019.02.006	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 Yoshida Eri	4. 巻 297
2. 論文標題 CO2-responsive behavior of polymer giant vesicles supporting hindered amine	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Colloid and Polymer Science	6. 最初と最後の頁 661 ~ 666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00396-019-04484-8	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 Eri Yoshida	4. 巻 25(5), 109
2. 論文標題 Preparation of giant vesicles containing quaternary ammonium salt of 2-(dimethylamino)ethyl methacrylate through photo nitroxide-mediated controlled/living radical polymerization-induced self-assembly	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Polym. Res.	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10965-018-1509-3	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 Eri Yoshida	4. 巻 7(2)
2. 論文標題 Photo nitroxide-mediated living radical polymerization of hindered amine-supported methacrylate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Res. Update Polym. Sci.	6. 最初と最後の頁 21-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6000/1929-5995.2018.07.02.1	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 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Eri Yoshida
2. 発表標題 Polymer giant vesicles as artificial models for dynamic biomembranes
3. 学会等名 ACS Spring 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Eri Yoshida
2. 発表標題 安定ラジカルによる光制御リビングラジカル重合と高分子設計
3. 学会等名 フォトポリマー懇話会 249回講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshida Eri
2. 発表標題 Polymer giant vesicles as artificial models of biomembrane
3. 学会等名 Annual Congress on Smart Materials 2019 (Prague, Czech Republic) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshida Eri
2. 発表標題 Artificial biomembrane models using giant vesicles prepared by photo NMP-induced self-assembly
3. 学会等名 The Polymerization-Induced Nanostructural Transitions symposium at the 258th American Chemical Society Fall National Meeting (San Diego, USA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshida Eri
2. 発表標題 Artificial biomembrane models using polymer giant vesicles consisting of amphiphilic diblock copolymers
3. 学会等名 Global Biopolymers & Polymer Chemistry Congress (Las Vegas, USA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eri Yoshida
2. 発表標題 Worm-like vesicles prepared by photo nitroxide-mediated controlled/living radical polymerization-induced self-assembly
3. 学会等名 4 th International Conference on Polymer Chemistry (Stockholm, Sweden) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田絵里
2. 発表標題 ワーム状ベシクルの形成と刺激に対する構造安定性
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 市村國宏 監修 (共著)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 333
3. 書名 光機能性有機・高分子材料における新たな息吹	

1. 著者名 共著	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 658
3. 書名 ラジカル重合を中心としたポリマー・微粒子・コーティング材の合成, 応用, トラブル対策	

1. 著者名 松本章一監修（共著）	4. 発行年 2018年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 328
3. 書名 リビングラジカル重合 機能性高分子の合成と応用展開 （第II編 第11章 光精密ラジカル重合を用いる高分子の設計と合成）	

〔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
---------	---------