

令和 4 年 5 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K15400

研究課題名（和文）前生命環境の超分子化学

研究課題名（英文）Supramolecular chemistry in the prebiotic environment

研究代表者

窪田 亮（Kubota, Ryou）

京都大学・工学研究科・講師

研究者番号：00753146

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本若手研究では、人工ジペプチド誘導体の液液相分離から形成されるコアセルベートを反応場とする前生命環境でも実現しうる生体関連反応の開発を行なった。フェニルアラニン連続配列を鍵とするコアセルベート形成のためのモノマーを合成した。コアセルベート内部において、前生命環境でも生成可能と考えられているアミノ酸活性体を利用しペプチド合成を促進させることに成功した。さらにコアセルベートが持つ反応性を利用して、時間変動する刺激によって分化するシステムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生命の起源を明らかとすることは、科学にとって重要な問題の一つである。本研究では、生命の起源研究で未解明である生体関連高分子の形成メカニズムを明らかにするためのアイデアを提供できると期待される。また時間変動する刺激に応答する人工超分子は今まで開発されていなかった。今後本研究の成果を発展させることで、生命の起源・地球上の生命とは異なる形態の化学生命の開発に寄与できると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have developed prebiologically-plausible reactions in coacervates formed from the liquid-liquid phase separation of artificial dipeptide derivatives. We designed synthetic dipeptide derivatives for coacervate formation, which have a phenylalanine successive sequence as a key. The activated amino acids was successfully utilized to promote peptide synthesis inside the coacervate. Furthermore, we developed an artificial system responsive to temporally oscillating stimuli, leading to differentiation of the synthetic coacervates.

研究分野：超分子化学

キーワード：超分子 コアセルベート 液液相分離 ヒドロゲル 非平衡散逸系

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生命の化学進化過程の解明は、地球上の生命のルーツを明らかとする根源的かつ挑戦的な研究課題である。RNA ワールド仮説のように RNA・DNA・タンパク質の生体高分子が生命に必要な機能を司っていたことは明確である。こうした生体高分子の材料となる(リボ)ヌクレオチド・アミノ酸(ジペプチド)の前生命的な合成は、様々な仮説が実証されつつある。しかしモノマーから生体高分子が合成される過程については、ほとんど実証されていない。特に RNA に関しては、RNA ポリメラーゼなしでは高効率な RNA 伸長反応が進行しないことから、RNA ワールド仮説にとって必須であるリボザイム合成が達成されていないという未解決問題がある。さらに生体高分子がどのように細胞が示す自己分裂・代謝といった生命機能を発揮したかは全くの未解明である。そこで本若手研究では、「生命の起源において、どのように生体高分子が合成され生命機能を発揮したのか？」を中心的な学術的「問い」として研究を進めた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「アミノ酸・ジペプチドから形成するコアセルベートを用いて前生命環境にとって必要な超分子化学反応システムを構築する」ことである。具体的には、コアセルベートの物質濃縮能を利用することで、水中においてペプチド合成や DNA/RNA 合成、もしくは人工高分子合成を実現できる反応空間を創出することである。

3. 研究の方法

分子設計にあたり、申請者がこれまでに研究してきたペプチド型ゲル化剤を基盤とした。水中において優れた自己集合性を示すジフェニルアラニン配列の C 末端に嵩高い tert-ブチル基を導入した FF-0tBu モチーフを考案した。tBu 基による立体反発により超分子ファイバー形成を不安定化させることで、液液相分離状態(コアセルベート形成)を誘起する。またペプチド型ゲル化剤ではジフェニルアラニンペプチドの N 末端に多様な刺激応答性部位を導入することが可能であった。そこで本研究における FF-0tBu モチーフにおいても、N 末端に置換基・機能性部位を導入することで、分子認識挙動や反応促進の効果が期待される。実際に FF-0tBu からなるコアセルベート内において、ペプチド合成やラジカル重合反応が進行するかを評価した。

4. 研究成果

(1) 自己集合性ジペプチドからなる超分子コアセルベートの開発

本研究では、FF-0tBu モチーフの N 末端にカチオン性の 4-フェニルピリジニウムを修飾した PhePy-FF-0tBu を主に使用した。PhePy-FF-0tBu を中性緩衝液中において加熱溶解したところ、白濁溶液が得られたことから自己集合体の形成が示唆された。顕微鏡観察を行ったところ、直径 2 μm 程度の球状集合体が観測され、それらは互いに融合することでより大きな集合体へと変化したことから、液体状の性質をもつコアセルベートであることが確かめられた。得られたコアセルベートの臨界凝縮濃度(CAC)は約 10 mM であり、また温度依存性濁度測定から融解温度が約 56 $^{\circ}\text{C}$ であることが判明した。また得られたコアセルベートは少なくとも 1 ヶ月は安定である。カチオン性 PhePy-FF-0tBu からなるコアセルベートは、様々な分子濃縮能を示し、特にアニオン性および疎水性蛍光色素を効率的に取り込むことが共焦点顕微鏡観察および高速液体クロマトグラフィー測定から明らかとなった。

続いて、コアセルベートの物質濃縮能を利用して、内部における反応開発を目指した。始めにアミノ酸に N-カルボキシ無水物(NCA)を利用したペプチド合成について評価した。NCA は前生命環境において形成しうると考えられるアミノ酸の活性体である。実際にコアセルベートおよび開始剤存在下 NCA を添加したところ、ポリペプチドに由来するシグナルが HPLC 解析から検出された。一方でコアセルベートなしでは極少量のジペプチド由来のシグナルが観測されるものの、トリペプチド以上のシグナルは観測されなかった。以上から、開発したコアセルベートは前生命環境でのペプチド合成を促進する反応場として機能することが明らかとなった。

さらにコアセルベートの反応促進効果を利用することで、コアセルベート内部でのラジカル重合反応を評価した。アニオン性であるメタクリレートモノマーと光重合開始剤をコアセルベートに添加したのち、空気中にて光照射を行った。 ^1H NMR 及びサイズ排除クロマトグラフィーから内部でのアニオン性高分子の形成が確かめられた。興味深いことに、パルス光を照射した場合、その周波数によってアニオン性高分子の収量・重合度が変化するを見出した。さらに反応後のコアセルベートの形態・物性を評価したところ、高周波数を照射したサンプルでは内部に新たな液滴が形成し、粘性が劇的に上昇しているのに対して、低周波数では大きな変化は見られなかった。以上のことから、コアセルベートは光照射の周波数によって分化挙動を示すことが明らかとなった。

また本若手研究では超分子ヒドロゲルに関する研究にも従事した。以下、代表的な 4 点の研究成果について概説する。

(2)速度論的な核形成制御による Self-sorting ネットワークの作り分け

我々はこれまでに細胞内での self-sorting 現象(自己認識・他者排除)に着目して研究を進めている。例えば細胞骨格であるアクチンや微小管は Self-sorting 現象を示すことで、各細胞骨格の機能を互いに干渉せずに発揮する。さらに最近では、細胞骨格同士がファイバーレベルで相互作用することで、高次の機能調節を果たしている。一方我々は人工のペプチド型ゲル化剤と脂質型ゲル化剤が水中において self-sorting し、二種類の異なる超分子ファイバーからなるダブルネットワークヒドロゲルの構築を報告している。本成果では、ペプチド型ファイバーの形成速度を遅くすることで、ペプチド型ファイバーと脂質型ファイバーの相対位置(独立および相互作用)を制御することに成功した。ペプチド型ファイバーの形成速度を制御するためにオキシム形成反応および交換反応を利用した。N末端にベンズアルデヒド基を持つペプチド型ゲル化剤に対して、疎水的なヒドロキシルアミン化合物を添加することでファイバー形成を誘起した。超解像共焦点顕微鏡観察から、オキシム形成反応を *in situ* にて行うとペプチド型ファイバーと脂質型ファイバーの位置は相関しておらず相互貫入したネットワークを構築したことが判明した。一方で先に親水的なヒドロキシルアミン化合物と相互作用させたのち、疎水的なヒドロキシルアミン化合物を添加したところ、ペプチド型ファイバーの形成速度が確かに減少し、さらに脂質型ファイバー上に核形成・成長を介して、二種類の超分子ファイバーが相互作用したネットワークを得ることに成功した。本成果のようなネットワーク構造の精密制御は、ヒドロゲルなどのソフトマテリアルの物性を制御するための新たな手法になると期待される。

(3)タンパク質応答性を示す超分子-高分子複合ヒドロゲルの開発

タンパク質は生体機能を司る重要な生体高分子である。タンパク質の発現や機能は、多様な疾病において変化していることから、それらをセンシングすることは疾病の発見や治療につながると期待される。しかしながら、酵素活性を持たないタンパク質を認識し機能を発現するソフトマテリアルはこれまでに限られていた。本研究成果では、酵素応答性超分子ヒドロゲルと非酵素タンパク質の存在を酵素活性に変化させるシステムを組み合わせることで、非酵素タンパク質添加によってゲル-ゾル転移を示すヒドロゲルを開発した。

また超分子ヒドロゲルの欠点として、持ち上げられないほど力学的強度が弱いことが挙げられる。そこで先に開発した非酵素タンパク質応答性超分子ヒドロゲルと高分子ゲルを組み合わせることで、刺激応答性と力学的強度を兼ね揃えた新たなソフトマテリアルの合成を行った。共焦点顕微鏡観察から、超分子ファイバーと高分子ネットワークは独立に存在しており、複合ヒドロゲル内でも超分子ファイバーの刺激応答性が保持されていることが示唆された。実際に非酵素タンパク質への応答性を評価したところ、複合ゲル内でも超分子ファイバーが分解されることが明らかとなった。さらに複合ヒドロゲル内に薬物候補タンパク質を内包させたのち、非酵素タンパク質を添加したところ、タンパク質添加に伴って内包させた薬物候補タンパク質が徐放されることを見出した。本研究で構築した刺激応答性複合ヒドロゲルは、疾病環境から自律的に薬物徐放を行うオートマタ型ソフトマテリアルへの展開が期待される。

(4)刺激応答性ペプチド型超分子ファイバーによる進行波創発

生細胞では様々な静的・動的な空間パターンが観測される。例えば、細胞遊走におけるラメラポディアではアクチンフィラメントが重合・脱重合を時空間的に制御しながら起こることで進行波を発生し細胞膜を押し出す力を発生している。我々はこれまでに刺激応答性ペプチド型超分子ファイバー・ヒドロゲルを開発してきた。本成果では、超分子ファイバーの形成と分解を異なる二つの刺激(化合物)にて制御することで、非平衡な空間パターンの創発を行った。実際、刺激応答性ペプチド型ゲル化剤に対して、ファイバーを形成する刺激と分解する刺激を同時添加したところ、刺激の濃度勾配に従って超分子ファイバーの重合・脱重合が時空間的に制御しつつ進行する様子が観測された。また数値シミュレーションから、超分子進行波が発生する要素を明らかとした。さらにこの超分子進行波は、細胞骨格と同様に物質を押し出す力を発生することを確かめた。本研究のような反応によって駆動する超分子システムは、生体系の理解を促進するだけでなく、ソフトロボティクスや人工細胞構築への有意義な知見を与えると期待される。

(5)反応拡散システムを応用した光応答性超分子ヒドロゲルの非平衡パターンニング

生物が示す空間パターンとして体表模様が挙げられる。生物の体表模様は、モルフォゲン間の反応と拡散によって生じる反応拡散パターンであることが知られている。こうした反応拡散パターンは自発的に複雑なパターンを与えることから、人工ソフトマテリアルに応用できれば、さらなる機能化ができると期待される。我々は光応答性ペプチド型ゲル化剤と脂質ゲル化剤からなる超分子ダブルネットワークヒドロゲル内において、体表模様形成と類似した非平衡な空間パターンニングが起こることを発見した。実際に超分子ヒドロゲルに対して、フォトマスクを介して光照射を行うと、一時的にペプチド型ファイバーが分解したのち、時間経過とともにペプチド型ファイバーが非照射部位の分解を伴いながら、照射部位へ濃縮する様子が観測された。興味深いことに、得られるパターンはフォトマスクのデザインや照射回数によっても変化することを見出した。さらにペプチド型ファイバーと相互作用するタンパク質を内包させておくと、光応答性のないタンパク質もペプチド型ファイバーと同様にパターンニングできることを見出した。今

後は薬物徐放や細胞培養の空間的な制御へと繋げる予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kubota Ryou, Makuta Masahiro, Suzuki Ryo, Ichikawa Masatoshi, Tanaka Motomu, Hamachi Itaru	4. 巻 11
2. 論文標題 Force generation by a propagating wave of supramolecular nanofibers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-17394-z	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 Shigemitsu Hajime, Kubota Ryou, Nakamura Keisuke, Matsuzaki Tomonobu, Minami Saori, Aoyama Takuma, Urayama Kenji, Hamachi Itaru	4. 巻 11
2. 論文標題 Protein-responsive protein release of supramolecular/polymer hydrogel composite integrating enzyme activation systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-17698-0	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 Kubota Ryou, Nagao Kazutoshi, Tanaka Wataru, Matsumura Ryotaro, Aoyama Takuma, Urayama Kenji, Hamachi Itaru	4. 巻 11
2. 論文標題 Control of seed formation allows two distinct self-sorting patterns of supramolecular nanofibers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-17984-x	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 Tashiro Shohei, Umeki Tsutomu, Kubota Ryou, Shionoya Mitsuhiko	4. 巻 225
2. 論文標題 Face-selective adsorption of a prochiral compound on the chiral pore-surface of metal-macrocyclic framework (MMF) directed towards stereoselective reactions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Faraday Discussions	6. 最初と最後の頁 197-209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0FD00019A	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 Kubota Ryou, Torigoe Shogo, Liu Shuang, Hamachi Itaru	4. 巻 49
2. 論文標題 <i>In Situ</i> Real-time Confocal Imaging of a Self-assembling Peptide-grafted Polymer Showing pH-responsive Hydrogelation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1319 ~ 1323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200513	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 Kubota Ryou, Tanaka Wataru, Hamachi Itaru	4. 巻 121
2. 論文標題 Microscopic Imaging Techniques for Molecular Assemblies: Electron, Atomic Force, and Confocal Microscopies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Reviews	6. 最初と最後の頁 14281 ~ 14347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemrev.0c01334	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 Nakamura Keisuke, Tanaka Wataru, Sada Kei, Kubota Ryou, Aoyama Takuma, Urayama Kenji, Hamachi Itaru	4. 巻 143
2. 論文標題 Phototriggered Spatially Controlled Out-of-Equilibrium Patterns of Peptide Nanofibers in a Self-Sorting Double Network Hydrogel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 19532 ~ 19541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c09172	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 Yamashita Yutaro, Tashiro Shohei, Ishii Yoshiki, Uchihashi Takayuki, Matsushita Nobuyuki, Kubota Ryou, Shionoya Mitsuhiko	4. 巻 51
2. 論文標題 Shape-selective one-step synthesis of branched gold nanoparticles on the crystal surface of redox-active Pd ^{II} -macrocycles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 1318 ~ 1324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1dt03973c	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 Ojima Kento, Kakegawa Wataru, Ito Masayuki, Miura Yuta, Michibata Yukiko, Kubota Ryou, Doura Tomohiro, Yamasaki Tokiwa, Miura Eriko, Nonaka Hiroshi, Mizuno Seiya, Takahashi Satoru, Yuzaki Michisuke, Hamachi Itaru, Kiyonaka Shigeki	4. 巻 -
2. 論文標題 Coordination chemogenetics for activation of GPCR-type glutamate receptors in brain tissue	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 bioRxiv	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) 10.1101/2021.10.01.462737	査読の有無 無
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 Kubota Ryou, Torigoe Shogo, Hamachi Itaru	4. 巻 -
2. 論文標題 Temporal stimulus patterns drive differentiation of a synthetic coacervate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemRxiv	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) 10.26434/chemrxiv-2022-bp028	査読の有無 無
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21件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Ryou Kubota
2. 発表標題 Visualization and Functional Development of Cell-inspired Supramolecular Materials
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Nakamura, Ryou Kubota, Kei Sada, Takuma Aoyama, Kenji Urayama, Itaru Hamachi
2. 発表標題 Multiscale imaging reveals four distinct hierarchical networks in supramolecular/polymer hydrogel composites
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長尾 和俊、窪田 亮、田中 航、松村 亮太郎、青山 拓磨、浦山 健治、浜地 格
2. 発表標題 動的共有結合を用いた超分子Self-sortingネットワークの構造制御
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wataru Tanaka, Ryou Kybota, Itaru Hamachi
2. 発表標題 Photo-induced spatial control of out-of-equilibrium network pattern of peptide nanofibers in a supramolecular double network hydrogel
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 窪田 亮
2. 発表標題 超分子錯体化学を基盤とした細胞機能の模倣と制御
3. 学会等名 分子研研究会, "錯体化学から始まる学術展開の可能性" (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長尾 和俊、窪田 亮、田中 航、青山 拓磨、浦山 健治、浜地 格
2. 発表標題 超分子ファイバーの核形成制御によるSelf-sorting構造の作り分け
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 中村 圭佑、窪田 亮、佐田 圭、青山 拓磨、浦山 健治、浜地 格
2. 発表標題 超分子・高分子複合ゲル：共焦点観察によるネットワーク構造の分類とレオロジー特性
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 服部 善行、窪田 亮、浜地 格
2. 発表標題 ペプチド型超分子からなるコアセルベートの形成と特性
3. 学会等名 第14回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 窪田 亮
2. 発表標題 細胞から着想を得た直交性超分子ポリマーの共焦点観察と機能
3. 学会等名 CEMS Topical Meeting Online 超分子ポリマーの進化形（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryou Kubota, Hajime Shigemitsu, Wataru Tanaka, Takahiro Fujisaku, Itaru Hamachi
2. 発表標題 Adaptive Self-sorted Supramolecular Double-network Hydrogels
3. 学会等名 Virtual Symposium Systems Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鳥越 祥吾、窪田 亮、長尾 和俊、浜地 格
2. 発表標題 界面活性剤添加により伸長と収縮を繰り返す超分子ファイバー
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 窪田 亮、浜地 格
2. 発表標題 液液相分離を示すジペプチド型超分子(2): 時間パターンに依存した応答挙動
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 廣井 太郎、窪田 亮、浜地 格
2. 発表標題 液液相分離を示すジペプチド型超分子(1): 分子設計と特性
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryou Kubota
2. 発表標題 Imaging and Function of Self-sorted Supramolecular Double-networkHydrogels
3. 学会等名 The 3rd CSLT-CSJ Joint Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 窪田 亮
2. 発表標題 生命から着想した超分子化学：多成分系と非平衡散逸系
3. 学会等名 第6回有機若手ワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 圭佑、田中 航、佐田 圭、窪田 亮、浜地 格
2. 発表標題 Self-sorting型超分子ゲルにおける光駆動非平衡パターン形成
3. 学会等名 第15回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐田 圭、中村 圭佑、窪田 亮、浜地 格
2. 発表標題 共焦点顕微鏡による超分子・高分子複合ゲルのネットワーク構造のその場観察と分類
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 窪田 亮、中村 圭佑、田中 航、佐田 圭、浜地 格
2. 発表標題 超分子ダブルネットワークヒドロゲルにおける光駆動非平衡パターンニング
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 自己集合性ペプチド担時型高分子ヒドロゲルのpH応答と共焦点顕微鏡観察
2. 発表標題 浜中 佑也、鳥越 祥吾、窪田 亮、浜地 格
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 窪田 亮
2. 発表標題 刺激応答性超分子ファイバーによるCell-inspired非平衡パターンニング
3. 学会等名 第5回ABC-Info講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryou Kubota, Masahiro Makuta, Ryo Suzuki, Masatoshi Ichikawa, Motomu Tanaka, Itaru Hamachi
2. 発表標題 Force generation by a propagating wave of artificial tripeptide-based fibrous assemblies
3. 学会等名 International symposium of macrocyclic and supramolecular chemistry 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究代表者が所属する研究室のホームページ http://www.sbchem.kyoto-u.ac.jp/hamachi-lab/index.php?hamachi-lab 研究代表者が運営するホームページ https://rkubota-chem.jimdofree.com/</p>

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