

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02029

研究課題名(和文) 結晶性オリゴ糖を構成成分とする機能性ゲル材料のボトムアップ創製

研究課題名(英文) Bottom-up Preparation of Functional Gel Materials Composed of Crystalline Oligosaccharides

研究代表者

芹澤 武 (Serizawa, Takeshi)

東京工業大学・物質理工学院・教授

研究者番号：30284904

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,830,000円

研究成果の概要(和文)：セルロースオリゴマーのアルカリ水溶液を酸で中和すると、セルロースオリゴマーの不溶化に伴い自己集合が誘起され、結晶性のナノリボン状集合体が物理架橋したハイドロゲルが得られることを明らかにした。この自己集合は様々な温度やイオン濃度の条件のみならず、血清を含む細胞培養液のような様々な夾雑物質の存在下でも進行した。得られたハイドロゲルは細胞を3次元培養するための良好なマトリックスとして機能し、生成した細胞集合体は自然濾過により容易に回収できた。本自己集合系は片末端に官能基をもつセルロースオリゴマー誘導体にも適用でき、また、水溶性高分子との複合ハイドロゲルの構築などにも利用できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水中における分子の自己集合は、生体内のいたるところで観察される普遍的な現象であり、精緻な生命活動を維持する上で必要不可欠である。これまでに、様々な生体分子の自己集合が研究されてきたが、セルロースなどの結晶性多糖の自己集合は十分には研究されてこなかった。本研究では、比較的分子量が小さなセルロースのアルカリ水溶液を酸で中和すると、それらの自己集合が誘起され、ナノリボン状の集合体からなるハイドロゲルが得られることを明らかにした。このハイドロゲルが細胞を生きたまま培養するための優れた材料であることを見出した。本成果は生体や環境にやさしい機能性材料を創成するための基礎的な知見になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The neutralization-induced self-assembly of cellulose oligomers produced physically cross-linked hydrogels composed of crystalline nanoribbon networks. The self-assembly proceeded at various temperatures and ionic concentrations. Furthermore, the self-assembly was remarkably extended in serum-containing cell culture media, followed by 3D cell culture through control of the gelation time using seed crystals. Model cells proliferated to produce cell aggregates (so-called spheroids) in the hydrogels due to the anti-biofouling properties of the nanoribbons. The spheroids were readily collected from the hydrogels by natural filtration after mechanical collapsing of the hydrogels, thereby proposing the potential applicability for 3D cell culture matrices. The self-assembly was applicable to cellulose oligomer derivatives with a functional group at the reducing end. Furthermore, the composite hydrogels were produced through the self-assembly in the presence of other functional polymers.

研究分野：生体高分子化学

キーワード：セルロース 酵素反応 自己集合 ハイドロゲル 細胞培養

異なるセルロースオリゴマー濃度 (0.25-2.0% (w/v)) での自己集合について、137 mM の NaCl を含むリン酸緩衝生理食塩水 (PBS) 中、pH 7.4、25°Cで行ったところ、0.50% (w/v) 以上で溶液がゲル化した (図 2)。この際、ゲル化に要する時間はセルロースオリゴマー濃度の増加とともに短縮した。これらの結果から、特定の濃度以上になると、セルロースオリゴマーが自己集合してネットワーク構造を形成することが分かった。自己集合化の前後でセルロースオリゴマーの化学構造や重合度の変化はほとんど観察されず、本手法の有用性を確認した。

ハイドロゲルを凍結乾燥することでキセロゲルとし、これを走査型電子顕微鏡 (SEM) により観察したところ、ハイドロゲルは幅が数百ナノメートル、長さが数マイクロメートル以上の成長したナノリボン状集合体のネットワークで構成されていた (図 3 左)。ナノリボン状集合体には分岐構造が観察されなかったことから、ハイドロゲルはナノリボン状集合体の物理的な架橋によって形成されていることが示唆された。より微細な形態を原子間力顕微鏡 (AFM) により観察したところ、ナノリボン状集合体の厚さは 5.1 ± 0.4 nm であり (図 3 右)、この値はセルロースオリゴマーの主成分であるセロオクタオースの分子長 (4.2 nm) と同程度であった。

ナノリボン状集合体の WAXD プロファイルは、熱力学的に安定なセルロース II の 1-10、110、020 面に由来する $2\theta = 12.3^\circ$ 、 20.0° 、 22.1° のピークをそれぞれ示した。また、IR スペクトルからもセルロースオリゴマーがセルロース II を形成していることが確認された。一連の構造解析の結果から、セルロースオリゴマーはナノリボン状集合体の基底面に対して垂直方向に逆平行に配列しながら結晶化していることが示唆された (図 1 右)。ナノリボン状集合体の形態および結晶学的特性は、CDP を触媒としてセルロースオリゴマーを酵素合成した際に反応液中で得られるものと酷似していた。よって、ナノリボン状集合体ならびにそれらのネットワーク構造は、セルロースオリゴマーが自己集合した際に不変的に形成するナノ構造体であることが示唆された。また、我々の以前の研究において、酵素反応液中でナノリボンネットワークが形成されるメカニズムとして、水不溶性のセルロースオリゴマーが一時に生成されることが重要であることを提案している。本研究の自己集合においても十分量のセルロースが中和により一時に不溶化するため、似通ったメカニズムでナノリボンネットワークが生成されることが示唆された。

中和に基づく自己集合化の利点として、広範な条件に適用できる点がある。実際に、酵素反応と比較して広い温度範囲 (図 4 左) や NaCl 濃度範囲 (図 4 右) でハイドロゲルが得られることが実証できた。この際、ゲル化時間は、溶液の温度上昇や NaCl 濃度の増大に伴い短縮したことから、セルロースオリゴマーやナノリボン状集合体間の疎水性相互作用 (あるいは疎水性効果) がゲル化を促進していることが示唆された。このように、酵素反応液中における自己集合系とは異なる様々な条件下において、セルロースオリゴマーが結晶性ナノリボンネットワークに自己集合することが明らかになり、中和に誘起される自己集合系の汎用性の高さを明らかにできた。

細胞を生体適合性の高いマトリックス中に安定に封入することは、細胞の特性や機能を高めたり、制御したりする上で魅力的である。そのためには、細胞培養条件下でマトリックスを構築することが望ましい。そこで、セルロースオリゴマーの自己集合について、10%のウシ胎児血清 (FBS) を含む細胞培養用培地中で検討した。セルロースオリゴマーの濃度を 0.50% (w/v)、温度を 37°C に設定して自己集合させたところ、120 分後には培地がゲル化した。ゲル化時間や構造・形態学的特徴は、PBS 中で自己集合させた場合とほぼ同じであった (図 5 左と中央)。これらの結果から、細胞培養液や血清などの夾雑物質が存在し

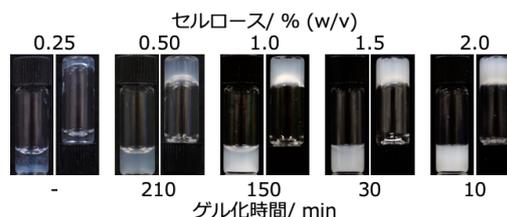


図 2 異なるセルロースオリゴマー濃度における自己集合化

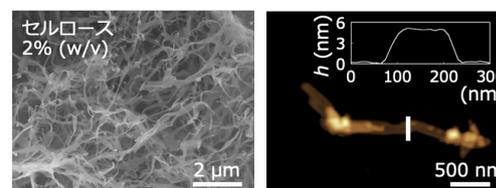


図 3 キセロゲルの SEM 像 (左) と破碎したナノリボン状集合体の AFM 像 (右)

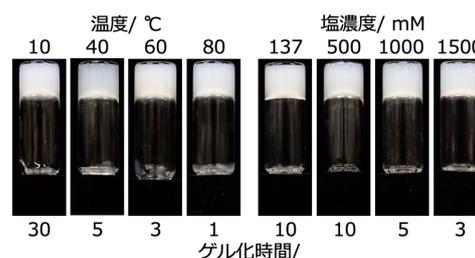


図 4 様々な温度 (左) や NaCl 濃度 (右) におけるセルロースオリゴマーの自己集合化 ([セルロース] = 2% (w/v))

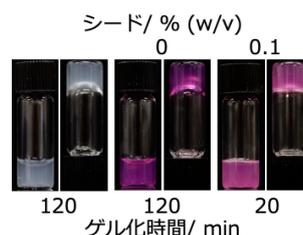


図 5 FBS を含む細胞培養用培地中におけるセルロースオリゴマーの自己集合化

ていても自己集合が同様に進行することがわかり、中和による自己集合系の汎用性がさらに示された。しかし、ゲル化時間が120分と遅かったため、同様の自己集合を細胞存在下で実施すると、細胞が容器の底部に沈んでしまい、細胞をハイドロゲル内に3次的に封入することができなかった。

そこで、あらかじめ調製したセルロースオリゴマー集合体を種結晶として、ゲル化時間を短縮あるいは制御することを試みた。その結果、種結晶の添加により確かにゲル化時間は短縮し、添加量を変えることでゲル化時間を制御できた。例えば、0.5% (w/v)のセルロースオリゴマーに0.1% (w/v)の種結晶を加えた場合、ゲル化時間は20分に短縮され、細胞の封入に適したゲル化時間となった(図5右)。この際、種結晶を添加しない場合と同様のナノリボンネットワークの形成を確認でき、また、種結晶とナノリボン状集合体をSEM観察により見分けることは困難であった。よって、種結晶の濃度依存的にゲル化時間が短縮したことと併せて考えると、種結晶はナノリボン状集合体に組み込まれていることが示唆された。

次に、3種類の細胞(HeLa細胞、HEK293細胞、A549細胞)を含む血清含有細胞培養液中、セルロースオリゴマーと種結晶の濃度がそれぞれ0.5% (w/v)と0.1% (w/v)の条件下で自己集合させた。興味深いことに、細胞存在下でもハイドロゲルを同様に調製でき、細胞をハイドロゲル内に3次的に封入できた。ハイドロゲル内の細胞を培養したところ、細胞は時間とともに増殖することでスフェロイド(球状の細胞集合体)となった(図6)。細胞の生死を判定したところ、スフェロイドを構成するほとんどの細胞が生存していた。よって、ナノリボン状集合体が細胞にとって低毒性であることや、ハイドロゲル内での物質移動が十分に行われていることが示唆された。実際、細胞種に関係なく、培養後に95%以上の細胞が生存していた。また、生成したスフェロイドのサイズがナノリボンネットワークの空隙よりも大きかったことから、スフェロイドへの成長の過程でナノリボンネットワークが機械的に破壊されていることが示唆された。さらに、スフェロイドはハイドロゲル内の同じ位置に固定されており、培養中に移動したり、沈降したりすることはなかった。よって、スフェロイド周囲のネットワーク構造が培養中も安定に保持されていることが分かった。

さらに興味深いことに、ピペット操作による水流によってナノリボンネットワークを機械的に破砕することにより、破砕されたナノリボン状集合体とスフェロイドを含む分散液が得られた。これを適切な孔径のフィルターを用いて自然ろ過することで、スフェロイドを簡単に回収することが分かった(図7)。細胞の生死を判定したところ、回収したスフェロイドを構成するほとんどの細胞が生存していた。このように、ナノリボンネットワークからなるハイドロゲルが3次元細胞培養用のマトリックスとして有用であることが明らかになった。スフェロイド形成のメカニズムを解明するために、さまざまな濃度のタンパク質を用いて、ナノリボン状集合体へのタンパク質の物理吸着について評価した。異なる特性をもつヒト血清アルブミン、フィブリノーゲン、免疫グロブリンG、リゾチーム、チトクロームCについて検討したところ、いずれのタンパク質の物理吸着も検出限界以下であり、ナノリボン状集合体が高いタンパク質非吸着性を示すことが分かった。このことから、細胞はナノリボンネットワークには接着できず、細胞間の相互作用によってスフェロイドを形成することが示唆された。

以上をまとめると、中和により誘起されるセルロースオリゴマーの自己集合により、結晶性のナノリボン状集合体がネットワーク状に物理架橋したハイドロゲルが得られることを明らかにした。この自己集合は様々な温度やイオン強度の条件のみならず、血清を含む細胞培養液のような様々な夾雑物質の存在下でも進行した。また、種結晶を用いてゲル化時間を制御することにより、3次元細胞培養も実現できた。HeLa細胞、HEK293細胞、A549細胞などの細胞がハイドロゲル内で増殖すると、ナノリボン状集合体が高タンパク質非吸着性により、スフェロイドを形成した。これらのスフェロイドは、ハイドロゲルを機械的に破砕した後に自然ろ過することで回収できた。なお、本自己集合系が片末端に官能基をもつセルロースオリゴマー誘導体にも適用できることや、水溶性高分子との複合ハイドロゲルの構築にも利用できることが分かった。

化学構造が明確なセルロースオリゴマーやその誘導体の自己集合化研究は、天然の多糖類の自己集合に関する基礎知見を与えるとともに、生体適合性が高く、環境低負荷な機能性ソフトマテリアルを創成する潜在性があるため、本分野の研究の継続と発展が期待される。

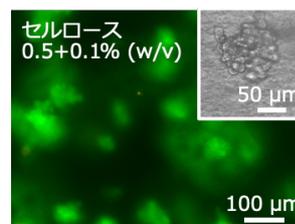


図6 ハイドロゲル中で3次元培養したHeLa細胞(5日培養)

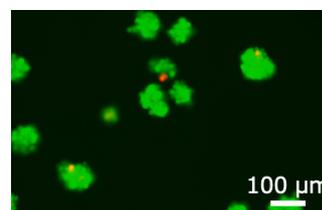


図7 自然濾過により回収したHeLa細胞からなるスフェロイド

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hata Yuuki, Sawada Toshiki, Serizawa Takeshi	4. 巻 3
2. 論文標題 Confined Reduced Graphene Oxides as a Platform for DNA Sensing in Solutions Crowded with Biomolecules	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Bio Materials	6. 最初と最後の頁 3210 ~ 3216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsabm.0c00206	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 Hata Yuuki, Kojima Tomoya, Maeda Tohru, Sawada Toshiki, Serizawa Takeshi	4. 巻 20
2. 論文標題 pH Triggered Self Assembly of Cellulose Oligomers with Gelatin into a Double Network Hydrogel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecular Bioscience	6. 最初と最後の頁 2000187 ~ 2000187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mabi.202000187	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 Serizawa Takeshi, Maeda Tohru, Yamaguchi Saeko, Sawada Toshiki	4. 巻 36
2. 論文標題 Aqueous Suspensions of Cellulose Oligomer Nanoribbons for Growth and Natural Filtration-Based Separation of Cancer Spheroids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 13890 ~ 13898
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c02294	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 Hata Yuuki, Yoneda Shohei, Tanaka Shoki, Sawada Toshiki, Serizawa Takeshi	4. 巻 590
2. 論文標題 Structured liquids with interfacial robust assemblies of a nonionic crystalline surfactant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 487 ~ 494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2021.01.064	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 Hanamura Misaki, Sawada Toshiki, Serizawa Takeshi	4. 巻 9
2. 論文標題 In-Paper Self-Assembly of Cellulose Oligomers for the Preparation of All-Cellulose Functional Paper	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 5684 ~ 5692
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.1c00815	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 Nohara Takatoshi, Sawada Toshiki, Tanaka Hiroshi, Serizawa Takeshi	4. 巻 92
2. 論文標題 Templated Synthesis of Gold Nanoparticles on Surface-Aminated 2D Cellulose Assemblies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 982 ~ 988
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20190035	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 Hata Yuuki, Sawada Toshiki, Marubayashi Hironori, Nojima Shuichi, Serizawa Takeshi	4. 巻 35
2. 論文標題 Temperature-Directed Assembly of Crystalline Cellulose Oligomers into Kinetically Trapped Structures during Biocatalytic Synthesis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 7026 ~ 7034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b00850	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 Hata Yuuki, Fukaya Yuka, Sawada Toshiki, Nishiura Masahito, Serizawa Takeshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Biocatalytic oligomerization-induced self-assembly of crystalline cellulose oligomers into nanoribbon networks assisted by organic solvents	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Beilstein Journal of Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 1778 ~ 1788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3762/bjnano.10.173	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 Yataka Yusuke, Tanaka Shoki, Sawada Toshiki, Serizawa Takeshi	4. 巻 55
2. 論文標題 Mechanically robust crystalline monolayer assemblies of oligosaccharide-based amphiphiles on water surfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 11346 ~ 11349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC05629G	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 Hata Yuuki, Saito Yoshitaka, Sawada Toshiki, Matsumoto Hidetoshi, Serizawa Takeshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Assembly of reduced graphene oxides into a three-dimensional porous structure via confinement within robust cellulose oligomer networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 38848 ~ 38854
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ra08318a	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 Serizawa Takeshi, Maeda Tohru, Sawada Toshiki	4. 巻 9
2. 論文標題 Neutralization-Induced Self-Assembly of Cellulose Oligomers into Antibiofouling Crystalline Nanoribbon Networks in Complex Mixtures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 301 ~ 305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.9b01008	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 Serizawa Takeshi, Fukaya Yuka, Sawada Toshiki	4. 巻 50
2. 論文標題 Nanoribbon network formation of enzymatically synthesized cellulose oligomers through dispersion stabilization of precursor particles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 799 ~ 804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-018-0057-3	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 Hata Yuuki, Sawada Toshiki, Serizawa Takeshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Macromolecular crowding for materials-directed controlled self-assembly	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry B	6. 最初と最後の頁 6344 ~ 6359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8tb02201a	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 Serizawa Takeshi, Tanaka Shoki, Sawada Toshiki	4. 巻 601
2. 論文標題 Control of parallel versus antiparallel molecular arrangements in crystalline assemblies of alkyl -cellulosides	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 505 ~ 516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2021.05.117	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 Kai Sugiura, Toshiki Sawada, Hiroshi Tanaka, Takeshi Serizawa	4. 巻 in press
2. 論文標題 Enzyme-Catalyzed Propagation of Cello-Oligosaccharide Chains from Bifunctional Oligomeric Primers for the Preparation of Block Co-Oligomers and Their Crystalline Assemblies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-021-00513-y	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 Hata Yuuki, Serizawa Takeshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Self-assembly of cellulose for creating green materials with tailor-made nanostructures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry B	6. 最初と最後の頁 3944 ~ 3966
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TB00339A	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46件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 前田 亨, 澤田 敏樹, 芹澤 武
2. 発表標題 セルロースオリゴマー集合体環境における細胞の浮遊培養
3. 学会等名 第49回医用高分子シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中 翔生, 澤田 敏樹, 芹澤 武
2. 発表標題 末端アルキル化セルロースオリゴマー集合体の分子配列制御
3. 学会等名 第30回バイオ・高分子シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田 亨, 山口 彩英子, 澤田 敏樹, 芹澤 武
2. 発表標題 セルロースオリゴマー誘導体の自己組織化に基づく機能性濾紙の簡易構築
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 桜井 勇太, 澤田 敏樹, 芹澤 武
2. 発表標題 分子間相互作用の変調による酵素合成セルロースオリゴマーの分子量制御
3. 学会等名 日本化学会秋季事業 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉浦 開, 澤田 敏樹, 田中 浩士, 芹澤 武
2. 発表標題 二官能性プライマーを利用したセルロース誘導体の酵素合成とその集合化
3. 学会等名 日本化学会秋季事業 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Misaki Hanamura, Toshiki Sawada, Takeshi Serizawa
2. 発表標題 Preparation of Functional Paper via Self-Assembly of Reactive Cellulose Oligomers
3. 学会等名 3rd GLowing Polymer Symposium in KANTO
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 城川 晃一, 田中 翔生, 澤田 敏樹, 芹澤 武
2. 発表標題 末端アルキル化セルロースオリゴマーの酵素合成と集合構造制御
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 網谷 萌, 花村 美咲, 澤田 敏樹, 芹澤 武
2. 発表標題 セルロースオリゴマー誘導体の自己組織化に基づく機能性濾紙の簡易構築
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 Yuuki Hata, Toshiki Sawada, Takeshi Serizawa
2. 発表標題 Control of Self-Assembly of Cellulose Oligomers by Macromolecular Crowding for the Formation of Nanoribbon Gels
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中翔生、澤田敏樹、芹澤武
2. 発表標題 還元末端にアルキル基をもつセルロースオリゴマーの集合化制御
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田亨、澤田敏樹、芹澤武
2. 発表標題 自己組織化の制御に基づくセルロース系ハイドロゲルの構築と三次元細胞培養への応用
3. 学会等名 第48回医用高分子シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuuki Hata, Toshiki Sawada, Takeshi Serizawa
2. 発表標題 Confinement of Graphene Oxides Within Cellulose Oligomer Gels for Constructing Functional Materials
3. 学会等名 The 10th Integrated Molecular / Materials Science & Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秦裕樹、澤田敏樹、芹澤武
2. 発表標題 セルロースオリゴマーゲル中でのナノ材料の拘束とそれに基づく機能性材料の創製
3. 学会等名 第29回バイオ・高分子シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秦裕樹、澤田敏樹、芹澤武
2. 発表標題 セルロースオリゴマーの重合誘起自己組織化に基づいた還元型酸化グラフェンとの複合ゲル形成と応用展開
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 花村美咲、市川真祐子、澤田敏樹、芹澤武
2. 発表標題 官能基化セルロースオリゴマーの自己組織化を利用した濾紙の機能化
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 田中翔生、澤田敏樹、芹澤武
2. 発表標題 末端にアルキル基を導入したセルロースオリゴマーの集合化制御
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuuki Hata, Toshiki Sawada, Takeshi Serizawa
2. 発表標題 Confinement of Reduced Graphene Oxides within Cellulose Oligomer Networks for Constructing Functional Materials
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takatoshi Nohara, Toshiki Sawada, Hiroshi Tanaka, Takeshi Serizawa
2. 発表標題 Templated Production of Gold Nanoparticles on Surface-Aminated 2D Cellulose Assemblies
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤政司、澤田敏樹、田中浩士、芹澤武
2. 発表標題 片末端にカルボキシ基をもつセルロースオリゴマーの酵素合成とその機能化
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花村美咲、澤田敏樹、芹澤武
2. 発表標題 アジド基をもつセルロースオリゴマーの自己組織化を利用した濾紙の機能化
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takatoshi Nohara, Toshiki Sawada, Hiroshi Tanaka, Takeshi Serizawa
2. 発表標題 Templated Synthesis of Au Nanoparticles on Surface-Aminated 2D Cellulose Assemblies
3. 学会等名 2nd Glowing Polymer Symposium in KANTO (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Serizawa
2. 発表標題 Approach to Polymer Materials Using Biological Mechanisms
3. 学会等名 2nd Glowing Polymer Symposium in KANTO (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秦裕樹、澤田敏樹、芹澤武
2. 発表標題 結晶性セルロースオリゴマーからなる堅牢なネットワークによるナノカーボンの拘束と応用
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野原崇稔、澤田敏樹、田中浩士、芹澤武
2. 発表標題 酵素触媒重合に基づく末端親水化セルロースオリゴマーの集合化制御
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口彩英子、澤田敏樹、芹澤武
2. 発表標題 荷電基を有するセルロースオリゴマー集合体の創製とバイオ機能性材料への応用
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桜井勇太、澤田敏樹、芹澤武
2. 発表標題 分子間相互作用の変調に基づく酵素合成セルロースオリゴマーの構造制御
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 芹澤 武
2. 発表標題 生体の分子機構から発想するバイオ界面制御
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤政司、澤田敏樹、田中浩士、芹澤 武
2. 発表標題 片末端にカルボキシ基をもつセルロースオリゴマーの酵素合成と特性評価
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中翔生、澤田敏樹、芹澤 武
2. 発表標題 片末端にアルキル基をもつセルロースオリゴマーの集合化制御
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花村美咲、市川真祐子、澤田敏樹、芹澤 武
2. 発表標題 官能基化セルロースオリゴマーの自己組織化を利用した機能紙の創製
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuuki Hata, Toshiki Sawada, Takeshi Serizawa
2. 発表標題 Construction of Functional Materials through Confinement of Graphene Oxides within Cellulose Oligomer Gels
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深谷結花、澤田敏樹、芹澤 武
2. 発表標題 反応性セルロースオリゴマーゲルの一段階酵素合成とポスト機能化
3. 学会等名 第28回MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 市川真祐子、野原崇稔、澤田敏樹、芹澤 武
2. 発表標題 酵素合成されたセルロースオリゴマーによる濾紙の機能化
3. 学会等名 第28回MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nohara Takatoshi, Sawada Toshiki, Tanaka Hiroshi, Serizawa Takeshi
2. 発表標題 Templated Production of Highly Active Gold Nanocatalysts on Surface-aminated 2D Cellulose Assemblies
3. 学会等名 International Polymer Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秦 裕樹、澤田敏樹、酒井崇匡、芹澤 武
2. 発表標題 結晶性セルロースオリゴマーゲル中でのナノ材料の三次元構造化と機能
3. 学会等名 第27回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田 亨、澤田敏樹、芹澤 武
2. 発表標題 セルロースオリゴマーからなるクリスピーゲルの一段階調製と三次元細胞培養への応用
3. 学会等名 第40回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田 亨、澤田敏樹、芹澤 武
2. 発表標題 セルロースオリゴマーの自己組織化によるクリスピーゲルの構築と三次元細胞培養への展開
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秦 裕樹、澤田敏樹、酒井崇匡、芹澤 武
2. 発表標題 セルロースオリゴマーゲル中におけるナノマテリアルの三次元構造化と機能
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 前田 亨、澤田敏樹、芹澤 武
2. 発表標題 セルロースオリゴマーの自己組織化によるクリスピーゲルの構築と三次元細胞培養への展開
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 深谷結花、澤田敏樹、芹澤 武
2. 発表標題 セルロースオリゴマーの酵素合成と反応中における集合化学動の制御
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 前田 亨、澤田敏樹、芹澤 武
2. 発表標題 セルロースオリゴマーからなる自己組織化ネットワークの構築と細胞培養足場材への展開
3. 学会等名 第47回医用高分子シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秦 裕樹、澤田敏樹、酒井崇匡、芹澤 武
2. 発表標題 結晶性セルロースオリゴマーからなる自己組織化ハイドロゲル中へのナノ材料の空間固定
3. 学会等名 第28回バイオ・高分子シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秦 裕樹、澤田敏樹、酒井崇匡、芹澤 武
2. 発表標題 結晶性セルロースオリゴマーの自己組織化によるハイドロゲル形成と機能性コロイド粒子の空間固定
3. 学会等名 第67回高分子年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野原崇稔、田中浩士、澤田敏樹、芹澤 武
2. 発表標題 機能性基を表面にもつセルロースナノリボンの構築と特性評価
3. 学会等名 第67回高分子年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田 亨、澤田敏樹、芹澤 武
2. 発表標題 セルロースオリゴマーの自己組織化を利用した三次元ネットワークの構築
3. 学会等名 第67回高分子年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 芹澤 武
2. 発表標題 生体物質を用いる機能性高分子の創製
3. 学会等名 第67回高分子年次大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計9件

産業財産権の名称 抗菌剤および抗菌性組成物	発明者 芹澤 武，澤田 敏樹，西浦 聖人，村瀬璃奈	権利者 東京工業大学、第一工業製薬
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-034689	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 セロオリゴ糖の製造方法	発明者 芹澤武、澤田敏樹、西浦聖人	権利者 東京工業大学、第一工業製薬
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2019/015839	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 酵素固定化用担体および固定化酵素	発明者 芹澤武、澤田敏樹、西浦聖人	権利者 東京工業大学、第一工業製薬
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2019/040990	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 複合体およびその製造方法	発明者 芹澤武、澤田敏樹、西浦聖人	権利者 東京工業大学、第一工業製薬
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-048128	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 浮遊培養用培地添加剤、培地組成物及び培養方法	発明者 芹澤武、澤田敏樹、西浦聖人、村瀬璃奈	権利者 東京工業大学、第一工業製薬
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-199228	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 浮遊培養用培地添加剤、培地組成物及び培養方法	発明者 芹澤武、澤田敏樹、 西浦聖人、村瀬璃奈	権利者 東京工業大学、 第一工業製薬
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-199231	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ゼロオリゴ糖の製造方法	発明者 芹澤 武ほか2名	権利者 東京工業大学、 第一工業製薬
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-088774	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 酵素固定化用担体および固定化酵素	発明者 芹澤 武ほか2名	権利者 東京工業大学、 第一工業製薬
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-200157	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 酵素固定化用担体および固定化酵素	発明者 芹澤 武ほか2名	権利者 東京工業大学、 第一工業製薬
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-048128	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

研究室ホームページ http://www.serizawa-cap.mac.titech.ac.jp/ 東京工業大学リサーチポジトリ http://t2r2.star.titech.ac.jp/

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	澤田 敏樹 (Sawada Toshiki) (20581078)	東京工業大学・物質理工学院・助教 (12608)	

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