

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01480

研究課題名（和文）ナノセルロース・キチンの特性を活用した革新的バイオメディカル応用コンセプトの確立

研究課題名（英文）Biomedical applications utilizing original characteristics of nano-cellulose and nano-chitin

研究代表者

寺本 好邦（TERAMOTO, YOSHIKUNI）

京都大学・農学研究科・准教授

研究者番号：40415716

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 25,800,000円

研究成果の概要（和文）：ナノセルロース・ナノキチンそのものの生来の特性（生理活性、チクソトロピー、酸素バリア性など）を活用し、細胞培養パターン足場材料（課題A）と紙ベースのマイクロ流体分析デバイス（ $\mu$ PAD）（課題B）の創製に成功した。研究を進める上で、インクジェットや配向制御などの新たな加工法の適用を進めた。3D印刷への応用を念頭に、キチン系ナノファイバーベースの伸縮性と温度応答性を有する細胞接着・増殖性の高いハイドロゲルも得られた。基礎的な観点から、ナノファイバーの化学組成の分布の評価法を確立し、それが及ぼす結晶性や細胞接着性への影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

課題Aでは、ナノキチン・ナノキトサン系足場材の細胞接着性への影響因子（脱アセチル化度（DD）、凹凸、粘弾性）を相互比較できる評価系を構築できた。ナノファイバーの表面から内部のDDの分布を評価できるようになり、結晶性との関係を明らかにできたのは、学術的に意味がある。課題Bでは、TEMPO酸化セルロースナノファイバー（TOCN）の特性を $\mu$ PADの作り込みに合理的に活用した。TOCNをモジュールとした $\mu$ PADは焼却できるので後処理が衛生的で、在宅医療、疾病スクリーニング、環境分析、衛生管理ツールに応用可能である。以上のように、本研究ではナノセルロース・ナノキチンの新たな捉え方を提案することができた。

研究成果の概要（英文）：We have developed cell culture patterning scaffold materials (subject A) and paper-based microfluidic analysis device ( $\mu$ PAD) (subject B) by utilizing the innate properties of nanocellulose/nanochitin itself, such as biological activity, thixotropy, and oxygen barrier property. We meanwhile proceeded with the application of new processing methods including inkjet printing and orientation control. For application to 3D printing, we also designed and synthesized a chitin-based nanofiber-based hydrogel with high elasticity, temperature responsiveness, and high cell adhesion and proliferation. From a basic point of view, we established a method for evaluating the distribution of the chemical composition of nanofibers and clarified the effect of it on crystallinity and cell adhesion.

研究分野：セルロース

キーワード：セルロース キチン キトサン ナノファイバー センシング 細胞培養 マイクロ流体ペーパー分析デバイス

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

ナノファイバー (NF)・ナノクリスタル (NC) といったナノセルロース・ナノキチンの製造と利用法の研究が進展する中で、応用分野の更なる深化・拡張が強く求められている。代表者は、先行する科研費 (若手 A; H26-29) で「バイオ NC の寸法が、一般的なインクジェットプリンタ用インク色材の顔料サイズと同等である」ことに着目して、未開拓であった NC のインクジェット印刷に着手し、微細成型技術を確認していた。応用分野に関しては、代表者が当時所属していた学科 (岐阜大応用生物科学部応用生命科学) の多数を占める生命科学者との意見交換により、バイオメディカル用途に関する以下の課題 A および B のアイデアを得る状態にあった。

**課題 A.** 先行する科研費若手 A では、キチン NC (ChNC) の脱アセチル化物 (dChNC) をセロファン (細胞接着性無し) 上にインクジェット印刷すれば、得られる dChNC マイクロパターン形状に応じてマウス繊維芽細胞の接着形態を誘導できることを見出した。細胞パターンニング基板の研究は 90 年代から行われている [*Science* 264, 696 (1994)]。その目的は「細胞成長形態の誘導」や「細胞とシグナル分子の反応の追跡を容易にして、医薬のスクリーニングに活用すること」等である。プロセッシング法として一般には有害物質が必要なリソグラフィが使われる。これを dChNC 分散液のインクジェット印刷に置き換えると、非接触で自由度が高く安全なナノ素材の直接成形が可能になる。申請時には、「接着した細胞を多糖分解酵素で基質特異的に剥がせれば、細胞剥離に通常使われるトリプシン (タンパク質分解酵素) 処理が不要で、マイクロパターン化細胞シートを回収できる」という研究立案当初は無かった着想を得ていた。

一方、既往の研究と同様に、代表者らも「細胞接着にはキチンの脱アセチル化度 (DD) と微多孔構造が効く」ことを把握していた。そのため、DD のキャラクタリゼーションを精密に行い、キチン系マイクロパターンのバリエーションを増やせば、種々の細胞に適用性を拡張できると考えた。

**課題 B.** Harvard 大 Whitesides らによる紙と樹脂だけを使った医療デバイス ( $\mu$ PAD) [*Angew. Chem. Int. Ed.* 46, 1318 (2007)] を嚆矢として、紙のメディカル応用研究が国内外で進展していた。代表者は、サバティカルで滞在したカナダ McMaster 大学で、プルラン (グルコースが  $\alpha$ 1-4,  $\alpha$ 1-4,  $\alpha$ 1-6 結合した多糖) を乾燥したピルが、不安定な酵素・核酸を室温で保蔵できることを見出され [*Angew. Chem.* 126, 6269 (2014)]、これを  $\mu$ PAD 部材に応用する研究が盛んであった。

プルランを使った研究を見るに、セルロースナノファイバー (CNF) でなければできないことを着想した。すなわち、プルランは水溶性が高いため、 $\mu$ PAD からすぐに溶け出てしまう。CNF ならば、紙のパルプ繊維上にナノ流路を形成して定着でき、徐放化できる可能性がある。予備検討で、TEMPO 酸化 CNF (TOCN) の乾燥ピルに「酵素や非常に酸化されやすい分子」を包埋すれば、室温で安定的に保蔵できることを見出した。これにはおそらく乾燥 TOCN の酸素バリア性が効いている。

加工の観点からは、TOCN 水分散液のチクソトロピー性が有用である。剪断下では粘度が下がるこの特性は、ヘアスプレー基材としての実用化にもつながっている。代表者らは、チクソ性により TOCN をインクジェット吐出できることを実際に確認した。これは、TOCN をインクベースとした  $\mu$ PAD を、汎用インクジェットプリンタで簡単に作製できることを意味する。

## 2. 研究の目的

インクジェット技術を基盤プロセスとして、バイオメディカル材料コンセプト A および B を提案・確立し、セルロース・キチンの NC・NF ならではの応用の途を切り拓く。

**課題 A.** 細胞接着性に富むキチン系素材をインクジェット印刷して、マイクロパターンニング細胞培養基板を創製する。キチン・キトサン分解酵素で基板から細胞をダメージ無く剥がせることを確認する。3D プリンタのインク材への展開を念頭に、ナノキチン系細胞親和性ハイドロゲルを設計する。細胞接着性に大きく影響するナノキチンの脱アセチル化度の評価法を確立し、ナノキトサンへの変化過程を精査する。

**課題 B.** 乾燥 TOCN の酸素バリア性を活かし、乾燥膜中で不安定分子や酵素を室温で安定保蔵する。これをインクベース基材として、 $\mu$ PAD を構築する。ナノセルロースの物質安定保蔵能に関与する要因を調査する。

## 3. 研究の方法

### 課題 A.

#### (1) マイクロパターンニング細胞培養基板の創製

##### ①インクジェット印刷 (図 1)

キチンを塩酸とともに 90 °C で 6 h 攪拌して加水分解し、ChNC 水分散液を調製した。さらに 50 w/v% の NaOH とともに 150 °C で 14 h 攪拌して脱アセチル化し、dChNC を調製した。得られた dChNC を各種機器分析に供した。dChNC の水分散液をインクジェット卓上実験装置 Labojet-1000 ((株)マイクロジェット製) から吐出し、セロファンフィルム上に微細成形した。セロファン上に形成された dChNC 微細成形体にマウス線維芽細胞 L929 を播種した。48 h 培養した後、0.25 w/v% ヤタラーゼ溶液に浸漬させて細胞を剥離させた。剥離させた細胞を 96 ウェルプレート



図1 NCインクのインクジェット印刷によるマイクロパターニング細胞培養足場材の調製スキーム

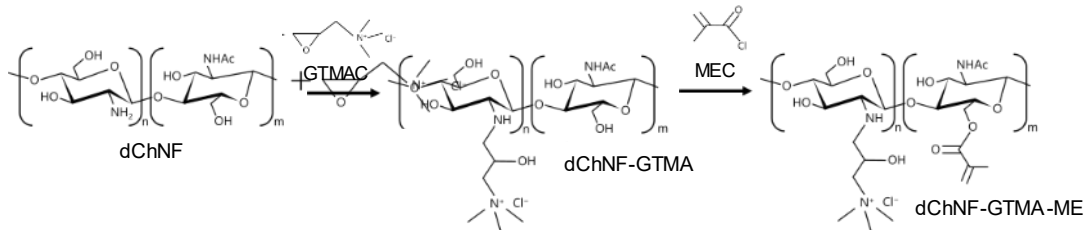


図2 カチオン基とビニル重合性官能基を有する dChNF 修飾物の調製スキーム

上で 1-5 日間培養し、生細胞数を測定した。

②ゲル (図 2)

市販のキチン NF (ChNF, (株) スギノマシン製 BiNF<sub>i</sub>-s-キチン) を高濃度アルカリ処理により脱アセチル化物 (dChNF) を得た。dChNF にグリシジルトリメチルアンモニウムクロリド (GTMAC) およびメタクリロイルクロリド (MEC) を反応させ、細胞接着性に起因する正電荷の保護および架橋剤に必要なビニル基の付与を行った (生成物を dChNF-GTMA-ME と命名)。生成物は NMR による置換度 (DS) の算出, ゼータ電位測定による電荷の確認, および FE-SEM による形状観察を行った。dChNF-GTMA-ME を架橋剤とするハイドロゲルを作製し, 引張試験, マウス線維芽細胞 L929 を用いて細胞接着性と細胞剥離能を調査した。

(2) ナノキチンからナノキトサンへの変化過程の精査

ChNF およびそれを種々の条件でアルカリ処理して得た dChNF を, 種々の比率の尿素-*d*<sub>4</sub>/LiOD/D<sub>2</sub>O 溶媒と混合した。溶媒組成によって溶解率が異なる状態の <sup>1</sup>H NMR スペクトルを得られるので, それらから溶解度と DD を定量した。各試料の広角 X 線回折 (WAXD) プロファイルも測定し, L929 の接着と増殖挙動も評価した。

課題 B.

(3) μPAD の設計

0.5 wt% の TOCN (レオクリスタ, 第一工業製薬 (株) より供与) 水分散液に酢酸インドキシル (IDA) もしくはアセチルコリンエステラーゼ (AChE) の溶液を加えてボルテックスミキサーで混合した。これらをマイクロピペットでテフロンシートあるいは濾紙上に滴下・乾燥させることで, IDA および AChE/TOCN ピルあるいは紙デバイスを作製した。作製したピルはサンプル管, 紙デバイスはチャック付きポリ袋中, 室温で保存した。

作製したピルおよび紙デバイスの比活性は, 酵素反応によって比色定量した。48 ウェルプレートにピルを入れ, IDA/TOCN ピルには AChE 溶液, AChE/TOCN ピルには IDA 溶液をそれぞれ添加し, 30 秒間振盪し, 1 時間酵素反応を行った。生成したインディゴの吸収ピーク (605 nm) 強度をマイクロプレートリーダーで測定し, ピルの比活性を算出した。紙デバイスには, AChE

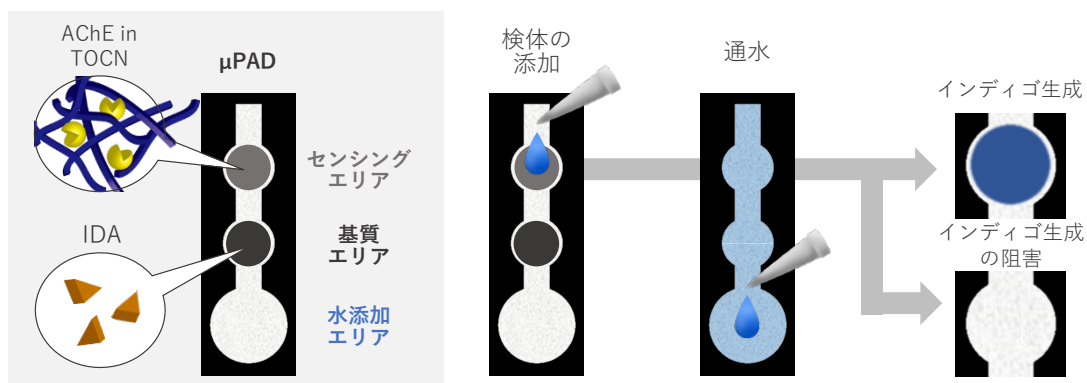


図3 TOCN を搭載したマラチオン検出用 μPAD の調製

もしくはIDAの溶液を直接添加し、酵素反応を行った。1h以上乾燥させた後、デバイスの画像をスキャナで取り込み、生成したインディゴの青色強度をImageJで定量することで、比活性を算出した。

AChE/TOCN水分散液に、表面張力の調整剤として界面活性剤(Triton X-100)を添加し、インクジェット用インクを調製した。これをインクジェット装置に充填し、濾紙上に岐阜大学のロゴマークを印刷した。印刷物を乾燥させた後、IDA溶液を滴下し、インディゴが生成して呈色する様子を観察した。TOCNを含まないインクも同様にインクジェットで印刷し、酵素反応後の外観を比較した。

半定量 $\mu$ PADは濾紙上にワックスプリンタ(Xerox Color Qube8580)で流路を作製して得た(図3)。濃度の異なる有機リン系殺虫剤として知られるマラチオンの水溶液をアッセイに供した。

#### 4. 研究成果

##### (1) マイクロパターニング細胞培養基板の創製

###### ①インクジェット印刷

FT-IR測定から、dChNCは脱アセチル化度が61.1%であり、キトサンの結晶構造を持つことが分かった。

マウス線維芽細胞L929をセロファンフィルム上のdChNC微細成形体とともに48h培養した。dChNC微細成形体は、0.20wt%のdChNC水分散液を用いて、1-10発分の液滴によって形成されており、液滴の数によってドット径を制御できた。細胞が接着したdChNC微細成形体をヤタラゼ溶液に10min浸漬させたところ、細胞を剥離させることに成功した。剥離させた細胞を96ウェルプレートに播種し1-5日間培養したところ、生細胞数の増加が確認できた。すなわち、非タンパク分解によって、細胞を剥離させることに成功した。

###### ②ゲル

NMRより、GTMAC由来の $N^+(CH_3)_3$ のピークおよびMEC由来の $CH_3$ のピークが観られ、 $DS_{GTMAC} = 0.087$ および $DS_{MEC} = 0.093$ と算出された。FE-SEM観察から、反応後もNF構造が維持されていることが確認された。これらのことから、細胞接着性を保持したキチンNF由来の架橋剤の調製に成功した。架橋剤のdChNF-GTNA-MEとポリ(N-イソプロピルアクリルアミド)(PNIPAM)で構成されるハイドロゲルは、引張試験より最大応力約32kPaを記録した。細胞接着性試験より、細胞を良好に接着させることが明らかとなった。細胞剥離試験より、図4のようにPNIPAM由来の体積相転移を用いることで、温度変化による細胞剥離能が確認された。これらのことから、細胞接着性と細胞剥離能を両立したキチン系NF由来の新規細胞培養足場材料の創製に成功した。

##### (2) ナノキチンからナノキトサンへの変化過程の精査

dChNFの断面方向のDDの分布を定量し、脱アセチル化による結晶構造の変化を追跡し、細胞の接着・増殖に対するこれらの構造因子の影響を調べた。

市販のChNFは、NFの形状を維持したまま、高濃度アルカリ処理によって脱アセチル化された。得られたdChNFは、尿素- $d_4$ /LiOD/ $D_2O$ 溶媒のLiOD濃度に応じて、完全に、あるいは部分的に溶解した。溶解部の割合とDDを $^1H$ NMRで定量したところ、ChNFの脱アセチル化は表面から進行したことがわかった。WAXDより、dChNF全体のDD(overall DD)が60%まで増加するにつれて $\alpha$ -キチン結晶の疎水面の連続性が增大したことが示された。overall DDが60%を超えると、結晶形は水和キトサン型に変化し、全体として結晶性が低下した。マウス線維芽細胞L929培養試験では、overall DDの増加と共に接着細胞数が増加した。特に、培養初期の細胞接着にはDD分布から見積もられた表面の親水化が寄与することが示唆された。一方、高度に脱アセチル化されたdChNFのWAXDから類推される試料の全体的な親水性の増加は、細胞培養を数

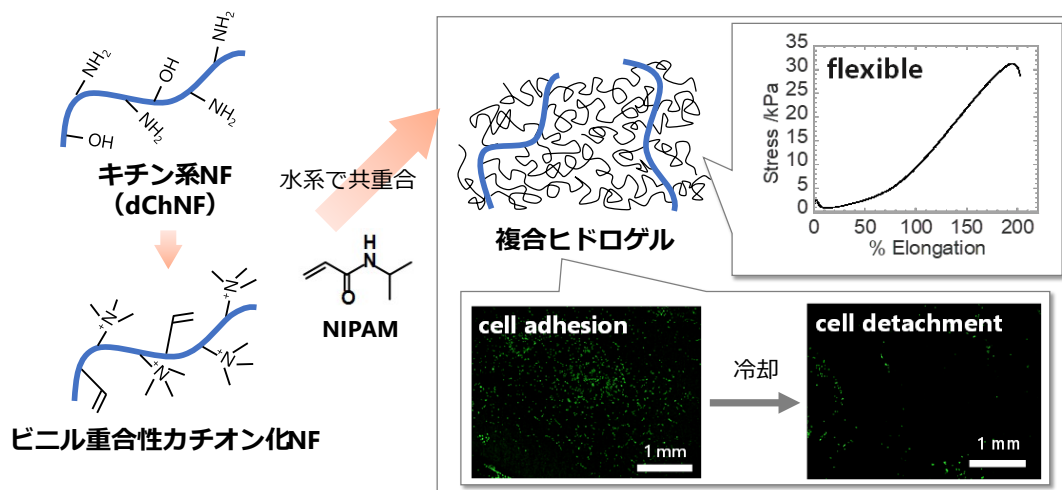


図4 細胞接着と細胞剥離が可能なキチン系NF複合ヒドロゲルの開発



十 h 継続した場合の増殖を促進するようであった。一連のデータから見積もられた脱アセチル化と細胞挙動ならびに高次構造の関係を図 5 にまとめた。

これらの結果は、NF 表面と内部構造の違いが、その表面での動物細胞の接着・増殖挙動に影響を与えることを示すものであり、キチン系 NF のさらなる生医学的評価が望まれる。

### (3) $\mu$ PAD の設計

未処理の IDA および AChE を空气中・室温で放置すると、いずれも数時間で失活し、バッファー溶液中では IDA は約 1 週間、AChE は約 3 日で完全に活性を失う。一方、TOCN ピル中に包埋した IDA および AChE の活性は、室温で少なくとも 1 ヶ月間保持された。すなわち、酸素バリア性の高い TOCN フィルムを用いることで、不安定分子の酸化による失活を抑制できたと考えられる。さらに、TOCN に直接酵素を包埋しても、活性を損失しないことが確認できた。

次に、IDA および AChE/TOCN 紙デバイスを室温で保存した時の比活性を調べた。IDA のみの紙デバイスでは、51 日間の保存で比活性が約 54% まで低下したのに対し、IDA/TOCN 紙デバイスは活性を保持した。AChE のみの紙デバイスでは、28 日間の保存で比活性が約 15% まで大きく低下したのに対し、AChE/TOCN 紙デバイスは比活性を 90% 程度保持した。したがって、紙上でも、TOCN により不安定分子の失活を抑制することができると考えられる。

TOCN ベースの酵素インクを濾紙上にインクジェット印刷し、酵素反応に供した後の印刷物の外観を図 6 に示す。調製したインクは良好に吐出・微細成形が可能であった。さらに、TOCN を含まないインクでは、インディゴが滲み、通水によって酵素が容易に流延したのに対し、TOCN 含有インクでは、インディゴはロゴマーク状に生成していた。TOCN の乾燥固形物は、ファイバー間に水素結合を形成するため、水を添加しても再分散しないという特徴を有している。したがって、通水時に TOCN 層は膨潤し、徐々に反応液が浸透することで酵素反応場となることが考えられる。このことから、通水しても TOCN ドメインは拡散せず、酵素は主に TOCN ドメイン内に保持されていることが示された。

これらの知見を活用して、TOCN を組み込んだマラチオンの半定量  $\mu$ PAD を作製した。マラチオンは AChE の加水分解触媒能を阻害するので、それを反応系に添加すると結果的にインディゴの生成が損なわれる。マラチオン無添加時でも、センシング領域に TOCN を含まない  $\mu$ PAD ではインディゴによる呈色を観察することはできなかった。一方、TOCN を組み込んだ  $\mu$ PAD では、マラチオン無添加時にはインディゴを検出でき、マラチオン濃度が増加するにつれて青色強度が減少した。すなわち、この  $\mu$ PAD を用いてマラチオン濃度を評価することができた。

センシング領域に TOCN を含まない  $\mu$ PAD では、生成したインディゴをセンシング領域に保持しただけでなく、青色の呈色そのものも弱かった。呈色の乏しさは、酵素反応に必要な時間が TOCN を含まない  $\mu$ PAD では確保されないことによる可能性が高い：TOCN 非搭載  $\mu$ PAD では水が流路の上端に約 6 min で達したのに対して、TOCN を組み込んだ  $\mu$ PAD ではこれに 15 min 以上要した。したがって、センシング領域に存在する TOCN は、流速を制御し、反応時間を確保する、すなわちデバイス上で実質的に徐放能を発現しているものと解釈することができる。

以上の知見を総括すると、TOCN がもつ次の特性を活用して、それを  $\mu$ PAD のモジュールとして合理的に組み込むことができる：

- 「乾燥状態での酸素バリア性」は「不安定物質の貯蔵能」として作用する。
- 「高度な膨潤能」により「生化学反応場」が提供される。
- 「酵素の固定化能」は「センシング領域の固定化」に有用である。
- 「乾燥状態への水の浸透の遅さ」は「流速制御」と「デバイス上での実質的な徐放能」として働く。

TOCN の水分散液はインクジェット印刷が可能なので、 $\mu$ PAD の製造プロセスを簡素化できる。紙にセルロースを印刷していることになるので、焼却しても灰が残らず、衛生面でも廃棄物処理の面からも後処理が容易である。

その他、不安定分子の安定保蔵機構の解明、流路設計、および適用可能なアッセイ系の拡張などの検討も行った。

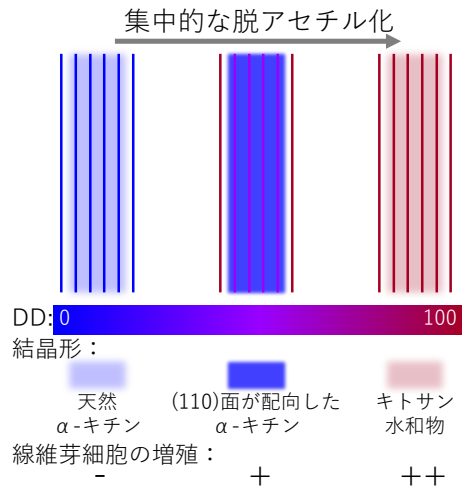


図 5 細胞接着と細胞剥離が可能なキチン系 NF 複合ヒドロゲルの開発

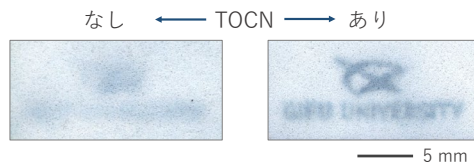


図 6 酵素反応後のインクジェット印刷物の外観

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計27件（うち査読付論文 20件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kazuma Miyagi, Yoshikuni Teramoto	4. 巻 174
2. 論文標題 Function extension of dual-mechanochromism of acylated hydroxypropyl cellulose/synthetic polymer composites achieved by "moderate" compatibility as well as hydrogen bonding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 150-158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2019.04.067	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 Kazuma Miyagi, Yoshikuni Teramoto	4. 巻 26
2. 論文標題 Facile design of pressure-sensing color films of liquid crystalline cellulosic/synthetic polymer composites that function at desired temperatures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cellulose	6. 最初と最後の頁 9673-9685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10570-019-02769-3	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 Niwa Saori, Ogawa Tatsuya, Ogoe Shinji, Teramoto Yoshikuni	4. 巻 185
2. 論文標題 Wetting and localization of compatibilizers in biocomposites: A nanoscale evaluation and effects on physical properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 121963-121963
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2019.121963	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 Nobuki Katsu, Takashi Endo, Yoshikuni Teramoto	4. 巻 27
2. 論文標題 Evaluation of the average state of carbohydrate/lignin coexistence in wood by analysis of molecular motion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Cellulose	6. 最初と最後の頁 41-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10570-019-02792-4	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 Chakrabarty Arindam, Teramoto Yoshikuni	4. 巻 8
2. 論文標題 Scalable Pickering Stabilization to Design Cellulose Nanofiber-wrapped Block Copolymer Microspheres for Thermal Energy Storage	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 4623-4632
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.0c00687	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 Kenki Goto, Yoshikuni Teramoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of chitinous nanofiber-based flexible composite hydrogels capable of cell adhesion and detachment	5. 発行年 2020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/s41428-020-0324-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 寺本好邦	4. 巻 11
2. 論文標題 ナノセルロース・ナノキチンのシンプルなプロセッシングでバイオメディカル材料への応用を目指す	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 粉体技術	6. 最初と最後の頁 1025-1028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Teramoto Yoshikuni	4. 巻 57
2. 論文標題 Material Development Using the Inherent Features of Nano-cellulose and Nano-chitin: Necessity of Simple Processes and Cross-disciplinary Collaboration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Powder Technology, Japan	6. 最初と最後の頁 97-102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4164/sptj.57.97	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 Teramoto Yoshikuni	4. 巻 31
2. 論文標題 Material development using the inherent features of nano-cellulose and nano-chitin: Necessity of simple processes and cross-disciplinary collaboration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 528-532
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.appt.2019.11.009	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 Miyagi K, Teramoto Y	4. 巻 8
2. 論文標題 Exploration of immobilization conditions of cellulosic lyotropic liquid crystals in monomeric solvents by in situ polymerization and achievement of dual mechanochromism at room temperature	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RSC Adv	6. 最初と最後の頁 24724-24730
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8RA04878A	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 Murase R, Kondo S, Kitamura T, Goi Y, Hashimoto M, Teramoto Y	4. 巻 1
2. 論文標題 Cellulose Nanofibers as a Module for Paper-based Microfluidic Analytical Devices: Labile Substance Storage, Processability, and Reaction Field Provision and Control	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Appl Bio Mater	6. 最初と最後の頁 480-486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsubm.8b00206	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 Sunaga Y, Ogoe S, Aoki K, Ito H, Teramoto Y	4. 巻 6
2. 論文標題 Profitable Mass-Production of Acid-Modified Recovered Resins for Value-Added Mechanical Recycling as a Compatibilizer for Composites	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Sustain Chem Eng	6. 最初と最後の頁 12110-12118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.8b02431	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 Chakrabarty A, Miyagi K, Maiti M, Teramoto Y	4. 巻 19
2. 論文標題 Topological Transition in Spontaneously Formed Cellulosic Liquid-Crystalline Microspheres in a w/o Emulsion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biomacromolecules	6. 最初と最後の頁 4650-4657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biomac.8b01367	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 Miyagi K, Teramoto Y	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Function extension of dual-mechanochromism of acylated hydroxypropyl cellulose/synthetic polymer composites achieved by "moderate" compatibility as well as hydrogen bonding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2019.04.067	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 Ghosh T, Teramoto Y, Katiyar V	4. 巻 67
2. 論文標題 Influence of Nontoxic Magnetic Cellulose Nanofibers on Chitosan Based Edible Nanocoating: A Candidate for Improved Mechanical, Thermal, Optical, and Texture Properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Agric Food Chem	6. 最初と最後の頁 4289-4299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jafc.8b05905	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 該当する

1. 著者名 寺本好邦	4. 巻 57
2. 論文標題 ナノセルロース・ナノキチンのバイオメディカル応用に向けたアイデア創出	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 機能紙研究会誌	6. 最初と最後の頁 37-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 寺本好邦	4. 巻 72
2. 論文標題 ライフサイエンスを指向したナノセルロースからの機能材料創製	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 紙バ技協誌	6. 最初と最後の頁 16-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 宮城一真, 寺本好邦	4. 巻 25
2. 論文標題 液晶性セルロース誘導体/合成ポリマー複合フィルムのメカノクロミック機能発現	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cellulose Communications	6. 最初と最後の頁 159-162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 寺本好邦	4. 巻 36
2. 論文標題 シンプルなプロセスで構築するナノセルロース・ナノキチンからのバイオメディカル機能材料	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 月刊BIO INDUSTRY	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 寺本好邦, 村瀬璃奈, 後居洋介, 北村武大, 橋本賀之	4. 巻 67
2. 論文標題 紙ベースのマイクロ流体分析デバイス用モジュールとしてのセルロースナノファイバーの活用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 月刊JETI	6. 最初と最後の頁 33-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Chakrabarty, A., & Teramoto, Y.	4. 巻 10
2. 論文標題 Recent Advances in Nanocellulose Composites with Polymers: A Guide for Choosing Partners and How to Incorporate Them	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 517 (計47頁)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym10050517	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 Chakrabarty, A., Maiti, M., Miyagi, K., & Teramoto, Y.	4. 巻 1
2. 論文標題 Gel Emulsion Based on Amphiphilic Block Copolymer: A Template to Develop Porous Polymeric Monolith for the Efficient Adsorption of Volatile Organic Compounds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 1569-1578
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.8b00068	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 Miyagi, K., & Teramoto, Y.	4. 巻 6
2. 論文標題 Dual mechanochromism of cellulosic cholesteric liquid-crystalline films: wide-ranging colour control and circular dichroism inversion by mechanical stimulus	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 1370-1376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7TC05092E	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 Sakai, R., Teramoto, Y., & Nishio, Y.	4. 巻 50
2. 論文標題 Producing a magnetically anisotropic soft material: synthesis of iron oxide nanoparticles in a carrageenan/PVA matrix and stretching of the hybrid gelatinous bulk	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 251-260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-017-0008-4	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 Suzuki, S., & Teramoto, Y.	4. 巻 16
2. 論文標題 Simple Inkjet Process To Fabricate Microstructures of Chitinous Nanocrystals for Cell Patterning	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Biomacromolecules	6. 最初と最後の頁 1993-1999
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biomac.7b00527	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 寺本好邦	4. 巻 65
2. 論文標題 ナノキチンのインクジェット印刷によるマイクロパターンニング細胞足場材の創製	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 工業材料	6. 最初と最後の頁 78-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Yoshikuni Teramoto	4. 巻 5
2. 論文標題 Recent Advances in Multi-Scale Experimental Analysis to Assess the Role of Compatibilizers in Cellulosic Filler-Reinforced Plastic Composites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Composites Science	6. 最初と最後の頁 138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jcs5050138	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38件 (うち招待講演 14件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 寺本好邦
2. 発表標題 バイオナノファイバーに架橋点を集中させた高伸縮性複合ハイドロゲル
3. 学会等名 第28回ポリマー材料フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshikuni Teramoto
2. 発表標題 Evaluation efficacy of compatibilizer in biocomposites
3. 学会等名 Advances in Polymer Science and Rubber Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuma Miyagi, Yoshikuni Teramoto
2. 発表標題 Mechanochromism of liquid crystalline cellulose derivative/synthetic polymer composites
3. 学会等名 6th International Polysaccharide Conference (EPNOE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮城一真, 寺本好邦
2. 発表標題 アシル化ヒドロキシプロピルセルロース/アクリルモノマー溶液のin-situ重合によるコレステリック液晶フィルムの調製とメカノクロミック特性
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 伊藤瑞希, 寺本好邦
2. 発表標題 構造多糖ナノファイバーを利用した難水溶性物質の溶解性向上
3. 学会等名 セルロース学会第 26 回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenki Goto, Yoshikuni Teramoto
2. 発表標題 Examination of influencing factors of chitinous nanofibers on cell adhesion
3. 学会等名 6th International Polysaccharide Conference (EPNOE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮城一真, 寺本好邦
2. 発表標題 セルロース誘導体と合成ポリマーの複合化によるコレステリック液晶フィルムの調製とメカノクロミック機能発現
3. 学会等名 セルロース学会第25回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤健希, 寺本好邦
2. 発表標題 キチン系ナノファイバーに対する細胞接着性への影響因子
3. 学会等名 セルロース学会第25回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Goto K, Teramoto Y
2. 発表標題 Examination of influencing factors of chitinous nanofibers on cell adhesion
3. 学会等名 14th Int. Chitin Chitosan Conf. (14th ICC) 12th Asia Pacific Chitin Chitosan Symp. (12th APCCS) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Miyagi K, Teramoto Y
2. 発表標題 Liquid crystalline cellulose/synthetic polymers composites expressing mechanochromic property
3. 学会等名 10th Int. Conf. Modif. Degrad. Stab. Polym. (MoDeSt2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Asaoka M, Miyamori Y, Katsu N, Teramoto Y
2. 発表標題 Direct Observation of Lignin Molecules Isolated in Miscible Polymer Blends by Atomic Force Microscopy
3. 学会等名 2018 SWST/JWRS Int. Conv (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miyagi K, Teramoto Y
2. 発表標題 Cellulosic/polymer liquid crystalline composites expressing stress induced color change as well as circular dichroic inversion
3. 学会等名 12th Int. Polym. Conf. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chakrabarty A, Maiti M, Miyagi K, Teramoto Y
2. 発表標題 Porous Polymeric Monolith from the Gel-Emulsion of an Amphiphilic Block Copolymer for the Efficient Adsorption of Volatile Organic Compounds
3. 学会等名 12th Int. Polym. Conf. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chakrabarty A, 宮城一真, Maiti M, 寺本好邦
2. 発表標題 セルロース誘導体コレステリック液晶微粒子の創製とマルチ情報キャリアとしての展望
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会（函館大会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Teramoto Y
2. 発表標題 Cellulose Nanofibers as a Module for Paper-based Microfluidic Analytical Devices: Labile Substance Storage, Processability, and Reaction Field Provision and Control
3. 学会等名 2018 SWST/JWRS Int. Conv (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺本好邦
2. 発表標題 ナノセルロース/キッチン材料研究の応用生命科学的展開
3. 学会等名 第12回多糖の未来フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺本好邦
2. 発表標題 ライフサイエンスを指向したナノセルロースからの機能材料創製
3. 学会等名 第85回紙パルプ研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺本好邦
2. 発表標題 複合化とプロセッシングを基軸としたバイオマス材料化学：分野の深化・拡張を目指して
3. 学会等名 第11回木質科学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺本好邦
2. 発表標題 ナノセルロース・ナノキチンのバイオメディカル応用のアイデア創出
3. 学会等名 第57回機能紙研究発表講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺本好邦
2. 発表標題 ナノセルロース・ナノキチンのインクジェット加工と生医学的応用. プラスチック成形加工学会
3. 学会等名 第26回秋季大会 成形加工シンポジア ' 18（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Teramoto Y
2. 発表標題 Cellulose Nanofibers as a Module for Paper-based Microfluidic Analytical Devices
3. 学会等名 6th Asian Netw. Nat. & Unnatural Mater. (ANNUM VI)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Teramoto Y
2. 発表標題 Life Scientific Applications Utilizing Features of Nano-Cellulose and Nano-Chitin
3. 学会等名 10th Int. Conf. Modif. Degrad. Stab. Polym. (MoDeSt2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺本好邦
2. 発表標題 ナノセルロース・ナノキチンの複合化とプロセッシングによる機能性マテリアルへの変換
3. 学会等名 ナノセルロースフォーラム第11回技術セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Teramoto Y.
2. 発表標題 Electrical functions expressed via orientation control by mechanical processing of cellulose derivatives
3. 学会等名 Fourth International Symposium on Advances in Sustainable Polymers (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺本好邦
2. 発表標題 複合化とプロセッシング法開発を軸としたナノセルロース・ナノキチンからの機能材料設計
3. 学会等名 岐阜県産業技術センター新技術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村瀬璃奈, 北村武大, 橋本賀之, 寺本好邦
2. 発表標題 ライフサイエンスへの応用を目指したセルロースナノファイバーの複合化と加工法の開発
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会 (2018) アドバンスト・テクノロジー・プログラム(ATP) T1. B. 若手が切り拓くセルロースナノファイバーの新しい可能性 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Teramoto Y.
2. 発表標題 Biomedical applications utilizing properties of nano-cellulose and nano-chitin via inkjet printing
3. 学会等名 The 4th International Cellulose Conference ICC 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Chakrabarty A., Miyagi K., Maiti M., Teramoto Y.
2. 発表標題 Spherically Confined Cholesteric Liquid Crystal of Hydroxypropyl Cellulose
3. 学会等名 The 4th International Cellulose Conference ICC 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kito K., Teramoto Y.
2. 発表標題 Composite of cellulose nanofiber surface-modified with polydopa and copper nanoparticles by electroless plating: high dispersion and oxidation inhibition of the nanoparticles
3. 学会等名 The 4th International Cellulose Conference ICC 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Miyagi K., Teramoto Y.
2. 発表標題 Dual mechanochromism of cellulosic cholesteric liquid crystalline films: wide-ranging alteration of helical pitch and inversion of helical handedness by mechanical stimulus
3. 学会等名 The 4th International Cellulose Conference ICC 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今井康太, 光部亮佑, 葭谷耕三, 寺本好邦
2. 発表標題 表面修飾セルロースナノクリスタルを組み込んだ異方性高伸縮ハイドロゲルの創製
3. 学会等名 セルロース学会第 24 回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 村瀬璃奈, 葭谷耕三, 寺本好邦
2. 発表標題 バイオセンシングへの応用を目指したセルロースナノファイバーの複合化と加工法の開発
3. 学会等名 セルロース学会第 24 回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮城一真, 寺本好邦
2. 発表標題 セルロース誘導体由来コレステリック液晶フィルムにおけるメカノクロミック特性
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Chakrabarty A., Teramoto Y., Singha, N. K.
2. 発表標題 Fluoropolymer/Clay Nanocomposites via Pickering Emulsion Polymerization; A Surfactant-free Approach to Develop Hydrophobic Surfaces
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 桂川徹也, 寺本好邦
2. 発表標題 インクジェットで吐出したキトサンナノファイバー微細成形物上での細胞の接着と成長挙動
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Teramoto Y., Suzuki S., Katsuragawa T.
2. 発表標題 Non-proteolytically digestible micro-patterning cell scaffolds by inkjet-printing of chitinous nanocrystals
3. 学会等名 253rd American Chemical Society National Meeting & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Miyagi K., Teramoto Y.
2. 発表標題 Mechanochromic properties of cellulosic liquid crystalline materials
3. 学会等名 253rd American Chemical Society National Meeting & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Murase R., Teramoto Y.
2. 発表標題 Preservation of labile biomolecules in cellulose nanofiber pills and their biosensing applications
3. 学会等名 253rd American Chemical Society National Meeting & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Yoshikuni Teramoto, Kazuma Miyagi	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 21
3. 書名 Creation of Electrically and Optically Functional Materials from Cellulose Derivatives via Simple Modification and Orientation Control. In: Katiyar V., Kumar A., Mulchandani N. (eds) Advances in Sustainable Polymers. Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials	

1. 著者名 Nishio, Y., Teramoto, Y., Kusumi, R., Sugimura, K., & Aranishi, Y.	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer International Publishing	5. 総ページ数 125
3. 書名 Blends and Graft Copolymers of Cellulosics	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="https://sites.google.com/view/1812-yoshikuniteramoto/">https://sites.google.com/view/1812-yoshikuniteramoto/</a> <a href="https://sites.google.com/view/1812-yoshikuniteramoto/">https://sites.google.com/view/1812-yoshikuniteramoto/</a>
--

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	北口 公司  (Kitaguchi Kohji)  (50508372)	岐阜大学・応用生物科学部・助教     (13701)	

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