

平成 30 年 6 月 29 日現在

機関番号：13701

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2017

課題番号：26712016

研究課題名(和文) インクジェットによるセルロース・キチンナノクリスタルのデジタル成形と機能創出

研究課題名(英文) Digital shaping and functionality development of cellulose/chitin nanocrystals by inkjet process

研究代表者

寺本 好邦 (Teramoto, Yoshikuni)

岐阜大学・応用生物科学部・准教授

研究者番号：40415716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円

研究成果の概要(和文)：セルロースやキチンのナノクリスタル(NC)や誘導体のインクジェット印刷法を構築し、新たな機能を創出することを目的とした。キチン系NCマイクロパターンとセルロース誘導体液晶性微細造形体を作製し、それぞれ細胞培養足場材と光学機能材料としての適用性を評価した。前者では、多糖分解酵素で細胞剥離が可能なマイクロパターン足場材を創出することに成功した。この成果を基にバイオメディカル応用に関するさらなる基盤研究の立案に発展した。

研究成果の概要(英文)：We aimed to create new functions by constructing ink jet printing method of cellulose and chitin nanocrystals (NC) and derivatives. Chitinous NC micropattern and cellulosic liquid crystalline microstructure were fabricated and evaluated for their applicability as cell culture scaffolds and optical functional materials, respectively. In the former, we successfully designed micropatterning scaffolds capable of cell detachment with a polysaccharide degrading enzyme. Based on this result, further fundamental research on biomedical application of nanocellulose and nanochitin was devised.

研究分野：バイオマス材料化学

キーワード：セルロース キチン ナノクリスタル ナノファイバー インクジェット 細胞接着 液晶 セルロース誘導体

### 1. 研究開始当初の背景

セルロースやキチンといった構造多糖のナノクリスタル (NC, ~10 nm 幅・~100 nm 長の棒状) は、優れた力学物性や、剛直性とキラリティに基づく液晶形成能を有するため、ファイバー (ポリマーとの複合体の充填強化材) や機能材料としての応用が期待されている。しかしながら、通常 NC は水か極性溶媒にのみ安定分散するため加工条件に制約が多く、応用を困難にしている。もし良好に分散した NC を用いて成形加工法を拡張し、配向制御もできれば、新たな有効利用の途が開ける。本課題ではその路線に沿って、多糖材料では未開拓のデジタル成形に着手することとした。

### 2. 研究の目的

インクジェットとは、「色材や機能材料を含む液体 (インク) をデジタル信号によって液滴に分離し、記録対象に向けて吐出して、対象物に付着させる技術」を指す。代表者がこの技術に注目したのは、「家庭用インクジェットプリンタ用インク色材の顔料のサイズが < 200 nm の粒子であることから、同等サイズの NC も同様に吐出できる可能性が高い」と考えたためである。

本課題では、インクジェットによる NC のデジタル成形技術の確立を核とし、代表者のこれまでのセルロースやキチン系のブレンドや配向制御に関する成果を活用して、NC の新たな機能展開を図った。下記 i) および ii) の知見と着想が本課題立案の根拠となっている。

i) インクジェットプロセスによるキチン系マイクロパターンニング細胞培養足場材の創製：代表者が開発した細胞接着・増殖を著しく促進するキチン系プラスチックは、キチン表面微多孔体を形成させることでその機能を発揮した [Carbohydr. Polym., **114**, 330, (2014)]。同等サイズのマイクロパターンをインクジェットでキチン NC から作製すれば、細胞の培養に適したパターン形状を明らかにでき、細胞培養足場材を構築できる。

ii) インクジェットによるバイオマス系液晶材料のマイクロ成形：液晶状態の NC 等のバイオマス素材のインクに剪断応力を印加するとインク内容物が高度に配向することから、その着弾時に記録対象を微小変位させて剪断印加すれば、配向膜を得られると期待される。例えば NC を配向させられれば、その光学異方性を活かして光波分離 (偏光) 機能材料を創出できる。

### 3. 研究の方法

i) インクジェットプロセスによるキチン系マイクロパターンニング細胞培養足場材の創製

キチンを塩酸で加水分解し、キチンナノクリスタル (ChNC) 水分散液を調製した。さらにアルカリで脱アセチル化し、脱アセチル化 ChNC (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、セロハンフィルム上に微細成形した。セロハン上に形成された 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 ウェルプレート上で培養した。

一方、インクジェットによる造形と細胞親和性の評価を、市販のキチンナノファイバー (ChNF) およびキトサンナノファイバー (CtsNF) に対しても行った。調製した CtsNF 微細成形物の上でマウスマクロファージ RAW264.7 およびマウス線維芽細胞 L929 を 24 h 培養した時の炎症性サイトカイン (TNF- $\alpha$ , IL-6) の産生量を ELISA 試験により調査した。ii) インクジェットによるバイオマス系液晶材料のマイクロ成形：ヒドロキシプロピルセルロース (HPC; 置換度 1.4, モル置換度 3.9) とモノマー (ジエチレングリコールモノメチルエーテルメタクリレート (DEGMEM)) の混合比を 5:1 に、メタノールと脱イオン水の混合比を 1:2 に固定し、1-20 wt% の HPC を含む HPC/DEGMEM/メタノール/水系溶液を調製した。DEGMEM に対して重合開始剤を加え混合した。溶液をマイクロピペットでスライドガラス上に滴下して液晶形成挙動を調査した後、インクジェット卓上装置で吐出を行った。呈色を発現させるために熱処理した。

### 4. 研究成果

i) インクジェットプロセスによるキチン系マイクロパターンニング細胞培養足場材の創製

キチン系 NC のシンプルな水分散液の吐出挙動を調べた。NC 濃度を 1 wt% 程度以下にすれば、粘度 ~2 mPa·s ( $\dot{\gamma} = 1000 \text{ s}^{-1}$ ) ならびに表面張力 ~60 mN/m となり、装置のインク材への要求物性を満たした。そのため、申請時に想定していたデュアルポリマーマトリックスや界面活性剤等の添加剤は不要であった。プロセスのイメージ図を図 1 に示す。



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ンニング細胞培養足場材の調製スキーム

ChNC を PET, ポリスチレン (PS), セロハン等の種々の基板に吐出すると、1 滴の吐出で基板上に直径 ~150  $\mu\text{m}$  のドット状微細成形物を形成した。ただし、図 2a に示すように、液滴中心部から周辺部へ固形成分が流れて集積するコーヒーステイン現象がしばしば観られた。この現象は、インク濃度やピエゾ素子の駆動 (図 2b) を調整すれば相当程度回避で

きた。一方、基板を搭載するステージをドットの吐出中に一定速度で一軸方向に移動させると、最小幅~200  $\mu\text{m}$  のラインを描けた。

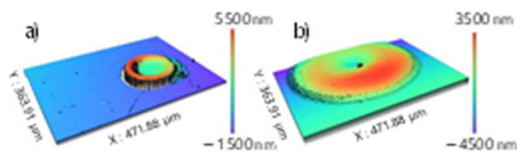


図2 1 wt%ChNC 水分散液インク吐出時のピエゾ素子の駆動条件による造形の違いを示す白色干渉像：(a) 連続して10滴吐出すると縁が高く、(b) 秒オーダーのインターバルを設けながら1, 5, および10滴を吐出して重ねるとコーヒーステイン現象が低減された。

ChNC 水分散液のインクジェット印刷は再現性よく行えるようになったので、印刷物に対してマウス線維芽細胞 L929 を播種して、細胞接着実験を行った。

一般にバルクのキチン・キトサンは、2位のアセチルアミノ基の脱アセチル化度 (DD) が高いほど、線維芽細胞ばかりでなく筋肉芽細胞等の接着性が高く成長が促進される。キチン系 NC 微細成形物の場合にも、ChNC 表面をアルカリ加水分解して DD を高めるほど、線維芽細胞が接着しやすかった。DD = 61.1% の脱アセチル化 ChNC (dChNC61.1) をインクとして、インクジェットプリンタの分解能と同等の造形が可能となり、印刷形状に応じた細胞のマイクロパターンニングを達成した (図3)。細胞培養後の基板を、キチナーゼ・キトサーナーゼ活性をもつ糖鎖分解酵素 (ヤタラーゼ) で処理すると、トリプシンを用いずとも生細胞を回収できることも見出した。

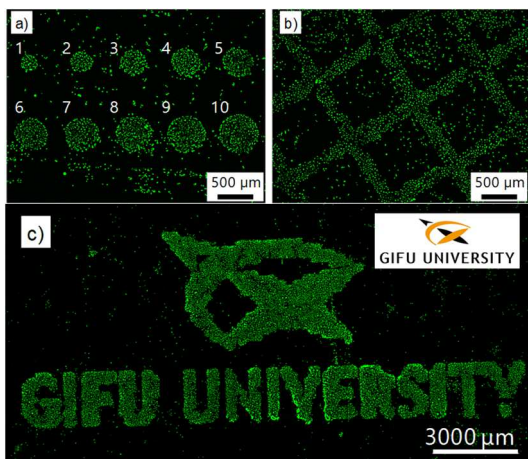


図3 マウス線維芽細胞 L929 が(a) ドット、(b) 格子状ライン、および(c) 岐阜大のロゴ状に印刷した dChNC61.1 のマイクロパターンに接着する様子。接着細胞の細胞質を蛍光染色して撮影した蛍光顕微鏡像。(a)中の数値は吐出回数。業績 雑誌論文7から転載許可済み(© 2017 American Chemical Society)

ちなみに、DD が~40%の場合には NC はキ

チンの結晶構造をとっているが、dChNC61.1 はキトサン結晶となっていることが広角 X 線回折によりわかった。一般に細胞は物質表面の電荷、親疎水性、凹凸、粘弾性などを認識して接着挙動が変化する。細胞はキチン系 NC の何を認識しているのか、興味は尽きない。

その後、試料 (インク) 調製を簡便にするために、市販されているキチンあるいはキトサンのナノファイバー (それぞれ ChNF および CtsNF) をインクジェット印刷することを試みた。インクジェット吐出時の液滴数を含む諸条件を選択することにより、種々の寸法のドットおよび格子状微細成形物を調製することができた。厚さの異なるドット上で細胞培養を行ったところ、24 h 後の細胞接着数はほぼ等しかったが、1 h および 3 h 後の細胞接着数は厚い微細成形物上において多かった (図4)。この結果は、成形物の厚さにより細胞接着の初期速度を制御できることを示している。

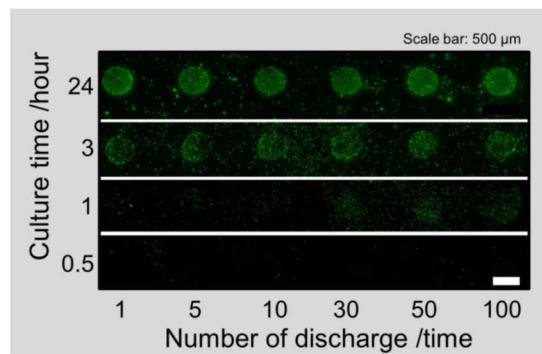


図4 マウス線維芽細胞 L929 生細胞の蛍光像。細胞はインクジェットで吐出回数(1-100回)を変えて造形した CtsNF ドット上に播種した。培養時間は 0.5, 1, 3, および 24 h とした。

CtsNF および ChNF 微細成形物上で、マクロファージおよび線維芽細胞を培養した時の炎症性サイトカインの産生量を調査したところ、DD が細胞の炎症性に影響していることが示唆された。以上のことから、CtsNF のシート状成形物を創傷被覆材として提供することで、炎症性が低く、細胞接着速度を制御できる材料を設計し得ると考えている。

## ii) インクジェットによるバイオマス系液晶材料のマイクロ成形

本研究では、ヒドロキシプロピルセルロース (HPC) にモノマーと溶媒を添加してインクジェットで吐出可能な粘度にまで低下させ、これをインクとして微細成形することとした。セルロースエーテル誘導体と同様にコレステリック (キラルネマチック) 液晶性を発現し得るセルロースナノクリスタル (CNC) と比較して、HPC を用いた場合には、モノマーとの混合系を重合固定化した場合に、コレステリック性による呈色現象を発現しやすいことが予想されるため、HPC 系を選択した。

種々の HPC 濃度の溶液粘度を  $1000 \text{ s}^{-1}$ ,  $20^\circ\text{C}$

で測定したところ、インクジェットで吐出可能な粘度 0.5–40 mPa·s の範囲となるのは 3 wt%以下の時であった。

溶液滴下時の液晶形成挙動を調査するため、マイクロピペットでスライドガラスに溶液を滴下し乾燥させたところ、液滴は光学異方性を示したが呈色しなかった。そこで液滴に様々な温度履歴を与えた結果、70°Cで1h, 4°Cで23hのサイクルで2–3回アニーリングすることによって、20 wt%出発などの高濃度溶液で明瞭な青色を呈することを見出した(図5)。しかし、インクジェットで吐出できる低濃度溶液では、呈色するタイミングはあるものの、それを維持することはできなかった。



図5 熱処理後の液滴(左から5, 10および20 wt%の溶液)

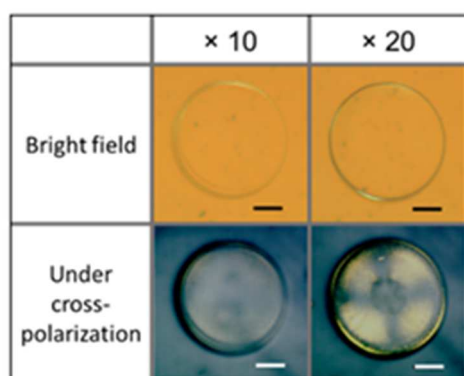


図6 インクジェットプリンタで吐出された液滴。スケールバーは100 μmを示す。

図6は、インクジェット装置を用いて2 wt%溶液(光学的には等方性)を直径420 μmのドット状に10および20回重ねて成形したものである。肉眼では吐出物の呈色を確認することはできなかったが、偏光下では複屈折を示した。このことから、溶媒の蒸発によって光学異方性の吐出物を成形できたといえる。今後は、コレステリック性に基づく呈色を得るためのHPC/モノマー比を調査する必要がある。また、架橋剤を含む吐出物をUV架橋させ、塩水浸漬による呈色や光学異方性の変化を調査するのが合理的であろう。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計14件)

1. Chakrabarty, A. and Teramoto, Y. Recent Advances in Nanocellulose Composites with Polymers: A Guide for Choosing Partners and How to Incorporate Them. *Polymers*. 10: 517, 2018. DOI: 10.3390/polym10050517 (査読有り)
2. Chakrabarty, A., Maiti, M., Miyagi, K. and

Teramoto, Y. Gel-Emulsion Based on Amphiphilic Block Copolymer: A Template to Develop Porous Polymeric Monolith for the Efficient Adsorption of VOCs. *ACS Appl. Nano Mater.* 1: 1569–1578, 2018. DOI: 10.1021/acsnm.8b00068 (査読有り)

3. Miyagi, K. and Teramoto, Y. Dual Mechanochromism of Cellulosic Cholesteric Liquid Crystalline Films: Wide-Ranging Colour Control and Circular Dichroism Inversion by Mechanical Stimulus. *J. Mater. Chem. C* 6: 1370–1376, 2018. (inside back cover に採用) DOI: 10.1039/C7TC05092E (査読有り)
4. Sakai, R., Teramoto, Y. and Nishio, Y. Producing a Magnetically Anisotropic Soft Material: Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles in a Carrageenan/PVA Matrix and Stretching of the Hybrid Gelatinous Bulk. *Polym. J.* 50: 251–260, 2018. DOI: 10.1038/s41428-017-0008-4 (査読有り)
5. 寺本好邦. 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. *工業材料* 65: 78–79, 2017. <https://pub.nikkan.co.jp/magazines/detail/00000724> (査読無し)
6. 寺本好邦. ライフサイエンスへの応用を指向したナノセルロース・ナノキチンの複合化とプロセッシング. *Cellulose Commun.* 24: 13–17, 2017. (査読無し)
7. Suzuki, S. and Teramoto, Y. Simple Inkjet Process to Fabricate Microstructures of Chitinous Nanocrystals for Cell Patterning. *Biomacromolecules* 16: 1993–1999, 2017. DOI: 10.1021/acs.biomac.7b00527 (査読有り)
8. 寺本好邦, 光部亮佑. セルロースナノファイバーを多官能架橋剤として用いた高伸縮ハイドロゲルの創製. *マテリアルステージ* 16: 67–71, 2016. <https://ci.nii.ac.jp/naid/40020926391> (査読無し)
9. 寺本好邦, 光部亮佑. セルロースナノファイバーとポリマーの複合化による高伸縮ハイドロゲルの創製. *化学工業* 67: 15(895)-21(901), 2016. <https://ci.nii.ac.jp/naid/40021014582> (査読無し)
10. Kobe, R., Iwamoto, S., Endo, T., Yoshitani, K. and Teramoto, Y. Stretchable Composite Hydrogels Incorporating Modified Cellulose Nanofiber with Dispersibility and Polymerizability: Mechanical Property Control and Nanofiber Orientation. *Polymer* 97: 480–486, 2016. DOI: 10.1016/j.polymer.2016.05.065 (査読有り)
11. Kobe, R., Yoshitani, K. and Teramoto, Y. Fabrication of Elastic Composite Hydrogels Using Surface-Modified Cellulose Nanofiber as a Multifunctional Crosslinker. *J. Appl. Polym. Sci.* 133: DOI: 10.1002/app.42906, 2016. (査読有り)

12. Takechi, S., Teramoto, Y. and Nishio, Y. Improvement of Dielectric Properties of Cyanoethyl Cellulose via Esterification and Film Stretching. *Cellulose* 23: 765–777, 2016. DOI: 10.1007/s10570-015-0852-3 (査読有り)
  13. 寺本好邦. ナノスコピック複合化, 配向制御, プロセッシング法開発による構造多糖の機能材料化および生命科学との接点 /Material Functionalization and Its Expanding Bioscientific Perspective for Structural Polysaccharides via Nanoscopic Multicomposition, Orientation Control, and Processing Development. *Trends Glycosci. Glycotechnol.* 27: 111–123, 2015. DOI: 10.4052/tigg.1424.1 (査読有り)
  14. Teramoto, Y. Functional Thermoplastic Materials from Derivatives of Cellulose and Related Structural Polysaccharides. *Molecules* 20: 5487–5527, 2015. DOI: 10.3390/molecules20045487 (査読有り)
- [学会発表] (計 31 件)
1. 村瀬璃奈, 北村武大, 橋本賀之, 寺本好邦. 【依頼講演】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. in 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 (2018).
  2. 寺本好邦. 【招待講演】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. in ナノセルロースフォーラム第 11 回技術セミナー (2018).
  3. Teramoto, Y. 【招待講演】 Electrical functions expressed via orientation control by mechanical processing of cellulose derivatives (Indian Institute of Technology Guwahati, India). in Fourth International Symposium on Advances in Sustainable Polymers (2018).
  4. 寺本好邦. 【招待講演】バイオマス素材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. in 2017 年度中国四国支部高分子講演会 (2017).
  5. Chakrabarty, A., Miyagi, K., Maiti, M., Teramoto, Y. Spherically Confined Cholesteric Liquid Crystal of Hydroxypropyl Cellulose. in The 4th International Cellulose Conference ICC 2017, P-033 (2017).
  6. Miyagi, K., Teramoto, Y. Dual mechanochromism of cellulosic cholesteric liquid crystalline films: wide-ranging alteration of helical pitch and inversion of helical handedness by mechanical stimulus. in The 4th International Cellulose Conference ICC 2017, P-045 (2017).
  7. Chakrabarty, A., Teramoto, Y., Singha, Nikhil, K. Fluoropolymer/Clay Nanocomposites via Pickering Emulsion Polymerization; A Surfactant-free Approach to Develop Hydrophobic Surfaces. in 第 66 回高分子学会年次大会, 2K17 (2017).
  8. 宮城一真, 寺本好邦. 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. in 第 66 回高分子学会年次大会, 1Pb050 (2017).
  9. 桂川徹也, 寺本好邦. 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. in 第 66 回高分子学会年次大会, 2Pa103 (2017).
  10. 寺本好邦. 【招待講演】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. in 岐阜県産業技術センター新技術講演会 (2017).
  11. Teramoto, Y., Suzuki, S., Katsuragawa, T. Non-proteolytically digestible micro-patterning cell scaffolds by inkjet-printing of chitinous nanocrystals. in 253rd American Chemical Society National Meeting & Exposition, CELL86 (2017).
  12. Miyagi, K., Teramoto, Y. Mechanochromic properties of cellulosic liquid crystalline materials. in 253rd American Chemical Society National Meeting & Exposition, CARB57 (2017).
  13. Murase, R., Teramoto, Y. Preservation of labile biomolecules in cellulose nanofiber pills and their biosensing applications. in 253rd American Chemical Society National Meeting & Exposition, CARB58 (2017).
  14. 宮城一真, 寺本好邦. セルロース誘導体由来の液晶固定化材料のメカノクロミック特性. In 第 67 回日本木材学会大会 (福岡大会), K17-05-1645 (2017).
  15. 鈴木駿太郎, 寺本好邦. インクジェットによるナノキチン系細胞培養足場材の微細成形と糖分解酵素を用いた細胞剥離. In 第 67 回日本木材学会大会, Z17-03-1445 (2017).
  16. 村瀬璃奈, 葭谷耕三, 寺本好邦. セルロースナノファイバーフィルムへの直接包埋による不安定分子の安定保蔵 (運営委員長賞 (口頭発表部門) 受賞). In 第 67 回日本木材学会大会, Z17-03-1415 (2017).
  17. Teramoto, Y. 【招待講演】 Advanced Utilization of Nano-Cellulose/chitin by Multi-Composing and Processing. In the 11th Pure and Applied Chemistry International Conference 2017 (PACCON2017), Bangkok, Thailand (2017).
  18. 寺本好邦. 【招待講演】バイオマス素材からの機能性マテリアルの創製. In 中部産業技術連携推進会議講演会 (2016).
  19. 寺本好邦. 【招待講演】セルロース・ナノファイバーの先端的マテリアル利用. In 東海地域生物系先端技術研究会 平成 28

- 年度第2回セミナー (2016).
20. 寺本好邦. 【招待講演】複合化とプロセス開発によるバイオマスベースの機能材料の創製. In 平成28年度繊維学会年次大会 (2016).
  21. 鈴木駿太郎, 寺本好邦. インクジェットによる脱アセチル化キチンナノクリスタルの微細成形および機能創出. (優秀ポスター賞受賞) In 第66回日本木材学会大会 (名古屋), K28-NaN-16 (2016).
  22. 寺本好邦. 【招待講演】ナノ構造制御によるセルロース・キチンからの機能材料創製. In 第6回とやまナノテククラスターセミナー (2015).
  23. Teramoto, Y. Development of Advanced Processing for Polysaccharide Nanostructures. In 4th EPNOE International Polysaccharide Conference, Warsaw, Poland, O-140 (2015).
  24. Kobe, R., Yoshitani, K. and Teramoto, Y. Highly Stretchable Composite Hydrogels of Various Surface-Modified Polysaccharide Nanostructures with in-Situ Synthesized Polymer. In 4th EPNOE International Polysaccharide Conference, Warsaw, Poland, P-60 (2015).
  25. Kobe, R., Yoshitani, K. and Teramoto, Y. Functional Stretchable Hydrogels by Combining Cellulose Nanofiber and Polymer. In the 7th International Symposium of Indonesian Wood Research Society, Bandung, Indonesia, P15 (2015).
  26. Katsuragawa, T., Yokoi, M., Kobe, R. and Teramoto, Y. Improvement of Thermal Processing and Controlling Orientation for Structural Polysaccharide Nanofiber Incorporated with Flexible Polymer. In the 7th International Symposium of Indonesian Wood Research Society, Bandung, Indonesia, P16 (2015).
  27. 寺本好邦. 【招待講演】岐阜大学におけるナノセルロース等バイオマス素材の材料化研究: 複合化と加工法開発を軸に. In 【招待講演】第153回東海高分子研究会講演会 (夏期合宿) (2015).
  28. 寺本好邦. 【招待講演】熱可塑性セルロース誘導体・ブレンドの微細構造設計による機能開拓. In 15-1 高分子学会エコマテリアル研究会 (2015).
  29. Teramoto, Y. 【基調講演】Development of High-Performance Biomass-Based Materials via Multi-Composition and Advanced Processing, In MPIC2015 (Malaysia Polymer International Conference 2015); Putrajaya, Malaysia (2015).
  30. Suzuki, S. and Teramoto, Y. Digital Microprocessing of Chitin-Nanocrystals by Means of Inkjet Printing for Fabrication of Cell Culture Scaffolds. In MPIC2015 (Malaysia Polymer International Conference 2015), Putrajaya, Malaysia, P22 (2015).
  31. 光部亮佑, 葭谷耕三, 寺本好邦. 水へのナノ分散性とビニル重合性を有する無水マレイン酸修飾セルロースナノファイバーをベースとした刺激応答・高伸縮複合ハイドロゲルの創製と物性制御. (優秀ポスター賞受賞) In 2015年度日本木材学会中部支部大会 (高山) P30 (2014).
- [図書] (計6件)
1. Sugimura, K., Teramoto, Y. and Nishio, Y. Cellulose Acetate. "Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials" Kobayashi, S.; Müllen, K., eds.; Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, 2015; pp. 339-347. (ISBN-10: 3642296475)
  2. 杉村和紀, 寺本好邦, 西尾嘉之. 第7節セルロース系複合材料の微細構造設計と配向特性および光学異方性の制御. "光学樹脂の屈折率・複屈折制御技術" 技術情報協会: 東京都, 2017; pp. 71-80. (ISBN-10: 4861046602)
  3. Kusumi, R. and Teramoto, Y. Cellulosic Polymer Blends 2: With Aliphatic Polyesters. "Blends and Graft Copolymers of Cellulosics" Springer International Publishing, 2017; pp. 45-73. (ISBN-10: 3319553208)
  4. Teramoto, Y. and Kusumi, R. Cellulosic Graft Copolymers. "Blends and Graft Copolymers of Cellulosics" Springer International Publishing, 2017; pp. 75-108. (ISBN-10: 3319553208)
  5. 寺本好邦. 第11節セルロースナノファイバーの分散性向上とポリマーとの複合化による高伸縮性ハイドロゲルの作製. "樹脂/繊維複合材料の界面制御・成形加工と評価" 技術情報協会: 東京都, 2018; pp. 431-437. (ISBN-10: 4861046904)
  6. 寺本好邦. 第4章「強い, 硬い, 柔らかい」ゲルの調製法は? 第3節セルロースナノファイバーとポリマーの複合化による高伸縮性ハイドロゲルの創製. "ゲル化・増粘剤の使い方, 選び方 事例集" 技術情報協会: 東京都, 2018; pp. 235-242. (ISBN-10: 4861046912)
- [その他]
- <http://www.abios.gifu-u.ac.jp/biomass/>
6. 研究組織
  - (1) 研究代表者
    - 寺本 好邦 (TERAMOTO, Yoshikuni)
    - 岐阜大学・応用生物科学部・准教授
    - 研究者番号: 40415716