

平成 30 年 5 月 28 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26252025

研究課題名(和文)セルロース系多糖の分子アセンブリー制御と精密複合化による高機能異方性材料の創製

研究課題名(英文)Studies on Molecular Assemblies and Functional Anisotropic Materials Using Cellulosics as a Core Element for the Compositions

研究代表者

西尾 嘉之(NISHIO, YOSHIYUKI)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：00156043

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 26,400,000円

研究成果の概要(和文)：セルロース系多糖をコア成分とした先進複合材料の開拓として、他ポリマー・無機化合物との微視的複合化と分子アセンブリーの配列制御によって異方性機能材料の新規創製を遂行した。力学的には異方性で光学的には等方性となるセルロースエステル/ビニルポリマー相溶ブレンドの延伸フィルム、剪断あるいは磁場印加の下で種々の配向様式が固定化されたセルロースナノクリスタルシート、異方性の磁場応答挙動を示す多糖-酸化鉄ナノハイブリッドの各創製に成功した。さらに、セルロース系キラル液晶を固定化したポリマーフィルムのCaCO₃ミネラルゼーションや、イオン液体構造を側鎖に有する溶融液晶性誘導体の調製においても成功例を提示した。

研究成果の概要(英文)：This research was directed toward the design and composition of functional anisotropic materials based on cellulosic polysaccharides by controlling their characteristics of molecular assembly in combination with other polymeric/inorganic ingredients. The successful examples included miscible blends of cellulose ester/synthetic polymer applicable to optical films, cellulose nanocrystal sheets oriented variously by mechanical or magnetic force, polysaccharide-iron oxide nanohybrids showing anisotropic response to the external magnetic stimuli, calcium carbonate-mineralized polymer composites with cellulosics providing a chiral nematic mesomorphic structure, thermotropic liquid crystals of novel cellulose derivatives having an imidazolium group in the side chains, and so forth.

研究分野：農学

キーワード：セルロース 多糖類 アセンブリー 異方性 複合材料 キラル液晶 配向 磁性

1. 研究開始当初の背景

化学的アプローチでセルロース系機能材料の開発を行うには、分子および分子集合体レベルの特性を究めて活かすことが重要であり、既存のセルロース改質成果を利用しつつも“先進機能材料のキーコンポーネント”としての高評価を獲得する事例展開が必要である。

代表者は過去十数年に亘って、セルロースを主対象に各種の化学修飾と複合化によって機能開発を推進してきた。たとえば、熱可塑性の制御分解型グラフト共重合体、諸物性可変の相溶ブレンド体、および力学性能に優れた相互侵入高分子網目(IPN)の構築例を提案し、各種分光法と粘弾性・熱分析手法を駆使した構造特性解析の確立に寄与した。また実用面では、溶融法によるセルロース系繊維や生分解性プラスチックの企業開発にも貢献した。さらに、無機要素(イオン・ヘテロ元素)を取り入れた機能化研究として、セルロース系液晶および液晶ゲルの光学機能の電場制御や、形状記憶-回復機能・難燃性/難燃化機能を発現するセルロースエステルフィルム¹の作製にも成功している。

しかるに、多くの有機系材料は構成分子の配向分布に依存した力学・光学異方性を獲得して好適機能を発揮している。これに鑑み、上述の相溶ブレンド・IPNと液晶・ゲルに関する研究成果を核として、各バルク材料中の成分の特に複合化形式と分子配向の制御によって更なる機能展開を図りうるのではないかとこの着想から、本研究課題を立案した。

2. 研究の目的

セルロース系多糖をコア成分としたマトリックス中で、以下の(1)と(2)に記す配向複合化を遂行し、高機能異方性材料を創製する。(1)では外力配向場を用いたナノ領域での分子アセンブリーの制御がポイントであり、(2)では局所配向は自発的に達成されるものの、多糖の構造パラメーターと濃度・温度等の環境設定がナノ～メゾ領域における分子アセンブリーの制御因子となる。

(1) セルロース系多糖(分子またはナノクリスタル)と合成ポリマーとの複合体に延伸処理または磁場印加を施し、分子配向に伴う力学・光学異方性の解析法を確立し、フィルム・繊維材料としての性能評価を行う。in-situ 合成法で磁性フェライトをナノサイズで分散且つ外場で配列させた磁性材料を作製し、磁気異方性の測定とともに磁場応答の動的異方性を評価検討する。

(2) セルロース系多糖の自発配向相(液晶)が固定化されたメゾモルフィックネットワークを足場・鋳型とした、炭酸/リン酸カルシウムの沈着成長による有機-無機ハイブリッドおよびアルコキシシランの重縮合硬化による光学キラルなシリカモノリスな

らびにメゾポーラスシリカ等の創製を行い、バイオメディカル材料や光学・分離機能材料への適用性を評価検討する。

3. 研究の方法

(1) 外力印加型分子アセンブリー制御

多糖/合成ポリマー配向複合体

汎用セルロースエステル(CE)と、CEと相溶可能なビニルポリマーとのブレンド体を成膜し、一軸延伸フィルムを作製する。DSC熱分析とNMR・FTIR測定による相溶性評価に続き、延伸フィルムについて偏光顕微鏡(POM)等を用いた複屈折測定と分子配向評価を行う。引っ張り弾性率等の異方性も評価する。

コットン繊維の硫酸加水分解によりセルロースナノクリスタル(CNC)を調製する。重合性モノマー水溶液中で2相分離したCNC懸濁液の異方性相を分取し、磁場印加とUV照射により配向を重合固定する。比較として、CNC水懸濁液から剪断下でキャストフィルムも作製する。電顕観測とX線回折(WAXD)によりCNC配向構造を調査し、動的粘弾性(DMA)測定による熱機械特性の異方性評価を行う。

酸化鉄ナノ粒子充填の磁性複合材料

カラギーナン(Car)/ビニルポリマーIPN複合ゲル、およびCNCを配合したCarゲルを調製する。各ゲルマトリックスへの Fe^{2+} の取り込み、アルカリ処理による $Fe(OH)_2$ の生成、および酸化処理によるフェライト合成の手順を経て、磁性ナノ粒子内包のコンポジットを得る。含水試料の粘弾性評価と、延伸処理による配向フィルムの作製を行う。超伝導量子干渉磁束計(SQUID)による磁化測定と外部磁場に対する応答挙動の観測を行う。

(2) 自発配向型分子アセンブリー制御

炭酸/リン酸カルシウムのメゾラミネート複合体

溶媒モノマーの重合によりセルロース誘導体またはCNCのコレステリック液晶を固定化したフィルムを調製する。各種塩水に液晶フィルムを浸漬し炭酸カルシウム等のミネラルイゼーションを行う。POMおよびUV-Vis分光・円二色性(CD)測定からコレステリック特性を、WAXDと走査電顕(SEM)観察から内部構造・形態を、DMA・熱重量測定(TGA)から力学・耐熱特性をそれぞれ評価する。

新規液晶性セルロース誘導体のキラル分離材料

アルコキシシランを溶媒成分に用いて多糖のフェニルカルバメート誘導体の液晶を調製する。ゾル-ゲル反応を介してキラル液晶相を固定化したシリカモノリス(有機-無機ハイブリッド)を得る。洗浄・焼成等によりメゾポーラスシリカの作製も試みる。と同様にして光学特性と構造・形態の評価を行う。カラムまたは薄層クロマトによるキラル物質分離機能も評価する。

エチルセルロース(EC)・ヒドロキシプロピルセルロース(HPC)を出発に、ヘテロ元素や

イミダゾリウム基を側鎖に有する液晶性アシル化誘導体を合成する。各誘導体について CD/旋光分散(ORD)測定による液晶キラル性の精査と円偏光分離機能の定量を行う。

4. 研究成果

(1) 外力印加型分子アセンブリー制御

多糖/合成ポリマー配向複合体

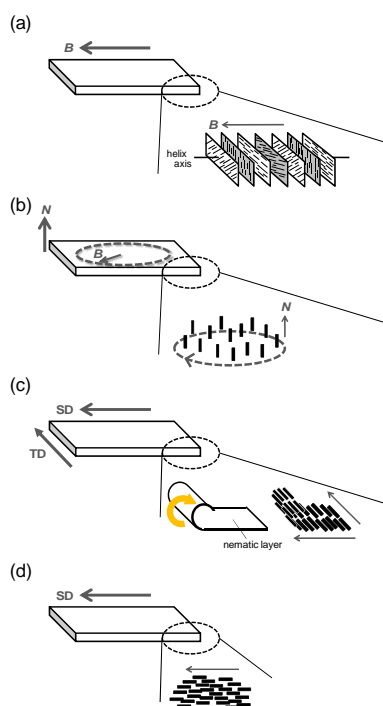
セルロースプロピオネート(CP)を主対象とし、*N*-ビニルピロリドン(VP)ユニットを有するビニル共重合体とのブレンドの相溶性を調査した。CPのプロピオニル置換度および対成分ビニルポリマーのVP含有率を変数とした相溶マップとして整理した。得られた結果を先行研究結果と比較することで、セルロースエステルCEの側鎖長が与える効果を体系化した。CPとVP-メタクリル酸メチル共重合体とのブレンド系については、熱機械的な物性の向上に加え、フィルムの延伸配向に伴う複屈折・光学異方性の制御を達成した。これらにより、CE類の物性改良における相溶ブレンド法の有用性を示すとともに、分子相溶化に寄与するCE側鎖種の影響を明確化した。発展研究として、CE/ポリビニルアルコール(PVA)ブレンド系の相溶性に及ぼすエステル置換基分布の効果、ポリ*N*-ビニルピロリドン(PVP)の配合効果等も検討した。PVPの相溶化剤としての働きによって、ブレンドフィルムの力学物性に顕著なシナジー効果が発現した。

上記の他に、キチンエステルのポリマーブレンドとシアノエチルセルロースの長鎖脂肪酸エステル誘導体の各延伸フィルムについて、それぞれ良好な生体親和性と高誘電性の発現を例示した。

一方、セルロースナノクリスタルCNCの新規材料として、CNC/2-ヒドロキシエチルメタクリレート(HEMA)/水懸濁液から分取した異方性相(コレステリック“ポリドメイン”)に静磁場あるいは回転磁場を印加後、UV光重合し、配向分布の異なる2種のCNC-PHEMA複合体を作製した(図1のaとb参照)。一方の複合体(1a)では、液晶のラセン軸が磁場に平行に配列した“モノドメインのコレステリック相”が固定化され、他方(1b)ではCNC長軸が磁場回転面に垂直に一軸配向した“ネマチック状態”が固定化された。これらの磁場配向複合体は、CNCの配列状態を反映した異方性強化機能を獲得し、とりわけ配向ネマチックのCNC複合材料は主軸方向において特に高い弾性率を与えた。

次に、剪断法を用いて配向CNCフィルムの調製を行った。CNC/水懸濁液を入れた円筒容器(バイアル)を中心線(回転軸)が水平になるように保ち、懸濁液中の水分が徐々に蒸発していく環境でバイアルを高速回転させて懸濁液に剪断変形を与えた結果、バイアルの内壁面上に半透明の光学異方性フィルムを作製できた。フィルム中のCNCの配向分布を解析評価し、元の懸濁液のpHの差違に依

って配向方向が大きく異なる二様式(TDパターンとSDパターンと呼称)を見出した(図1のcとd参照)。懸濁液中のイオン雰囲気依存してCNCの液晶構造の形成性が異なる点を考慮し、各懸濁液における剪断下でのCNCの配向メカニズムを定性的に説明した。

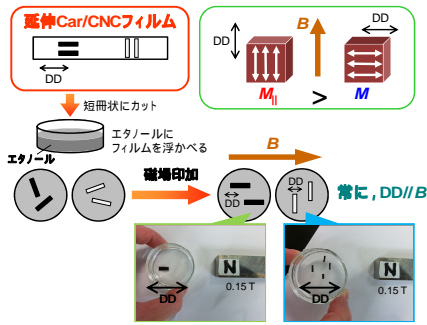


< 図 1 磁場配向/重合硬化法によって作製した CNC-PHEMA 複合体 (a と b) および剪断キャスト法によって作製した CNC フィルム (c と d) における各配向様式: a, 単一相コレステリック (静磁場印加); b, 配向ネマチック (回転磁場印加); c, TD 配向パターン (酸性 pH 雰囲気下); d, SD 配向パターン (中和状態下). >

酸化鉄ナノ粒子充填の磁性複合材料

磁性酸化鉄 (Fe_3O_4) を in-situ 合成法で化学充填した Car/CNC ゲルから、ウェット工程で延伸フィルムを調製した。内部構造解析により、約 10% で分散した CNC ロッドが配向プロモーターとして働き、磁性ナノ粒子 (10~30 nm 径) が延伸方向 (DD) に沿って凝集した“扁長楕円体 (長さ < 1 μm 、幅 < 100 nm) のアレイ”が発達することが判った。該フィルムでは、DD に沿って磁場を印加したときの磁化 ($M_{||}$) は垂直方向への磁場印加時のそれ (M_{\perp}) より大きくなり、DD が磁化容易軸となる。したがって、アレイの優先配向に起因するマイクロ形状磁気異方性がマクロな磁化特性を支配し、切り出した試料形状に依らず磁力線と DD が常に平行となる磁場応答性を示した (図 2 参照)。マイクロパターンニング素子としての応用が可能である。

上記と類似の方法で Car/PVA 磁性ゲルから延伸配向によって異方性磁場応答材料を作製し、アクチュエーター機能を実証した。また、Car/PHEMA 磁性 IPN についてゲル粘弾性と耐熱水性を評価しカテーテル材料としての好適性を示した。

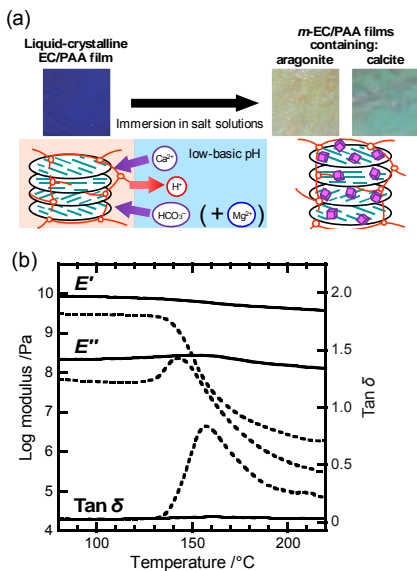


< 図2 Fe₃O₄含有 Car/CNC 延伸フィルムの異方的な磁場応答挙動.>

(2) 自発配向型分子アSEMBリー制御

炭酸/リン酸カルシウムのメゾラミネート複合体

エチルセルロース(EC)/アクリル酸(AA)系液晶から AA モノマーの重合によって左掌性コレステリック構造を固定化した EC/PAA 液晶フィルムを調製した。該フィルムを Ca²⁺、HCO₃⁻、Mg²⁺を含む水槽に数日間浸漬膨潤させ CaCO₃ミネラルゼーションを行った。イオンコンディション(pH や Mg/Ca 比)を制御することによって、フィルム内部にカルサイト、アラゴナイト、あるいは非晶 CaCO₃(ACC)を独立に沈着させることに成功した。CD 測定より、いずれのミネラルゼーションフィルム(m-EC/PAA)も元の左巻きコレステリック構造を維持していることが明らかとなった。ただし、ラセン周期に依存するフィルムの呈色は、ミネラルゼーション前と比べて長波長色にシフトした(図 3a 参照)。図 3b に DMA データを例示したように、m-EC/PAA の剛性ならびに高温域での熱機械特性は、ミネラルゼーション前と比べて著しく向上した。



< 図3 EC/PAA 液晶フィルムの CaCO₃ミネラルゼーション: (a)呈色状態の変化; (b)熱機械特性の変化(DMA データの破線はミネラルゼーション前、実線は calcite ミネラルゼーション後).>

上記に先行し、同様の液晶フィルムを用いてコレステリック層間にリン酸カルシウ

ム・アパタイトを沈着成長させることに成功している。また、CNC 液晶を固定化したポリマーフィルムなどについても CaCO₃ミネラルゼーションを行い、耐熱性に優れた異方性ハイブリッド材料を例証した。

新規液晶性セルロース誘導体のキラル分離材料

セルロース 3-クロロフェニルカルバメート(CeI13CIPC)および 4-クロロフェニルカルバメート(CeI14CIPC)をアルコキシシランが主成分の適合溶媒にそれぞれ溶解し、コレステリック液晶を調製した。両系より、ゾルゲル法によって液晶構造を保持したシリカモノリスの作製を行った。CeI13CIPC 系モノリスでは右巻きの、CeI14CIPC 系モノリスでは左巻きのコレステリック構造が保持されていることを CD 測定より確認した(ただしラセン周期は減少)。また、顕微ラマン分光法によりシラノール基の生成を、固体 ²⁹Si MAS NMR 測定によりアルコキシシランの重縮合の進行を確認した。よって、両モノリスは、左右異なる円偏光分離能を有する光学キラルなハイブリッド材料である。次いで、シリカモノリスを粉碎しカラムクロマト用充填剤とすることで、trans-スチルベンオキシド等の分割試験を行った。分取溶出液の吸光度測定から評価を行ったが、高いキラル分離能の観測には至らなかった。溶質-固定相間の接触回数が低いためと考えられ、充填剤の更なる細粒化が今後の改良課題となる。

光波の分離機能に関連して種々の液晶性多糖誘導体を合成し、形成するコレステリック液晶の掌性(ラセンセンス)に及ぼす置換基・置換度(DS)の効果等を調査した。たとえば、EC(エチル DS = 2.5)の残存水酸基にプロピオニル基、ブチリル基、シクロヘキサノイル基、アダマントイル基などを導入した各種アシル化 EC のリオトロピック液晶(酢酸溶媒)では、いずれの置換基種においても DS_{Acyl}の増大に伴ってセンスは左巻きから右巻きへと反転する。n-アルキルアシル基間の比較では側鎖長の増大に伴って反転領域は高 DS_{Acyl}側へシフトするが、同程度の側鎖長で比較すると、置換基の高さが増すにつれて反転領域は低 DS_{Acyl}側へシフトする。

以上の他に、フッ素原子やイオン液体構造を側鎖に有するセルロース誘導体のサーモトロピックなコレステリック液晶形成挙動と、イオン性官能基を有するコレステロール系脂質の錯塩形成と相挙動を明らかにした。また、機能性多糖誘導体の調製に関連して、セルロースのエステル/エーテルの簡便且つ迅速な新規合成法も見出した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 20 件)

- I. Nakajima, T. Kitaguchi, K. Sugimura, Y. Teramoto, Y. Nishio: Mesomorphic glass-forming ionic complexes composed of a cholesterol phthalate and 1-*Cn*-3-methylimidazolium: Phase transition and enthalpy relaxation behavior, *Polymer Journal*, **50**, in press (2018). DOI: 10.1038/s41428-018-0047-5 [査読有]
- A. Katsumura, K. Sugimura, Y. Nishio: Calcium carbonate mineralization in chiral mesomorphic order-retaining ethyl cellulose/poly(acrylic acid) composite films, *Polymer*, **139**, 26–35 (2018). DOI: 10.1016/j.polymer.2018.02.006 [査読有]
- R. Sakai, Y. Teramoto, Y. Nishio: Producing a magnetically anisotropic soft material: synthesis of iron oxide nanoparticles in a carrageenan/PVA matrix and stretching of the hybrid gelatinous bulk, *Polymer Journal*, **50**, 251–260 (2018). DOI: 10.1038/s41428-017-0008-4 [査読有]
- H. Hu, F. Wang, L. Yu, K. Sugimura, J. Zhou, Y. Nishio: Synthesis of Novel Fluorescent Cellulose Derivatives and Their Applications in Detection of Nitroaromatic Compounds, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **6**, 1436–1445 (2018). DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b03855 [査読有]
- T. Tsuru, K. Sugimura, Y. Nishio: Superparamagnetic IPN gels of carrageenan/PHEMA excelling in shape retention, *Carbohydrate Polymers*, **178**, 1–7 (2017). DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.09.018 [査読有]
- 西尾嘉之, 杉村和紀: 構造多糖由来の高機能材料, *高分子*, **66**, 284–286 (2017). [査読なし]
- M. Abe, K. Sugimura, Y. Nishiyama, Y. Nishio: Rapid Benzoylation of Cellulose in Tetra-*n*-butylphosphonium Hydroxide Aqueous Solution at Room Temperature, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **5**, 4505–4510 (2017). DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b00492 [査読有]
- 杉村和紀, 西尾嘉之: セルロースエステル系ブレンドの設計と機能発現, *Cellulose Commun.*, **23**, 170–177 (2016). [査読なし]
- H. Yoshitake, K. Sugimura, Y. Teramoto, Y. Nishio: Magnetic property of oriented films of cellulose nanocrystal/carrageenan composites containing iron oxide nanoparticles: Effect of anisotropic aggregation of the nanoparticles, *Polymer*, **99**, 147–156 (2016). DOI: 10.1016/j.polymer.2016.07.004 [査読有]
- M. Abe, K. Sugimura, Y. Nishio: Regioselectivity in Acetylation of Cellulose in Ionic Liquids, *ChemistrySelect*, **1**, 2474–2478 (2016). DOI: 10.1002/slct.201600520 [査読有]
- S. Takechi, Y. Teramoto, Y. Nishio: 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]
- Y. Nishio, J. Sato, K. Sugimura: Liquid Crystals of Celluloses: Fascinating Ordered Structures for the Design of Functional Material Systems, *Advances in Polymer Science*, **271**, 241–286 (2016). DOI: 10.1007/12_2015_308 [査読有]
- T. Ogiwara, A. Katsumura, K. Sugimura, Y. Teramoto, Y. Nishio: Calcium Phosphate Mineralization in Cellulose Derivative/Poly (acrylic acid) Composites Having a Chiral Nematic Mesomorphic Structure, *Biomacromolecules*, **16**, 3959–3969 (2015). DOI: 10.1021/acs.biomac.5b01295 [査読有]
- M. Tatsumi, Y. Teramoto, Y. Nishio: Different orientation patterns of cellulose nanocrystal films prepared from aqueous suspensions by shearing under evaporation, *Cellulose*, **22**, 2983–2992 (2015). DOI: 10.1007/s10570-015-0722-z [査読有]
- K. Sugimura, Y. Teramoto, Y. Nishio: Insight into miscibility behaviour of cellulose ester blends with *N*-vinyl pyrrolidone copolymers in terms of viscometric interaction parameters, *Cellulose*, **22**, 2349–2363 (2015). DOI: 10.1007/s10570-015-0660-9 [査読有]
- 寺本好邦, 西尾嘉之: 脂肪族ポリエステルを枝鎖とするセルロース系グラフト共重合体の合成と評価, *Cellulose Commun.*, **22**, 87–91 (2015). [査読なし]
- M. Tatsumi, F. Kimura, T. Kimura, Y. Teramoto, Y. Nishio: Anisotropic Polymer Composites Synthesized by Immobilizing Cellulose Nanocrystal Suspensions Specifically Oriented under Magnetic Fields, *Biomacromolecules*, **15**, 4579–4589 (2014). DOI: 10.1021/bm501629g [査読有]
- H. Hashiwaki, Y. Teramoto, Y. Nishio: Fabrication of thermoplastic ductile films of chitin butyrate/poly(ϵ -caprolactone) blends and their cytocompatibility, *Carbohydrate Polymers*, **114**, 330–338 (2015). DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.08.028 [査読有]
- C. Chang, Y. Teramoto, Y. Nishio: High performance films of cellulose butyral derivative having a necklace-like annular structure in the side chains, *Polymer*, **55**, 3944–3950 (2014). DOI: 10.1016/j.polymer.2014.06.087 [査読有]
- J. Sato, N. Morioka, Y. Teramoto, Y. Nishio: Chiroptical properties of cholesteric liquid crystals of chitosan phenylcarbamate in ionic liquids, *Polymer Journal*, **46**, 559–567 (2014). DOI: 10.1038/pj.2014.34 [査読有]

〔学会発表〕(計 71 件)

中尾祐貴子, 杉村和紀, 西尾嘉之: セルロースナノクリスタルの液晶固定化フィルムにおける炭酸カルシウムのミネラリゼーションと結晶多形評価, 日本木材学会第68回大会, 2018年3月16日, 京都府立大学稲盛記念館 (京都).

T. Hirata, H. Ishii, S. Fujita, K. Sugimura, Y. Nishio: Chiroptical properties of lyotropic liquid crystals of ethylcelluloses modified with various substituents, *4th International Cellulose Conference (ICC 2017)*, 2017年10月18日, 九州大学医学部百年講堂 (福岡).

Y. Nishio: Blends and graft copolymers of celluloses: examples of advanced films and fibers, and new horizons, *4th International Cellulose Conference (ICC 2017) [Invited; Plenary]*, 2017年10月18日, 九州大学医学部百年講堂 (福岡).

中嶋格, 杉村和紀, 西尾嘉之: アンル化ヒドロキシプロピルセルロースの液晶形成挙動～側鎖末端へのイミダゾリウム塩構造の導入効果～, セルロース学会第24回年次大会, 2017年7月13日, 岐阜大学共通教育棟 (岐阜).

石井宏和, 杉村和紀, 西尾嘉之: フッ素含有基を有するアンル化ヒドロキシプロピルセルロースの液晶形成挙動, 高分子学会第66回年次大会, 2017年5月29日, 幕張メッセ (千葉).

K. Sugimura, Y. Nishio: Comparative studies on miscibility and intermolecular interaction for cellulose ester blends with vinyl copolymers, *253rd ACS National Meeting*, 2017年4月4日, Moscone Center, (San Francisco, USA).

森 政博, 杉村和紀, 西尾嘉之: セルロースアセテート/ポバール/ポリ(N-ビニルピロリドン)から成る3成分ブレンド系の相溶マップ, セルロース学会第23回年次大会, 2016年7月15日, つくばカピオ (つくば).

N. Hu, M. Wada, R. Kusumi, F. Kimura, T. Kimura: AC electric field induced cellulose nanocrystals alignment in polyvinyl alcohol, セルロース学会第23回年次大会, 2016年7月15日, つくばカピオ (つくば).

Y. Nishio: New design and fabrication of optical and magnetic functional films by ordered celluloses-inorganic hybridization, *251st ACS National Meeting [Invited]*, 2016年3月14日, San Diego Convention Center/Marriott Marquis, (San Diego, USA).

T. Ogiwara, A. Katsumura, Y. Teramoto, Y. Nishio: Mineralization in cellulosic/synthetic polymer composites having a cholesteric liquid-crystalline structure, *4th EPNOE International Polysaccharide Conference*, 2015年10月19日, Conference Center of the National Stadium in Warsaw (Warsaw, Poland).

北口太志, 寺本好邦, 西尾嘉之: コレステロール誘導体とイミダゾリウムカチオンからなる液晶性錯体の相挙動と液晶ガラスのエンタルピー緩和特性, 高分子学会第64回年次大会, 2015年5月27日, 札幌コンベンションセンター (札幌).

吉武勇人, 寺本好邦, 西尾嘉之: 電解質多糖をベースとした磁気異方性材料の創製 -磁性ナノ粒子の化学充填と配向性付与-, セルロース学会第21回年次大会, 2014年7月18日, 鹿児島大学郡元キャンパス稲盛会館 (鹿児島).

佐藤潤一, 寺本好邦, 西尾嘉之: 多糖フェニルカルバメート誘導体の液晶構造を鋳型とした光学キラルなシリカモノリスの光波および物質分離機能, 高分子学会第63回年次大会, 2014年5月30日, 名古屋国際会議場 (名古屋).

〔図書〕(計 4 件)

杉村和紀, 寺本好邦, 西尾嘉之 (分担執筆): 技術情報協会, 『光学樹脂の屈折率、複屈折制御技術』(技術情報協会編), 2017年, 総ページ数 532 (pp.71-80).

Y. Nishio, Y. Teramoto, R. Kusumi, K. Sugimura, Y. Aranishi: Springer International Pub. AG, 『Blends and Graft Copolymers of Celluloses』, 2017年, 総ページ数 125.

K. Sugimura, Y. Teramoto, Y. Nishio (分担執筆): Springer, 『Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials (Vol. 1)』(S. Kobayashi, K. Müllen, Eds.), 2015年, 総ページ数 2672 (pp.339-347).

西尾嘉之, 巽美緒, 佐藤潤一 (分担執筆): エヌ・ティー・エス出版, 『糖鎖の新機能開発・応用ハンドブック』(秋吉一成ら監修・編), 2015年, 総ページ数 628 (pp.563-567).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.fukugou.kais.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西尾 嘉之 (NISHIO, Yoshiyuki)
京都大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 00156043

(2) 研究分担者

木村 恒久 (KIMURA, Tsunehisa)
京都大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 40264593

(3) 連携研究者

杉村 和紀 (SUGIMURA, Kazuki)
京都大学・大学院農学研究科・助教
研究者番号: 30711783