

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05706

研究課題名(和文)新規機能材料の設計開発に向けたセルロース系液晶における構造制御因子の解明

研究課題名(英文) Revealing of chiral factors in cellulosic liquid crystal toward the design and development of new functional materials

研究代表者

杉村 和紀 (Sugimura, Kazuki)

京都大学・農学研究科・助教

研究者番号：30711783

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：セルロース系コレステリック液晶におけるラセン周期(ピッチ)と旋回方向(センス)に及ぼす分子構造・環境因子の解明、ならびに高性能・高機能な液晶光学材料の創製を目指した研究を遂行した。位置選択置換エチルセルロースECの調製とその液晶形成挙動の解析評価から、置換基の導入位置に応じて溶剤溶解性やコレステリック液晶構造の濃度・温度応答性が変化することが明らかとなった。また、HPC水系液晶への高いアダマントイル基の導入により、コレステリック液晶構造は大きく変化した。さらに、-シクロデキストリンとの包接によって水に難溶な高DS体も高濃度で水に溶解し、コレステリック液晶性を示すことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

代表的な液晶性セルロース誘導体であるエチルセルロースECとヒドロキシプロピルセルロースHPCが濃厚溶液中で形成するコレステリック液晶について、そのラセン周期(ピッチP)と旋回方向(センス)に及ぼす分子構造・環境因子を解明した本研究成果により、コレステリック液晶の反射波長と偏光状態のコントロールが可能な先進的光学機能材料の設計開発に向け、有益な指針を獲得できた。さらに、セルロース分子鎖のキラリティーに関する学術研究の一助となり、近年議論が活発なセルロースナノ繊維におけるキラリティー起源の解明に繋がる。

研究成果の概要(英文)：The effects of the molecular structure (e.g., side-chain group and its degree of substitution) and environmental factors (polymer concentration, temperature, etc.) on the liquid crystallinity of ethyl cellulose (EC) and (hydroxypropyl)cellulose (HPC) derivatives were evaluated. Regioselectively substituted EC derivatives were synthesized via regioselective protection of cellulose. It was revealed that the wavelength of maximal reflectance λ_{max} of their lyotropic solutions in chloroform shifted to longer wavelength by selective acetylation at the O-6 position. In addition, bulky adamantoyl group was introduced as a substituent on HPC, and the effects of the degree of adamantoyl substitution, polymer concentration, and temperature on the chiroptical properties of HPC lyotropic were investigated. Optical measurements revealed that the hydrophilicity/hydrophobicity of the HPC molecule strongly affects the cholesteric liquid-crystalline structure.

研究分野：生物材料機能学

キーワード：セルロース系液晶 コレステリック構造 分子キラリティー 掌性反転 位置選択置換 包接錯体 液晶デバイス

1. 研究開始当初の背景

植物の細胞壁や植物繊維の構成主成分であるセルロースは、最大産出量を誇る天然高分子であり、石油資源に代わるカーボンニュートラルな有機資源として注目されている。グルコピラノース環上の3つのヒドロキシ基を基点とした種々の修飾反応によって多くのセルロース誘導体が工業的に生産されており、フィルム・膜材料やプラスチック素材、繊維、食品添加剤、薬包フィルム(コーティング剤)として幅広い分野で利用されている。しかしながら、分子設計の任意性に優れる合成高分子と比べると、機能材料としての利用用途は限定的である。既存の高分子材料(化石資源由来)に比肩する性能を発揮させるためには、セルロースの潜在特性を究めて活かす必要がある。

未だ十分に活用されていないセルロースの基本特性の1つに、分子鎖のキラリティー(捩れ)と半剛直性に起因する『液晶形成能』が挙げられる。セルロースのエチル化反応により得られるエチルセルロース EC とヒドロキシプロピル基(-CH₂CH(CH₃)OH)で修飾した水溶性のヒドロキシプロピルセルロース HPC は代表的な液晶性セルロース誘導体であり、濃厚溶液中でコレステリック液晶相(分子鎖が一方方向に配列した分子薄層の積層ラセン構造; Fig. 1)を形成する。コレステリック液晶は、ラセン周期(ピッチ *P*)と旋回方向(センス; 左旋性 or 右旋性)に対応した円偏光のみを選択反射し、可視光域の円偏光を反射する場合には呈色現象が観られる。この液晶特性を活用すれば、特定波長と偏光の選択分離が可能なセルロース材料が得られる。

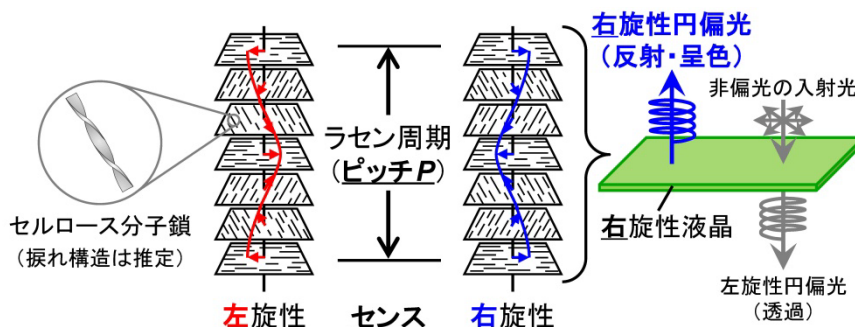


Fig. 1 セルロース誘導体が形成するコレステリック液晶構造と、その光学特性。

では、セルロース誘導体が形成するコレステリック液晶相のピッチ *P* とセンスは、どのように決定されるのか? ---これまでの研究で、セルロース側鎖への置換基導入とその化学構造・導入量(≡置換度 *DS*)、溶媒種、濃度、温度に依存して鋭敏に変化することが分かっているが、コレステリック構造変化のメカニズムと、それを引き起こす分子構造(側鎖種・*DS*)および環境因子の詳細は不明である。濃厚溶液中におけるセルロース誘導体の分子キラリティーの決定要因を解明できれば、コレステリック液晶の反射波長と偏光状態を任意にコントロールでき、先進的な液晶光学材料の設計に向けた有益な指針を獲得できる。

2. 研究の目的

本研究では、代表的な液晶性セルロース誘導体であるエチルセルロース EC とヒドロキシプロピルセルロース HPC について、濃厚溶液中で形成されるコレステリック液晶におけるラセン周期(ピッチ *P*)と旋回方向(センス)に及ぼす置換度 *DS*、溶媒種、温度等の影響、すなわちセルロース分子鎖のキラリティー変化とコレステリック液晶の構造変化に関わる分子構造・環境因子の解明を目的とした。濃厚溶液中におけるセルロース誘導体の分子キラリティーの決定要因を解明し、コレステリック液晶の反射波長と偏光状態の任意コントロールと、先進的な液晶光学材料の設計に向けた有用指針の獲得を図った。

3. 研究の方法

セルロース系コレステリック液晶におけるラセン周期(ピッチ *P*)と旋回方向(センス)に及ぼす *DS*、溶媒種、温度等の各影響の解明と、高性能・高機能な液晶光学材料の創製に向けて、以下2つのアプローチを遂行した。

A. 位置選択置換 EC の調製とその液晶形成挙動の解析評価

C2・C3位をエチル基で位置選択置換した EC である 2,3-di-*O*-ethyl cellulose、ならびに C2・C6位を位置選択置換した EC である 2,6-di-*O*-ethyl cellulose を、それぞれ調製する。得られた位置選択置換 EC とそのアセチル化試料をクロロホルムに高濃度で溶解させて、液晶サンプルを作製する。紫外-可視-近赤外(UV-Vis-NIR)分光測定で液晶の呈色波長(≡コレステリックピッチ)を、円二色性(CD)測定にてコレステリックセンス(左旋性 or 右旋性)をそれぞれ評価する。C2/C3/C6位の官能基(エチル基 or アセチル基 or ヒドロキシ基)の違いが液晶構造に及ぼす影響を解析して、セルロース分子鎖のキラリティー変化ならびにコレステリック構造変化に関わる分子構造(側鎖種・置換度 *DS*)と環境因子(溶媒・温度)の詳細を明らかにする。

B. HPC 水系液晶への嵩高い置換基の導入によるコレステリック構造制御

水溶性の液晶性セルロース誘導体である HPC の側鎖に、水溶性の環状オリゴ糖である β -シクロデキストリンと包接錯体形成が可能なアダマンチル基(疎水性)を導入する。コレステリック液晶形成が確認されたアダマンチル化 HPC 濃厚溶液中に β -シクロデキストリンを添加し、分光測定によりアダマンチル基- β -シクロデキストリンの包接錯体形成を確認するとともに、嵩高い置換基(アダマンチル基ならびにアダマンチル- β -シクロデキストリン包接錯体)が HPC 水系液晶のコレステリック構造(ピッチ $P \cdot$ センス)に及ぼす影響を明らかにする。

4. 研究成果

A. 位置選択置換 EC の調製とその液晶形成挙動の解析評価

位置選択的な置換基分布を有する EC とそのアセチル化物(Fig. 2)を調製して、C2/C3/C6 位の置換基がコレステリック液晶構造に及ぼす影響を解析評価した。

まず、C2 および C3 位が完全にエチル化され、C6 位にのみヒドロキシ基を有する位置選択置換 EC (2,3-di-O-ethyl cellulose) 合成の第 1 ステップとして、嵩高い 4-メトキシトリチル基による一級ヒドロキシ基の選択保護を行った。N,N-ジメチルアセトアミド-LiCl 溶液に溶解させた微結晶セルロースに 4-メトキシトリチルクロリドを反応させ、6-O-メトキシトリチルセルロースを合成した。C6 位への選択的な 4-メトキシトリチル基導入とその置換度 DS の算出には、6-O-メトキシトリチルセルロースの残存ヒドロキシ基を完全アセチル化し、溶剤溶解性を向上させた試料を用いた。

^1H - ^1H gCOSY NMR 測定の結果から、4-メトキシトリチル基は C6 位のみを選択導入されていることが確認できた。さらに ^1H -NMR 測定の結果から、試薬量を調整することで 4-メトキシトリチル基の導入量を制御でき、最大 DS 値が 0.42 の 6-O-メトキシトリチルセルロースを合成することが明らかとなった。

続く第 2 ステップにて、C2、C3、および C6 位の残存ヒドロキシ基を完全エチル化した：6-O-メトキシトリチルセルロースをジメチルスルホキシドに溶解し、よう化エチルと繰り返し反応させて残存ヒドロキシ基を全てエチル化することで、2,3-di-O-ethyl-6-O-ethyl/methoxytrityl cellulose (C2・C3 位を全てエチル基、C6 位をエチル基または 4-メトキシトリチル基で置換したセルロース)を合成した。なお、完全エチル化の進行は、FT-IR 測定により確認した。

最後の第 3 ステップにて、C6 位に選択導入された 4-メトキシトリチル基の脱保護を、クロロホルムに溶解させた 2,3-di-O-ethyl-6-O-ethyl/methoxytrityl cellulose に *p*-トルエンスルホン酸一水和物を反応させることで行った。脱保護の成功は、 ^1H -NMR スペクトルにおける 7.3 ppm 付近の 4-メトキシトリチル基ピークの消失から確認した。

次いで、得られた C6 位部分保護 EC をピリジンに溶解し、無水酢酸と反応させて 2,3-di-O-ethyl-6-O-acetyl/ethyl cellulose を合成した。 ^{13}C -NMR スペクトルにおけるアセチル CH_3 炭素由来の単一ピークの出現より、6 位選択的なアセチル化 EC の合成成功を確認できた。

以上の手順にて合成した位置選択置換 EC (2,3-di-O-ethyl-6-O-ethyl/methoxytrityl cellulose、C6 位部分保護 EC、ならびに 2,3-di-O-ethyl-6-O-acetyl/ethyl cellulose) を、クロロホルムに高濃度(ポリマー濃度 ≥ 40 wt%)で溶解させて、液晶サンプルを作製した。また、市販 EC(ランダム置換体；エチル DS=2.5)についても同様にアセチル化と液晶溶液の作製を行い、各濃厚溶液について紫外-可視-近赤外(UV-Vis-NIR)分光測定で液晶の呈色波長(≡コレステリックピッチ)を、円二色性(CD)測定にてコレステリックセンスを、それぞれ評価した。

市販 EC(エチル DS=2.5)のクロロホルム濃厚溶液は赤色に呈色したのに対して、C6 位部分保護 EC(エチル DS=2.49)のクロロホルム濃厚溶液は呈色を示さず、一部溶解残りも観られた。C6 位ヒドロキシ基を基点に形成される分子内・分子間水素結合により溶解性が低下することが示された。また、アセチル化市販 EC(ランダム置換体)のクロロホルム濃厚溶液は青色、2,3-di-O-ethyl-6-O-acetyl/ethyl cellulose 濃厚溶液は赤色にそれぞれ呈色した。いずれも負の CD シグナルを示し『右旋性コレステリック液晶を形成すること』、ピークトップ波長(λ_{Max})はそれぞれ 455 nm、731 nm であり『C6 位選択置換によって、 λ_{Max} は長波長シフトすること』

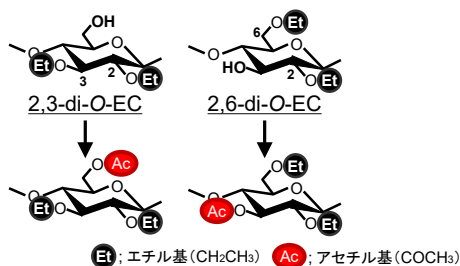


Fig. 2 位置選択置換 EC の分子構造。

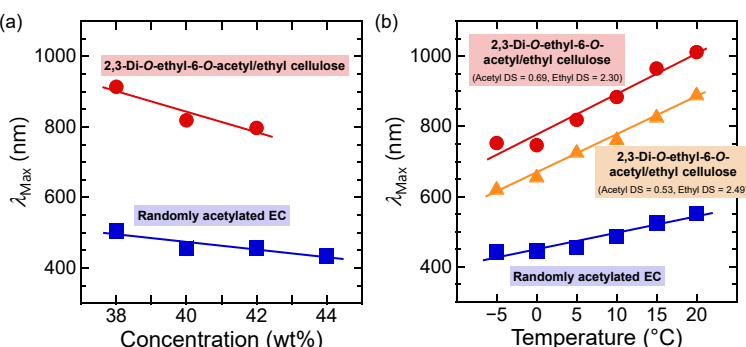


Fig. 3 アセチル化 EC 液晶の(a)濃度依存性および(b)温度依存性。

が明らかとなった。またいずれの液晶試料とも、既報の EC 系液晶と同様、『濃度上昇に伴って λ_{Max} が短波長シフトする濃度依存性』および『温度上昇によって左旋性が強まり、右旋性コレステリックの λ_{Max} が長波長シフトする温度依存性』を示した (Fig. 3)。さらに、コンフォメーション自由度の高い 6 位アセチル基の寄与により、位置選択置換体の 2,3-di-*O*-ethyl-6-*O*-acetyl/ethyl cellulose 液晶の温度応答性は、ランダム置換体のアセチル化市販 EC 液晶よりも大きいことが判明した。

他の EC 誘導体の液晶形成挙動を含めた解析結果から、EC 誘導体が形成するコレステリック構造は、セルロース分子鎖の分子軸方向の分極率 α_{\parallel} と分子軸に対して垂直方向の分極率 α_{\perp} の比 $r_p (= \alpha_{\parallel}/\alpha_{\perp})$ で決定され、『 r_p が大きいほど右旋性が強く、右旋性コレステリック液晶では λ_{Max} が小さくなる』ことが明らかとなった。本研究における位置選択置換 EC 系では、C6 位に導入されたアセチル基のコンフォメーション自由度は C2/C3 位のそれよりも高く、2,3-di-*O*-ethyl-6-*O*-acetyl/ethyl cellulose 液晶では α_{\parallel} の寄与が大き ($\equiv r_p$ が小さく) なるため、 λ_{Max} が長波長シフトする結果となった。

同様に、テキシルジメチルシリル基とアリル基を用いた C3 位選択保護を経由した C2・C6 位の完全エチル化と脱保護反応により、C3 位にのみヒドロキシ基を有する位置選択置換 EC (2,6-di-*O*-ethyl cellulose) と、続くアセチル化により 2,6-di-*O*-ethyl-3-*O*-acetyl/ethyl cellulose を合成した。化合物の分子構造は、 $^1\text{H-NMR}$ および $^1\text{H-}^1\text{H}$ 2次元 NMR (gCOSY) 測定により決定され、攻撃試薬量や反応時間等の反応条件を調整することで、任意のエチル DS での C3 位選択置換 EC の調製を可能とした。本研究結果より、分子構造-コレステリック構造の相関を解明でき、分子設計によるセルロース系液晶材料の任意な機能制御に繋がることが期待される。

関連して、市販 EC とそのアセチル化試料のブレンド溶液における液晶形成挙動を調査し、アセチル基組成の変化に伴う異種ポリマー鎖間のキラル相互作用を議論しえた。

B. HPC 水系液晶への嵩高い置換基の導入によるコレステリック構造制御

HPC のヒドロキシ基を他の置換基で封鎖すると水溶性が低下するため、HPC 水系液晶における置換基効果については、これまでほとんど検討されてこなかった。そこで本研究では、超分子構造を介した機能開拓を視野に入れ、水溶性の環状オリゴ糖である β -シクロデキストリンとの包接錯体能を有するアダマントイル基を HPC 側鎖に導入し、導入 DS 制御と包接錯体により HPC の水溶性を維持しつつ、嵩高い置換基の導入が HPC 濃厚水溶液のリオトロピック液晶特性に与える影響の解明を図った。

市販 HPC (ヒドロキシプロピル DS=2.63、モル置換度=3.94) をテトラヒドロフランに溶解し、ピリジンを触媒に 1-アダマンタンカルボニルクロリドを反応させて、アダマントイル化 HPC (Ad-HPC) を調製した。 $^1\text{H-NMR}$ スペクトルにて、アダマントイル基に由来するピークが 1.6–2.3 ppm に検出されたことから、HPC のアダマントイル化が確認でき、試薬の添加量と反応時間を調節することで、種々のアダマントイル DS ($=0.02\text{--}0.17$) の Ad-HPC を調製できた。

次いで、各 Ad-HPC について所定濃度となるよう水を加えて濃厚溶液を調製したところ、アダマントイル DS < 0.08 の試料は 57.5–62.5 wt% の高濃度で水に溶解し、60 wt% の濃度で赤色、62.5 wt% で緑色の呈色をそれぞれ示した。得られた Ad-HPC 濃厚水溶液について CD スペクトルを測定したところ、いずれも負の CD シグナルを示し、HPC 濃厚水溶液と同様、右旋性のコレステリック液晶が形成されていることが明らかとなった (Fig. 4)。ピークトップ波長 λ_{Max} は濃度上昇とともに短波長シフトし、アダマントイル DS の増加とともに長波長シフトする傾向が観られた。液晶溶液の平均屈折率 \bar{n} からピッチ $P (= \lambda_{\text{Max}}/\bar{n})$ を、広角 X 線回折 (WAXD) 測定からネマチック層間隔 d 、さらには層間のねじれ角 $\varphi (= 360^\circ \times d/P)$ をそれぞれ算出して、コレステリック構造に及ぼすポリマー濃度とアダマントイル DS の影響を精査したところ、他のセルロース系液晶と同様、『濃度上昇とともに φ が大きくなることで P が減少し、呈色波長 ($\equiv \lambda_{\text{Max}}$) は短波長シフトする』という濃度効果をまとめられたのに対して、置換基効果については、『アダマントイル DS の増加に伴って φ が小さく (右旋性のねじれ力が弱く) なり、 P の増大と λ_{Max} の長波長シフトが誘起される』という、他のセルロース系液晶とは異なる DS 効果が得られた (Table 1)。水中で両親媒性のヒドロキシプロピル側鎖の疎水性相互作用 (極性溶媒の水分子と解離し、疎水部位同士が凝集する相互作用) が強くなり、層間のねじれ角 φ が小さくなるよう分子コンフォメーションが変化したためと捉えられる。

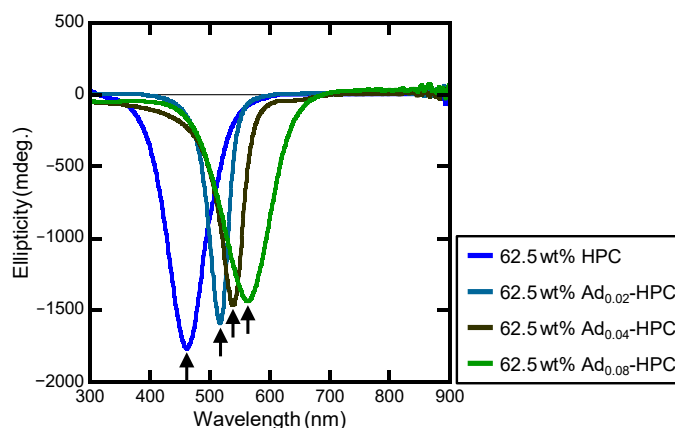


Fig. 4 Ad-HPC 水系液晶の CD スペクトルデータ。

Table 1 Ad-HPC液晶のコレステリック構造パラメーターの各値

Sample	λ_{\max} (nm)	P (nm)	ϕ (deg.)	T_c (°C)
HPC	622 ^a /539 ^b /462 ^c /415 ^d	436 ^a /377 ^b /322 ^c /288 ^d	1.01 ^a / 1.16 ^b / 1.34 ^c / 1.53 ^d	~33 ^a / ~37 ^b / ~39 ^c / ~42 ^d
Ad-HPC (DS= 0.02)	673 ^a /588 ^b /517 ^c /445 ^d	472 ^a /410 ^b /360 ^c /310 ^d	0.910 ^a /1.06 ^b / 1.20 ^c /1.39 ^d	~31 ^a / ~36 ^b / ~38 ^c / ~41 ^d
Ad-HPC (DS = 0.04)	708 ^a /620 ^b /539 ^c /464 ^d	496 ^a /434 ^b /375 ^c /322 ^d	0.896 ^a /0.997 ^b / 1.15 ^c / 1.35 ^d	~30 ^a / ~35 ^b / ~37 ^c / ~38 ^d
Ad-HPC (DS = 0.08)	803 ^a /681 ^b /564 ^c /489 ^d	561 ^a /476 ^b /393 ^c /339 ^d	0.775 ^a /0.906 ^b / 1.10 ^c / 1.28 ^d	~27 ^a / ~33 ^b / ~35 ^c / ~36 ^d

Obtained for the aqueous lyotropics of ^a 57.5 wt%, ^b 60 wt%, ^c 62.5 wt%, and ^d 65 wt% polymer concentrations, respectively.

また、いずれの Ad-HPC 水系液晶とも、HPC と同様に、温度上昇に伴って λ_{\max} は長波長シフトし、~30°C 以上の温度で白濁する下限臨界溶液温度(LCST)型の相分離挙動を示した。白濁温度(曇点 T_c)は、アダマントイル DS の増加とともに下降し、ポリマー濃度の上昇とともに上昇した。アダマントイル DS の増加とともに水溶液中における Ad-HPC 鎖間の疎水性相互作用が強くなることで、より低温度域で分子鎖の凝集が進行したためと捉えられる。

他方、アダマントイル DS ≥ 0.09 の Ad-HPC は 1 wt% の濃度でも水に不溶であった。そこでエタノール中で Tri-*O*-メチル- β -シクロデキストリン(TM- β -CyD)と混合し、乾燥することで Ad-HPC/TM- β -CyD 複合体を調製した。得られた複合体試料の ¹H-NMR スペクトルにて、アダマントイル基由来のプロトンのケミカルシフト値が最大~0.13 ppm も低磁場側に、TM- β -CyD 内腔に位置する H-3 シグナルの化学シフト値が最大~0.07 ppm も高磁場側にそれぞれシフトする傾向が観測されたことから、Ad-HPC のアダマントイル側鎖が TM- β -CyD 内腔に包接されていることが示された。包接錯体形成により Ad-HPC の水溶性は向上し、難水溶性のアダマントイル DS ≥ 0.09 の Ad-HPC が、57.5–62.5 wt% の高濃度で水に良好に溶解した。偏光顕微鏡観察と旋光分散測定から、長ピッチ ($P > 1.5 \mu\text{m}$) の右旋性コレステリック液晶を形成していることが判った。

続いて、 λ_{\max} と平均屈折率 \bar{n} からピッチ $P(=\lambda_{\max}/\bar{n})$; 長ピッチ液晶では、偏光顕微鏡で観察される指紋状組織の縞間隔が $P/2$ に相当)を、WAXD 測定からネマチック層間隔 d 、さらには層間のねじれ角 $\phi(=360^\circ \times d/P)$ をそれぞれ算出した。その結果、アダマントイル側鎖-TM- β -CyD の包接錯体形成とその形成量の増加とともに ϕ が減少し、 P が増大する傾向が示された。アダマントイル側鎖が TM- β -CyD に包接されることで HPC 主鎖近傍のかさ高さが増大し、HPC 分子鎖のねじれ形態が緩やかなものへと変化したためと捉えられる。一方、ポリマー濃度の上昇とともに ϕ は増加し、 P は減少した。濃度上昇に伴って生ずるかさ高い分子鎖間の衝突を避けるよう、 ϕ が増加しながらネマチック薄層が積層したと考えられる。

さらに、いずれの液晶溶液も、包接錯体形成前と同様、昇温に伴って白濁する LCST 型の相分離挙動を示し、曇点 T_c はアダマントイル側鎖-TM- β -CyD 包接錯体の形成量の増加とともに上昇した。側鎖部位が親水性へと変化することで低温度域での水溶媒との溶媒和が向上し、分子鎖の凝集が起こりにくくなったためと捉えられる。

以上の結果より、Ad-HPC 側鎖のアダマントイル基と TM- β -CyD との包接錯体形成によって、より幅広いアダマントイル DS の範囲で Ad-HPC/水系の液晶形成挙動を調査することが可能となり、コレステリック液晶構造に及ぼす側鎖部位のかさ高さや親/疎水性、ポリマー濃度、温度の各効果が明らかとなった。本研究の成果は、環境調和型の液晶光学材料の創製に繋がると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 杉村 和紀	4. 巻 31
2. 論文標題 分子複合化と配向制御によるセルロース系フィルムの機能設計	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本包装学会誌	6. 最初と最後の頁 143 ~ 156
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 Momoko ANDO, Kazuki SUGIMURA, Hiroshi KAMITAKAHARA	4. 巻 70
2. 論文標題 Cholesteric Liquid-crystalline Structure and Chiroptical Properties of Adamantoyl Derivative of (Hydroxypropyl)Cellulose in Aqueous Solution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 547 ~ 553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.70.547	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 Yoshiyuki NISHIO, Takayuki NADA, Takuma HIRATA, Shinpei FUJITA, Kazuki SUGIMURA, Hiroshi KAMITAKAHARA	4. 巻 54
2. 論文標題 Handedness Inversion in Chiral Nematic (Ethyl)cellulose Solutions: Effects of Substituents and Temperature	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 6014 ~ 6027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c00605	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10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 上野 敬紀, 杉村 和紀, 上高原 浩
2. 発表標題 エチルセルロースおよびその誘導体の液晶光学特性：置換基導入位置の影響
3. 学会等名 2023年繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuuki SATO, Kazuki SUGIMURA, Hiroshi KAMITAKAHARA
2. 発表標題 Chiroptical properties of blends of left-handed ethyl cellulose/CHCl ₃ and right-handed acetyl ethyl cellulose/CHCl ₃ lyotropics
3. 学会等名 The 5th International Cellulose Conference (ICC2022+1) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takanori UENO, Kazuki SUGIMURA, Hiroshi KAMITAKAHARA
2. 発表標題 Chiroptical properties of 2,3-di-O-ethyl-6-O-acetyl/ethyl cellulose
3. 学会等名 The 5th International Cellulose Conference (ICC2022+1) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上野 敬紀, 杉村 和紀, 上高原 浩
2. 発表標題 2,3-Di-O-ethyl-6-O-acetyl/ethyl celluloseの合成と液晶形成挙動：C6位の置換基と選択光反射特性の関係
3. 学会等名 2023年繊維学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉村 和紀
2. 発表標題 NMRを利用したセルロース系多糖のポリマーブレンド研究
3. 学会等名 23-1 NMR研究会 (招待講演) (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上野 敬紀, 佐藤 佑樹, 杉村 和紀, 上高原 浩
2. 発表標題 置換基位置が精密制御されたエチルセルロースの合成：セルロース系液晶における構造制御因子の解明に向けて
3. 学会等名 日本材料学会関西支部第17回若手シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 佑樹, 杉村 和紀, 上高原 浩
2. 発表標題 掌性の異なるコレステリック液晶を形成するエチルセルロース成分のブレンド溶液が発現するキロプティカル特性
3. 学会等名 2022年繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 佑樹, 杉村 和紀, 上高原 浩
2. 発表標題 左旋性コレステリック相と右旋性コレステリック相をブレンドしたエチルセルロース系液晶のキロプティカル特性
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 佑樹, 杉村 和紀, 上高原 浩
2. 発表標題 エチルセルロースが形成するコレステリック液晶の選択光反射特性：導入側鎖種が与える影響
3. 学会等名 日本材料学会関西支部第16回若手シンポジウム・若手見学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安藤 桃子, 杉村 和紀, 上高原 浩
2. 発表標題 ヒドロキシプロピルセルロースのアダマンチル誘導体が濃厚水溶液中で形成するコレステリック液晶構造とその光学特性
3. 学会等名 セルロース学会第28回年次大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

京都大学大学院 農学研究科 森林科学専攻 複合材料化学研究室
<http://www.fukugou.kais.kyoto-u.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

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