

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03038

研究課題名(和文) 三次元極小界面における脂質分子ダイナミクスの解明と革新的脂質キュービック法の開発

研究課題名(英文) Elucidation of lipid molecular dynamics on three-dimensional minimal surface and development of innovative lipid cubic method

研究代表者

一川 尚広 (ICHIKAWA, Takahiro)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80598798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：生態内における生命現象を理解するうえで、様々な機能性生体高分子の三次元の立体構造を精密に解析することは極めて重要である。本研究では、このような生体高分子の単結晶を作成する方法である『脂質キュービック法』の更なる改良に着目した。この方法において、結晶化の媒体となる双連続キュービック液晶をより深く理解・解明することが不可欠と考え、この液晶を形成する分子を新たに設計・合成し、それらの自己組織化挙動を様々な実験・シミュレーションを駆使して解析した。得られた結果を精査したところ、双連続キュービック液晶に関する新たな設計指針を生み出すことに成功した。また、この構造の新機能も発見することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通して、双連続キュービック液晶に関する重要な設計指針を得ることができた。

得られた成果は目的通り『脂質キュービック法』の改良に有効である。しかし、双連続キュービック液晶が形成するジャイロイド構造は三次元の連続性を有するナノ構造であることを考えると、サイズ選択分離膜・電解質膜など多様な応用展開において劇的なイノベーションを生む可能性を秘めており、この液晶の理解は、学術的に意義深い。

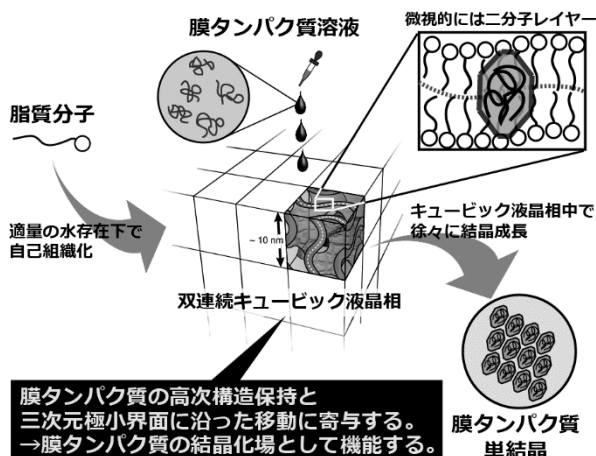
研究成果の概要(英文)：Precise analysis of the three-dimensional structures of various functional biopolymers is extremely important for understanding biological phenomena in the ecology. In this study, we focused on the further improvement of the "lipid cubic method", which is a method for producing such a single crystal of a biopolymer. In this method, we believe that it is essential to deeply understand and elucidate the bicontinuous cubic liquid crystals that are the medium of crystallization, and newly design and synthesize the molecules that form the liquid-crystalline phases. Their self-organizing behaviors were analyzed by making full use of experiments and simulations.

研究分野：自己組織化科学

キーワード：ジャイロイド 液晶 脂質キュービック法

1. 研究開始当初の背景

膜タンパク質は細胞膜においてナノポアを形成し、細胞内外における物質の取り込み・排出を司る。これらの膜タンパク質が担う機能や引き起こす生理現象を本質的に理解する上で、膜タンパク質の立体構造解析が不可欠である。そこで、膜タンパク質の単結晶化が必須となるため、その手法の開発・改良は重要な課題といえる。これまでミセル法やパイセル法など様々な手法が研究されてきたが、近年、膜タンパク質の真の姿(脂質二分子膜中での構造)を反映させたまま結晶化させる手法として、脂質キュービック法が注目されている(M. Caffrey, *J. Struct. Biol.*, 2003, 142, 108)。この手法では、脂質が適量の水の存在下において自己組織的に形成する双連続キュービック液晶を「膜タンパク質結晶化場」として利用する。双連続キュービック液晶相は、膜タンパク質の『高次構造形成場』及び『三次元的な移動場』としての機能を担っている。この手法を用いて様々な膜タンパク質の単結晶化が実現され始めているが、結晶化過程においてどのような現象が起こっているのか?なぜ結晶化が上手く進むのか?進まない場合は何故か?など未だに不明点が多く、絶対的な方法論とまでは至っていない。特に、『場』として用いている双連続キュービック相に関する理解とその制御においては改善の余地が多大にある。



2. 研究の目的

物質の結晶化は溶媒中における溶質の『ランダムな移動(運動性)』と『偶発の遭遇(偶発性)』に基づいて進行する。この移動と遭遇を外場により支配し、結晶成長を自在に制御できれば、望む多形の結晶を得られるであろう。タンパク質の結晶化においては、物質の移動だけでなく、個々のタンパク質の立体構造制御も重要となる。従来の脂質キュービック法においては、液晶マトリックスは膜タンパク質の立体構造保持に貢献している。更に、その移動を脂質が形成するジャイロイド極小界面に沿ったものに制限しているものの、空間的にはランダムであった。研究代表者(一川)が蓄積してきた『双連続キュービック液晶に関する材料化学的な知見』を基にした実験的アプローチと研究分担者(渡辺)が有する『界面における液晶分子のダイナミクス計算解析技術』を基にしたシミュレーション的アプローチを融合し、適切に液晶マトリックスを設計することで、脂質分子個々のミクロな動的挙動を制御できれば、膜タンパク質のマクロな移動と遭遇を能動的にコントロールできるのではないかと着想した。本研究では、以下のI, II, IIIを検討することで、これまで偶発的にしか誘起できなかった膜タンパク質の単結晶化現象を必然的に誘起する方法論へと昇華することを目的とする。

(I) キュービック液晶状態における脂質分子のダイナミクスを実験・計算科学的に解析する。

(II) 解析結果を分子設計へとフィードバックし、液晶マトリックス内の物質流を制御する。

(III) IIで得た知見をもとに開発した液晶マトリックスを用いて、種々の膜タンパク質の単結晶化を行う。

3. 研究の方法

双連続キュービック液晶状態において脂質分子は三次元ジャイロイド極小界面に沿って二分子レイヤーを形成し、立方周期構造を形成する。この二分子レイヤー中における脂質分子のダイナミクスを実験的・シミュレーション的に解析し、膜タンパク質の単結晶化に最適なマトリックス条件(例えば、脂質分子の拡散係数・膜タンパク質の濃度など)を探索する。得られた条件を満たすような分子挙動を示す人工脂質分子を予想・設計・合成し、実際に系中での膜タンパク質の単結晶化(脂質キュービック法)を試みる。また、脂質分子に刺激応答能・耐熱性向上・低温でも液晶状態を保持する性質の付与などの分子改良を施し、従来の常識を超えた脂質キュービック法の開発を目指すと共にその本質理解へと繋げる。本研究において、研究代表者(一川)が実験的切り口から、研究分担者(渡辺)がシミュレーション的切り口から双連続キュービック液晶中における脂質分子ダイナミクスに関して実験・解析を進め、それらを磨り合せ・統合し、液晶マトリックスを改質することで、多彩な膜タンパク質を精度よく単結晶化する手法の創成を目指す。

4. 研究成果

(1) モノオレインの自己組織化ダイナミクスの解明

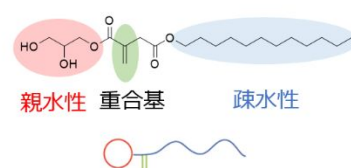
双連続キュービック液晶を膜タンパク質の結晶化場とした脂質キュービック法は、重要な方法であるが、この液晶マトリックスの設計においてはまだまだ不明点も多く、分子設計指針が確立しているとは言えない。双連続キュービック液晶を形成する代表的な分子であるモノオレインについて、分子動力学シミュレーションを駆使して、その自己組織化挙動を調べた。様々な分子数や初期条件、境界条件、含水率条件などを設定し、モノオレインが作り出す2分子レイヤー構造と分子構造の関係について明らかとすることができた。

(2) 重合性両親媒性分子の自己組織化制御と双連続キュービック相の発現誘起

両親媒性分子は熱または溶媒の助けによって、親・疎水性部位の相分離や水素結合などの分子間相互作用を駆動力として自己組織化し、様々な液晶ナノ構造を形成する。これまで一川研究室では、多彩な液晶ナノ構造の中でも特に双連続キュービック相に注目して研究を進めてきた。三次元的に無限に連続した界面を持つというユニークな特性から、ドラッグデリバリーなど各種応用展開への利用が期待できる。近年これらの分子集合体を重合によって固定化する手法がボトムアップ型の材料設計として脚光を浴びており、分離膜やセンサーなど様々な応用に向けた重合性両親媒性分子が報告されている。

本研究ではこれまでに報告されている重合性両親媒性分子の中でも Dodecyl glyceryl itaconate (DGI) に着目した。この分子はモノオレインとも類似の分子構造を有している。DGI は水中で Sm 相を形成し、UV 照射によって重合反応が進むことが知られている。我々はこの DGI の自己組織化溶媒として、水の代わりにイオン液体を用いることで双連続キュービック相の発現誘起をできないかと考えた。水中で Sm 相を発現することが知られている重合性の両親媒性分子 DGI

Dodecyl glyceryl itaconate(DGI)



及び類似の OGI を既知の合成スキームに従って合成し、自己組織化溶媒として適切なイオン液体の設計を行った。DGI は[Br]などの代表的なハロゲンアニオンを含むイオン液体との接触試験において液晶形成を示さず、[Asp], [Glu]などのアミノ酸アニオンを有するイオン液体との接触状態において液晶形成を示したことから、高い水素結合能を有するアミノ酸イオン液体が自己組織化溶媒として適していることがわかった。また、OGI は全てのイオン液体との接触試験において液晶形成を示した。この結果より、アミノ酸イオン液体[Bmim][Asp], [Ch][Asp]をそれぞれ既知の合成スキームに従って合成し、DGI、OGI と種々の質量比で混合し、複合体を作製した。作製した複合体の室温における液晶性評価を行った。DGI/[Bmim][Asp]、DGI/[Ch][Asp]複合体はともに含イオン液体率の増加に従って、結晶、スメクチック相、双連続キュービック相、メソフェーズを発現することが明らかとなった。OGI/[Bmim][Asp]複合体は結晶を示さず、DGI/AAIL 複合体よりも広い領域でスメクチック相を発現し、含イオン液体率の増加に従って双連続キュービック相、メソフェーズを発現することが分かった。OGI/[Ch][Asp]複合体は、DGI/[Bmim][Asp]、DGI/[Ch][Asp]、OGI/[Bmim][Asp]複合体よりも狭い濃度領域でスメクチック相を発現し、含イオン液体率の増加に従って双連続キュービック相、メソフェーズを発現することが分かった。

Wait ratio between DGI and [Bmim][Asp]	POM	XRD	DSC
9 : 1			
8 : 2			
7 : 3			

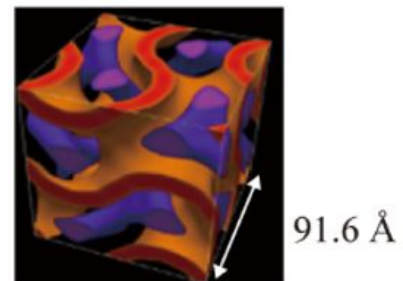
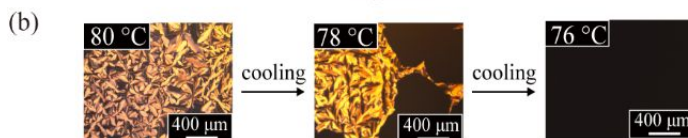
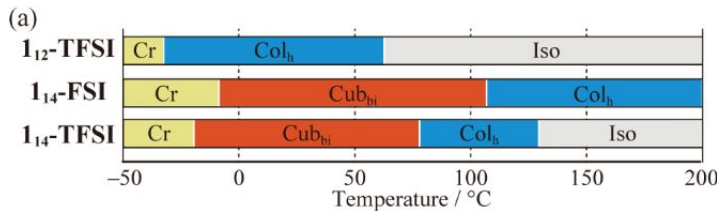
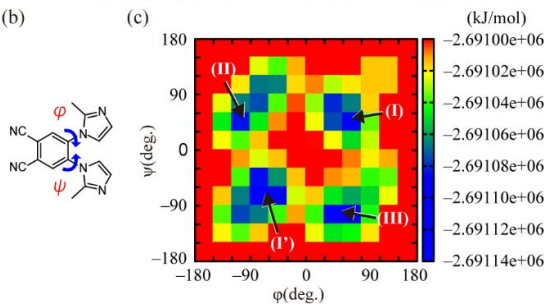
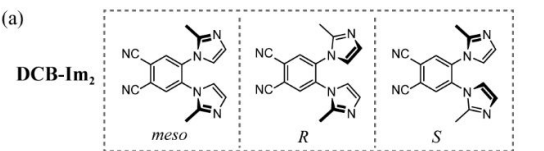
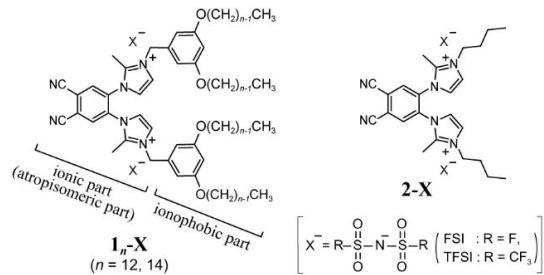
(3) 双連続キュービック液晶分子の新設計

双連続キュービック液晶は三次元の周期性と連続性を併せ持ったナノ構造を形成するため、物質輸送膜や分離膜として高い特性を示すことが報告され始めている。しかし、双連続キュービック相を発現する分子例は未だ少ない。そこで、我々は更なる分子設計指針の拡張が重要であると考えている。これまでの研究で、イオン性/非イオン性部からなる両親媒性分子の自己組織化において、分子形状・イオン性/非イオン性部の体積バランス・分子間相互作用などの要素が分子集合構造の制御に重要であることが分かっている。更に、双連続キュービック液晶の構造は二つのチャンネルネットワークが入り組んだ構造から形成されており、それぞれ左捻れ・右捻れを有していることが分かっている。本研究ではこれまでの分子設計指針に加え、分子が集合する際に捻れを伴うような“仕掛け”を導入するために、軸不斉に着目した。軸不斉骨格を導入したイオン性両親媒性分子を新たに設計・合成し、分子の捻れ構造と分子集合挙動との関係を調べた。

イオン性両親媒性分子を新たに設計・合成した。この化合物のイオン性頭部において、近接する二つのイミダゾリウム環同士の立体障害により、2つの環は捻れ構造を形成すると考えられる。分子の立体構造の評価は、DFT 計算・NMR 測定により行った。液晶性の評価は、偏光顕微鏡観察・示差走査熱量測定・X 線回折測定・シンクロナトロン小角 X 線散乱測定により行った。

イオン性頭部の構造(DCB-Im₂)に関して DFT 計算・NMR 測定を行った結果、*meso* 体・*R* 体・*S* 体の立体配座を取ることが分かった。異性体間の交換に要する活性化エネルギーは約 100 kJ mol⁻¹ であると算出できた。C-N 結合の回転は、環同士の立体障害によりある程度制限されていることが示唆された。このことから、この化合物は凝集状態において軸不斉を有すると考えられる。

化合物の相挙動の温度依存性を詳細に調べてまとめた。それぞれの液晶相は偏光顕微鏡観察及び X 線回折測定により同定した。また 双連続キュービック相を発現した分子に関して、シンクロナトロン小角 X 線散乱測定を行った。得られた散乱ピークの強度から、双連続キュービック液晶状態における三次元電子密度図を得ることができた。三次元的に分岐したチャンネルネットワーク部分の電子密度が高いことから、イオン性頭部はチャンネルネットワーク部分に組織化されていると考えられる。双連続キュービック構造は左捻れと右捻れの二つのチャンネルネットワークが入り組んだ構造である。軸不斉を有する分子がチャンネル状に集積していく過程において、左捻れ・右捻れのチャンネルドメインには、*S* 体と *R* 体の存在比が 50:50 から少しずつれて、どちらかが僅かに過剰になるように組織化されるのではないかと考えている。そしてこの効果が、双連続キュービック液晶発現の駆動力に少なからず関係しているのではないかと考察している。これらの成果は、*Angew. Chem. Int. Ed.*, **2020**, *59*, 8445–8450 に掲載された。

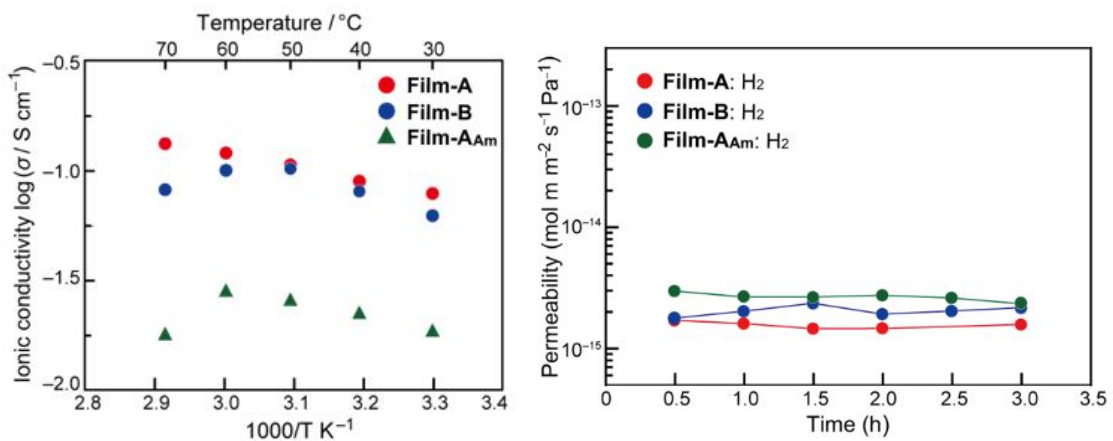
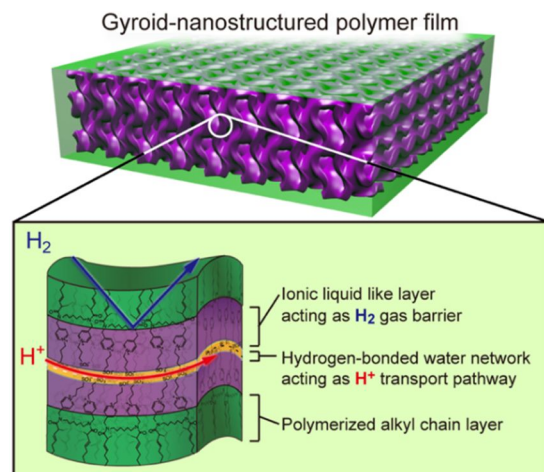


(4) ガスバリア膜としての展開

ジャイロイド構造は三次元連続性と周期性を併せ持った構造であり、蝶の鱗粉やミトコンドリアの内膜など自然界などにおいてもその構造が発見されている。人工的には3Dプリンターやブロックコポリマー、液晶の自己組織化を利用することで、cm ~ nmスケールのジャイロイド構造を作製できる。ナノオーダーまで小さいジャイロイド構造を作製すると、分子レベルの現象に関連した機能を期待できるため、新しい材料設計として興味深い。

これまで一川研究室では、双連続キュービック液晶相を発現する分子を独自に数多く開発してきた。中でも親水部として Zwitterion を導入した両親媒性 Zwitterion は酸やリチウム塩の存在下で双連続キュービック液晶相を発現することを報告してきた。両親媒性 Zwitterion/酸複合体が形成するジャイロイド構造は三次元に連続したイオン(プロトン)輸送パスを形成するため、高速プロトン輸送能を示す。しかし、自己組織性の材料であるため熱や溶媒などの外部刺激の存在下ではジャイロイドナノ構造を維持することはできない。固体高分子形燃料電池電解質への応用を目指し、ジャイロイド構造の重合固定化を目指した。具体的には、重合性官能基を導入した両親媒性 Zwitterion を設計し、双連続キュービック液晶相を発現した状態で *in situ* 重合することに挑戦した。新たに、双子型の重合性両親媒性 Zwitterion を設計・合成した。数多くの分子設計を進め、その自己組織化挙動を調べたところ、適切な量の酸や水の存在下でジャイロイドナノ構造を形成する分子の設計を達成できた。液晶状態において光ラジカル重合を進行させたところ、ジャイロイド構造を維持したまま重合が進行し、自立性高分子膜を作製できた。得られた高分子膜は吸水に伴い、イオン伝導度が劇的に上昇し、 $10^{-1} \text{ S cm}^{-1}$ 程度の高いイオン伝導性を示すことが分かった。Sheffield 大学の Zeng 博士らと共に共同でシンクロトロン放射光を用いた構造解析を行ったところ、ジャイロイド極小界面に沿って水分子が取り込まれていることを証明できた。水分子の三次元水素結合ネットワークを介してグロータス機構に基づいた高速プロトン輸送が誘起されたと考えている。

高分子形燃料電池電解質への応用を目指して、高いプロトン伝導性と低い H_2 ガス透過性を併せ示すジャイロイド構造膜の開発を目指した。重合性両親媒性 Zwitterion と重合性酸を複合化し、*in situ* 重合を行うことで、全固体型のジャイロイド構造膜を作製できた。得られた高分子膜に対して、イオン伝導性・ガス透過性を評価したところ $10^{-1} \text{ S cm}^{-1}$ 程度の高いプロトン伝導性と $10^{-15} \text{ mol m m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ 程度の極めて低い H_2 ガス透過性を示すことが分かった。一般的にイオン液体のような高極性媒体は非極性ガスである H_2 ガスに対して高いガスバリア性を示すことが知られている。開発した高分子膜内においては、ジャイロイド極小界面に沿って Zwitterion/酸骨格が配列することで『三次元イオン性レイヤー』が形成されている。この三次元イオン性レイヤーが非極性ガスのバリア層としても機能したため、高いガスバリア性も実現できたと考えている。これらの成果は、*Macromolecular Rapid Communications* (Cover としても採択) に 2021 年に掲載が決まっている。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Atsuya Ishida, Go Watanabe, Mio Oshikawa, Itsuki Ajioka, Takahiro Muraoka	4. 巻 25
2. 論文標題 Glycine Substitution Effects on the Supramolecular Morphology and Rigidity of Cell Adhesive Amphiphilic Peptides	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 13523-13530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201902083	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 Nanami Uemura, Tsubasa Kobayashi, Shintaro Yoshida, Ya-xin Li, Karel Goossens, Xiangbing Zeng, Go Watanabe, and Takahiro Ichikawa	4. 巻 59
2. 論文標題 Double-Gyroid Nanostructure Formation by Aggregation-Induced Atropisomerization and Co-Assembly of Ionic Liquid-Crystalline Amphiphiles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 8445-8450
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202000424	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 該当する
1. 著者名 Fujiwara Saki, Ohno Hiroyuki, Ichikawa Takahiro	4. 巻 3
2. 論文標題 A tailor-made design of lipidic bicontinuous cubic matrices using amino acid ionic liquids as self-assembly media	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Molecular Systems Design & Engineering	6. 最初と最後の頁 668 ~ 676
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8ME00015H	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 Takeuchi Rika, Ichikawa Takahiro	4. 巻 43
2. 論文標題 Improvement of lipidic bicontinuous cubic phases by the addition of a zwitterion with strong hydration ability and kosmotropicity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 3084 ~ 3090
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8nj05459b	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 Shimizu Yukako, Takeuchi Hiroaki, Takeuchi Rika, Ichikawa Takahiro	4. 巻 1
2. 論文標題 Amphotropic liquid-crystalline behaviour of glycolipids in amino acid ionic liquids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Liquid Crystals	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/02678292.2019.1591532	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 Saki Fujiwara, Hiroyuki Ohno, Masafumi Yoshio, Takashi Kato, and Takahiro Ichikawa,	4. 巻 91
2. 論文標題 Design of Dication-Type Amino Acid Ionic Liquids and Their Application to Self-Assembly Media of Amphiphiles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20170276	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 Maekawa Asako, Kobayashi Tsubasa, Ichikawa Takahiro	4. 巻 53
2. 論文標題 Gyroid nanostructured soft membranes formed by controlling the degree of crosslinking polymerization of bicontinuous cubic liquid-crystalline monomers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 463~470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-020-00436-0	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 Takeuchi Hiroaki, Ichikawa Takahiro	4. 巻 50
2. 論文標題 Creation of Gyroid Nanostructured Polymer Films from Lyotropic Liquid Crystals Containing a Polymerizable Ionic Liquid as a Solvent	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1198~1201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210021	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 Tsubasa Kobayashi, Ya-xin Li, Yuichiro Hirota, Asako Maekawa, Norikazu Nishiyama, Xiang-bing Zeng, and Takahiro Ichikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Gyroid Nanostructured All Solid Polymer Films Combining High H+ Conductivity with Low H2 Permeability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecular Rapid Communications	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) 10.1002/marc.202100115	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 該当する

1. 著者名 一川 尚広	4. 巻 37
2. 論文標題 液晶分子の自己組織化を利用したソフトなジャイロイド構造膜の創成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ゼオライト	6. 最初と最後の頁 107 ~ 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20731/zeoraito.37.4.107	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20件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Takahiro Ichikawa, Hiroaki Takeuchi, Tsubasa Kobayashi, Nanami Uemura, Xiang-bing Zeng
2. 発表標題 Molecular design strategies for creating liquid crystals forming gyroid nanostructures and their advanced functions
3. 学会等名 ACS National Meeting & Expo (国際学会)
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 一川 尚広
2. 発表標題 双連続キュービック液晶の分子設計手法の確立とその機能化に関する研究
3. 学会等名 2019年日本液晶学会討論会 (招待講演)
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 Takahiro Ichikawa
2. 発表標題 Development of Functional Polymer Membranes Having Gyroid Nanostructures
3. 学会等名 第68回高分子討論会 日韓ジョイントセッション/ Japan-Korea Joint Session (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 一川 尚広・小林 翼・Zeng Xiang-bing
2. 発表標題 三次元アクアナノシートを形成するジャイロイド構造膜の創成
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 一川尚広
2. 発表標題 液晶を用いたソフトなジャイロイド構造膜の設計
3. 学会等名 第35 回ゼオライト研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Takahiro Ichikawa
2. 発表標題 Design of Functional Gyroid Surface through Self-organization of Liquid-crystalline Amphiphiles
3. 学会等名 日本化学会第100回春季年会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Rika Takeuchi, Takahiro Ichikawa
2. 発表標題 Stabilization of lipidic cubic matrices by using strong hydration ability of zwitterions
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Ichikawa
2. 発表標題 Design of gyroid-structured polymer films based on polymerizable bicontinuous cubic liquid crystals
3. 学会等名 SPSI-MACRO-2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Ichikawa*, Rika Takeuchi, Yukako Shimizu, Hiroaki Takeuchi, Nanami Uemura, Ayaka Ono, Tsubasa Kobayashi
2. 発表標題 Molecular Design Technology for Creating Ionic Bicontinuous Cubic Liquid Crystals
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 一川尚広・藤原沙希・竹内里佳・大野弘幸
2. 発表標題 脂質キュービックマトリックスの経時安定化に向けたイオン液体設計
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Saki Fujiwara, Hiroyuki Ohno, Takahiro Ichikawa
2. 発表標題 Construction of lipidic cubic matrix containing amino acid ionic liquids as solvents
3. 学会等名 21st International Conference on Solid State Ionics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前川愛沙子、小林翼、一川尚広
2. 発表標題 ソフトな三次元プロトン伝導膜の創生に向けた重合性液晶分子の設計
3. 学会等名 2020年 高分子学会 (第69回高分子学会年次大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大城光、小林翼、一川尚広
2. 発表標題 両親媒性zwitterionを用いた親水性ジャイロイド界面の設計と湿度調整によるプロトン伝導パスの構築
3. 学会等名 2020年 高分子学会 (第69回高分子学会年次大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹山 実里、大城 光、前川 愛沙子、小林 翼、一川 尚広
2. 発表標題 ジャイロイド構造を有する柔軟な重合膜の作製に向けた 液晶性モノマーの分子改良
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小原壮貴、上村七海、一川尚広
2. 発表標題 イオン液体を用いたアトロブ異性体の設計とそのねじれを利用した三次元ジャイロイドナノ構造の構築
3. 学会等名 イオン液体Workshop2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 一川尚広
2. 発表標題 ジャイロイド極小界面を活用したプロトン伝導膜の新設計
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 一川尚広
2. 発表標題 ソフトなジャイロイド構造膜の設計と機能展開
3. 学会等名 高分子講演会（東海）（招待講演）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 一川尚広
2. 発表標題 ジャイロイド極小界面を用いた三次元プロトン伝導パスの創成
3. 学会等名 高分子同友会勉強会 “ D 環境及びエネルギーに関する 最新の技術及び市場を勉強する会 ”（招待講演）（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺豪
2. 発表標題 分子シミュレーションで解き明かす有機材料の分子描像
3. 学会等名 第9回Qコロキウム オンライン開催（招待講演）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺豪
2. 発表標題 分子シミュレーションによる液晶の微視的描像解明
3. 学会等名 物性研究所スパコン共同利用・CCMS合同研究会「計算物質科学の新展開2020」（招待講演）（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 一川尚広	4. 発行年 2020年
2. 出版社 液晶学会	5. 総ページ数 8
3. 書名 液晶	

1. 著者名 小林 翼、一川 尚広	4. 発行年 2019年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 5
3. 書名 月刊化学	

1. 著者名 小林 翼、一川 尚広	4. 発行年 2019年
2. 出版社 日本工業出版	5. 総ページ数 8
3. 書名 クリーンエネルギー	

〔産業財産権〕

〔その他〕

一川研究室 http://web.tuat.ac.jp/~ichikawa/
--

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	渡辺 豪 (WATANABE Go) (80547076)	北里大学・理学部・講師 (32607)	

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			
英国	Sheffield University			
韓国	Institute for Basic Science			