

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05610

研究課題名(和文) 荷電脂質膜における多価イオン間静電相互作用と相分離

研究課題名(英文) Electrostatic interactions between multivalent ions and phase separation in charged lipid membranes

研究代表者

下川 直史 (Shimokawa, Naofumi)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・講師

研究者番号：20700181

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：細胞膜での自発的な秩序形成を理解するために、細胞膜の主成分であるリン脂質から成る脂質二重膜での秩序構造形成を実験・理論計算・数値シミュレーションにより明らかにした。すべての成分が均一に混ざらない相分離という現象に取り組み、特に、相分離に対する荷電脂質や多価のイオンによる効果に注目して研究を進めた。具体的には、膜に添加する塩の価数や構造の影響、脂質の電離状態、脂質の価数、荷電ナノ粒子と膜との相互作用、外部電場による影響、疎水性分子の添加などを行った。これらより静電相互作用が膜内や膜自体の自発的な秩序構造形成に重要な役割を担うことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

イオン間の相互作用である静電相互作用は長距離相互作用であるため、取り扱いが難しい。そのため、いくつかの単純化を行うことが多い。しかし、その単純化の過程でイオンの大きさ、イオンの構造、電離などといった重要な要素が削ぎ落される場合がある。このような複雑な要素が脂質膜の秩序形成において重要な役割を果たし、特に多価のイオンの場合にはこれらの効果が顕在化しやすいことを明らかにした。本研究課題により細胞膜での静電相互作用を伴う秩序形成についての知見が得られただけでなく、静電相互作用による脂質膜の構造制御にも利用することができ、将来的には医学・工学的応用へと繋がる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：We studied the formation of ordered structures in lipid bilayer membranes which is the basic structure of plasma membrane by experimental, theoretical and numerical simulation approaches in order to understand spontaneous order formation in plasma membranes. The main target is the phase separation, the phenomenon that all components are not mixed uniformly in membranes, and we focused on the effects of charged lipids and multivalent ions on phase separation. In particular, we studied the effects of added salt valence and structure, the ionization state of charged lipids, the valence of charged lipids, the interactions between charged nanoparticles and charged lipid membranes, the effects of external electric field on charged lipid membranes and the addition of hydrophobic molecules to charged membranes. It was revealed that the electrostatic interaction plays an important role in the spontaneous order formation in lipid membranes.

研究分野：ソフトマター物理

キーワード：リン脂質 リポソーム ベシクル 脂質二重膜 相分離 静電相互作用

## 1. 研究開始当初の背景

両親媒性分子であるリン脂質は水中で二重膜構造を自発的に形成する。このリン脂質二重膜やそれが丸く閉じたベシクルは細胞膜・生体膜の基本構造であるため、それらのモデル系として用いられている。多成分リン脂質二重膜ではすべての成分が均一に混ざり合わない相分離という現象が見られる。特に、不飽和脂質・飽和脂質・コレステロールから成る系においては、飽和脂質とコレステロールに富む液体秩序相と不飽和脂質に富む液体無秩序相との相分離が観察される。このような、組成の不均一な構造は細胞膜においても形成されているとされ、ラフトモデルとして知られる。ラフトは飽和脂質とコレステロールに富む領域であり、そのため液体秩序相はラフトのモデルとなる。ラフトはシグナル伝達や膜輸送の足場になっていると考えられているため、脂質膜における相分離に関する研究からラフト形成メカニズムを探ることは重要であると言える。

不飽和脂質・飽和脂質・コレステロールから成る系は細胞膜に比べて非常に単純な構造をしている。そのため、近年では細胞環境を意識し、いくつかの複雑性を導入した系での研究が進められてきている。その中で、研究代表者らは親水頭部に電荷を有した荷電リン脂質を含む脂質膜での研究を行ってきた。荷電不飽和脂質は相分離形成を阻害すること、NaClのような塩を添加すると相分離が促進することなどを明らかにしてきた。そのような研究の流れの中で本研究課題では、特に多価のイオンが脂質膜での秩序形成に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、実験を中心に数値シミュレーション・理論計算を併用しながら取り組んできた。

## 2. 研究の目的

荷電脂質膜での研究においては NaCl のような 1 価の金属イオンが静電遮蔽の目的で広く使われてきた。一方、生体内にはカルシウム、マグネシウムをはじめとした多価の金属イオンから、ポリアミン、タンパク質といった多価の荷電性分子が多く存在する。さらに、リン脂質も 1 価の負電荷脂質が多く用いられてきているが、ホスホイノシタイドのような多価負電荷脂質も生体内に存在し、シグナル伝達において重要な働きをしている。しかし、多価イオンによる相互作用から生じる秩序形成については十分な研究が行われてきていない。そこで、多価イオンによる静電相互作用から生じる荷電脂質膜の秩序形成を中心に、静電相互作用により支配される現象に関して主に下記の 6 つの研究を行った。

- (1) 多価塩の添加による荷電脂質膜での相分離
- (2) 低張液中での荷電脂質膜の相分離
- (3) 多価負電荷脂質を含む荷電脂質膜での相分離ドメイン線張力測定
- (4) 粗視化分子動力学シミュレーションによる荷電ナノ粒子と荷電脂質膜の相互作用
- (5) 粗視化分子動力学シミュレーションによる電場下で駆動される荷電脂質相分離ドメイン
- (6) アルカンの添加によるイオン性界面活性剤の構造相転移

## 3. 研究の方法

- (1) 多価塩の添加による荷電脂質膜での相分離

荷電不飽和脂質(DOPS)、中性飽和脂質(DPPC)、コレステロール(Chol)の三成分から成る脂質膜へ塩を添加し、相分離の挙動を蛍光顕微鏡により観察した。塩は 1 価として NaCl、NH<sub>4</sub>Cl、プロピルアミン、2 価として CaCl<sub>2</sub>、MgCl<sub>2</sub>、エチレンジアミン、プトレシン、ヘキサメチレンジアミン、3 価としてスペルミジン、4 価としてスペルミン、5 価として N<sup>4</sup>-ビスアミノプロピルスぺルミジン (3(3)(3)4) の 11 種類を用いた。サンプルの温度を 25、30、40°C にそれぞれ設定し各塩濃度で形成される相分離の割合を求めた。

- (2) 低張液中での荷電脂質膜の相分離

荷電不飽和脂質(DOPS)、中性飽和脂質(DPPC)の二成分から成る脂質膜の低張液中での相分離を蛍光顕微鏡、共焦点レーザー顕微鏡により観察した。ベシクルはグルコース溶液で水和し、観察前に水を添加しベシクル外溶液のみ薄めることで、ベシクル内外でグルコース濃度差を生じさせ浸透圧をかけた。DOPS の電離状態を明らかにするために、溶液の pH を pH=5,6,7,8 に変化させ相分離の観察を行った。また、相分離した相を同定するために正電荷を持つ荷電粒子(アミン修飾ポリスチレン粒子、直径 1 $\mu$ m)を用いた。DOPS 間の水素結合を評価するために、水の代わりに重水(D<sub>2</sub>O)を用いた相分離観察を行った。さらに、相分離構造の安定性を考察するために、粗視化分子動力学シミュレーションにより三種類の脂質から成るベシクルの相分離の計算を行った。

- (3) 多価負電荷脂質を含む荷電脂質膜での相分離ドメイン線張力測定

中性不飽和脂質(DOPC)、中性飽和脂質(DPPC)、Chol から成る系に 1 価負電荷不飽和脂質(DOPI)、3 価負電荷不飽和脂質(DOPI(4,5)P2)を添加し、相分離を蛍光顕微鏡、共焦点レーザー顕微鏡により観察した。塩として CaCl<sub>2</sub> を用いた。相分離ドメイン界面張力(線張力)をドメイン形状の揺らぎから求めた。荷電脂質の相分離膜内での局在を明らかにするために、蛍光色素 TopFluor-PI, TopFluor-PI(4,5)P2 をそれぞれ用いた。

(4) 粗視化分子動力学シミュレーションによる荷電ナノ粒子と荷電脂質膜の相互作用

荷電脂質、中性脂質の二成分からなる脂質膜ベシクルと中性または荷電ナノ粒子との相互作用を粗視化分子動力学シミュレーションにより計算した。相分離が起きない条件でベシクル構造を十分に緩和させた後に、膜面近傍にナノ粒子を配置した。粒子と脂質との間の親水・疎水相互作用パラメータ、粒子の価数、粒子の大きさを変化させ、ベシクルとナノ粒子の相互作用を系統的に調べた。

(5) 粗視化分子動力学シミュレーションによる電場下で駆動される荷電脂質相分離ドメイン

直流電場下での荷電脂質、中性脂質の二成分からなる脂質膜ベシクルの相分離を粗視化分子動力学シミュレーションにより明らかにした。相分離が起きる条件で電場の向き反転による、荷電脂質に富むドメインのベシクル膜面上での動きを解析し、理論的なモデルとの比較を行った。

(6) アルカンの添加によるイオン性界面活性剤の構造相転移

正電荷を持つイオン性界面活性剤 (DODAC) ヘテトラデカン (TD) を添加した際の膜構造を小角/広角 X 線散乱、示差走査熱量測定、赤外全反射吸収測定により明らかにした。また、実験結果を理論モデルにより説明した。本研究は共同研究にて行い、理論計算の部分を担当した。

4. 研究成果

(1) 多価塩の添加による荷電脂質膜での相分離

DOPS/DPPE/Chol=40/40/20 の組成を室温にて観察すると、均一相が観察される (図1の No Salt)。これは、DOPS 間の静電反発が相分離形成を阻害するためと考えられる。そこで、各種塩を添加し相挙動を観察した。その結果、11種類すべての塩において相分離の形成が観察された (図1にいくつかの塩を加えた場合の顕微鏡画像を示す)。また、塩濃度を上げるほど相分離形成率が上昇する点もすべての塩において共通していた。塩の種類によって相分離が観察される塩濃度が大きく異なることがわかった。基本的な傾向としては価数が大きくなるほど、カチオンサイズが小さくなるほど低塩濃度で相分離が観察された。プロピルアミンやヘキサメチレンジアミンは同じ価数の塩と比べると相対的に大きなカチオンであるにもかかわらず、低濃度で相分離が観察された。これは、これらのカチオンが疎水性相互作用により水中で数分子が会合し見かけ上の価数が大きくなっている可能性があると考えた。また、温度を上昇させると、相分離に必要な濃度が高くなった。ジアミンやポリアミンといった棒状の分子は温度変化に敏感に反応し、温度上昇にしたがって相分離に必要な濃度も上昇していった。一方、金属イオンや 3(3)(3)4 といった球状カチオンは温度変化に対して鈍感であり、相分離に必要な濃度は大きく変化しなかった。これは膜面に吸着した際の配向のエントロピーが関係していると考えられる。このように、添加塩による荷電脂質膜の相分離では、添加塩の価数・イオンサイズ・イオンの形状が重要であることが示唆された。

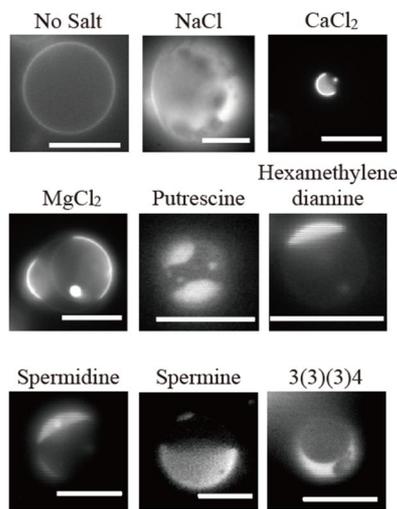


図1：各種塩の添加による相分離の蛍光顕微鏡画像。

(2) 低張液中での荷電脂質膜の相分離

DOPS/DPPE から成るベシクルをグルコース溶液で水和し、観察前に水を加えベシクル内外でグルコース濃度差を与え浸透圧を加えた。浸透圧を加える前は均一相であるが、浸透圧を強くするにつれて相分離構造が観察されていった。特に DOPS/DPPE=30/70 において二成分であるにもかかわらず、三相相分離が形成された (図2a)。これは荷電脂質である DOPS が、電離した DOPS(-) と電離していない DOPS(N) の二状態となり、それらが混在することで実質三成分系になっているためであると考えた。そこで、pH を変化させ相挙動を観察すると、pH に依存して三相相分離構造の形成率が大きく変化することがわかった。このことから、DOPS の電離状態が相分離構造形成に強く関与していることが明らかになった。また、相を同定するために正電荷を有する荷電粒子を加えたところ図2(a)の緑色

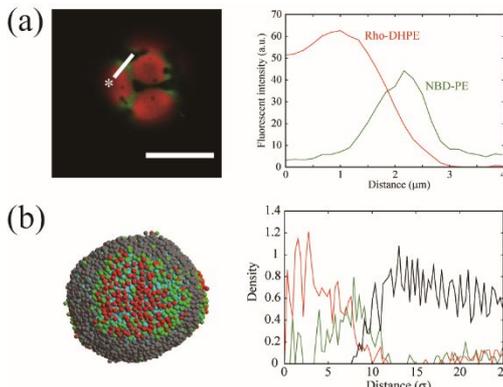


図2：(a)三相共存の共焦点顕微鏡画像と蛍光強度プロファイル。(b)粗視化分子動力学シミュレーションのスナップショットとドメイン中心からの脂質の密度分布。

の領域に選択的に吸着したため、緑色の相が DOPS(-)に富んでいると考えた。粗視化分子動力学シミュレーションにより、DOPS(-)、DOPS(N)、DPPC の三成分からなるベシクルを模した系で相分離の計算を行った (図 2b)。その結果、実験と同じように DOPS(N)に富む相が円形のドメインを形成し (図 2 の赤い領域) その周りをドーナツ状に DOPS(-)に富む相が取り囲み (図 2 の緑色の領域) その外側に DPPC に富む相が配置する (図 2 の黒い領域) 様子が得られた。これは DOPS(-)相が荷電脂質に乏しい二相 (DOPS(N)相と DPPC 相) に挟まれることで静電反発を小さくし相分離界面を安定化するためであることがわかった。また、三相分離構造が安定化されるためには、DOPS(N)間に強い引力が存在することが考えられる。そこで、水の代わりに重水 (D<sub>2</sub>O) を用いて観察を行ったところ、三相分離構造の形成率が大きく下がった。このことから、DOPS(N)間には水素結合が働き、それにより三相分離構造が安定化されていることがわかった。

### (3) 多価負電荷脂質を含む荷電脂質膜での相分離ドメイン線張力測定

電気的に中性な脂質のみから成る脂質膜である DOPC/DPPC/Chol=40/40/20 では DPPC と Chol に富む液体秩序 (L<sub>o</sub>) 相と液体無秩序 (L<sub>d</sub>) 相との相分離が観察される。そこで、荷電脂質である DOPI または PIP2 を添加し相分離の挙動を観察した。荷電脂質を添加すると相分離ドメイン形状が熱的に揺らぐことがわかった。このことから相分離ドメイン界面張力 (線張力) が低下していることが示唆される。そこで、ドメイン形状揺らぎから線張力を定量的に測定した。その結果、DOPI、PIP2 のどちら

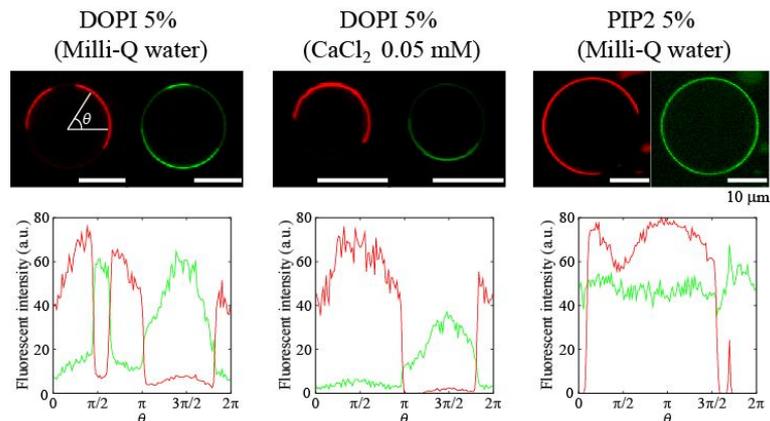


図 3 : 蛍光強度プロファイル。赤色が Rhodamine-DHPE の蛍光で、赤い領域が L<sub>d</sub> 相、暗い領域が L<sub>o</sub> 相を示す。緑が TopFluor-PI または TopFluor-PIP2 の蛍光を示す。

においても線張力の低下が見られ、特に PIP2 で大きく線張力が低下していた。CaCl<sub>2</sub> を添加すると、どちらの系においても線張力の低下が抑制された。そのため、荷電脂質間の静電反発が線張力を低下させていることが考えられる。次に、荷電脂質の相分離膜内での分布を明らかにするために、共焦点レーザー顕微鏡により TopFluor-PI と TopFluor-PIP2 の分布を観察し、蛍光強度測定から共存相間の分配比を求めた。DOPI は L<sub>d</sub> 相に局在し (図 3 左)、CaCl<sub>2</sub> を添加するとより L<sub>d</sub> 相に局在するようになった (図 3 中央)。DOPI は疎水部の構造が同じである L<sub>d</sub> 相を好み、CaCl<sub>2</sub> により静電反発を弱めるとより L<sub>d</sub> 相に局在するようになったと考えられる。一方、PIP2 は L<sub>o</sub> 相と L<sub>d</sub> 相にほぼ均一に分布した (図 3 右)。これは PIP2 間の強い静電反発が特定相への局在を阻害したと考えられる。CaCl<sub>2</sub> を添加すると、PIP2 が凝集し膜面上で脂質の大きな塊を形成した。PIP2 は 5% を超えると膜内に局在できなくなり、溶液中に抜けていくことがわかった。これも強い静電反発により膜内に局在できなくなったためと考えられる。また、ドメインがストライプ状に周期的に並ぶ構造も観察された。これは、線張力の低下と荷電脂質間の強い静電反発の結果形成されたと考えられる。

### (4) 粗視化分子動力学シミュレーションによる荷電ナノ粒子と荷電脂質膜の相互作用

負電荷脂質と中性脂質が 2500 分子ずつ含まれるベシクルへ荷電ナノ粒子を添加し、その相互作用を計算した。電気的に中性な粒子の場合、脂質と粒子間の疎水性相互作用を強くしていくと、膜表面に吸着していた粒子が膜内やベシクル内に自発的に取り込まれることがわかった。次に正電荷を有する粒子で計算を行うと、中性の粒子に比べベシクル内に取り込まれやすくなることがわかった。また、価数を大きくするにしたがって、ベシクル内への透過の過程が、膜の疎水部の通過、荷電脂質に富む過渡的なチャンネルの形成と通過、エンドサイティックな輸送と変化していくことがわかった (図 4)。また、脂質と同符号の電荷 (負電荷) を有する粒子の場合には、脂質と粒子の親水性相互作用が十分に強い場合に粒子が膜面に吸着することがわかった。また吸着した粒子の直下には中性脂質が選択的に集まることわかった。

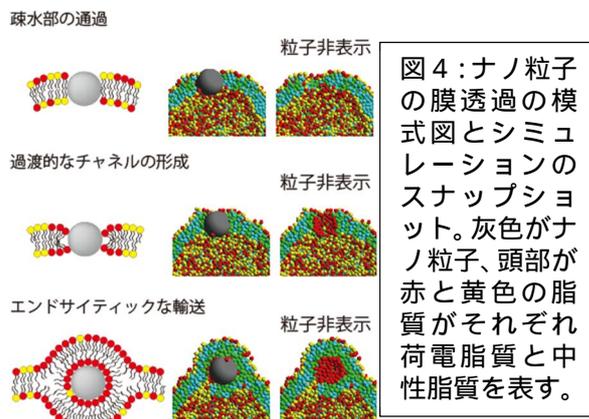


図 4 : ナノ粒子の膜透過の模式図とシミュレーションのスナップショット。灰色がナノ粒子、頭部が赤と黄色の脂質がそれぞれ荷電脂質と中性脂質を表す。

( 5 ) 粗視化分子動力学シミュレーションによる電場下で駆動される荷電脂質相分離ドメイン

負電荷脂質と中性脂質が 500:4500 の組成比から成るベシクルの相分離過程を直流電場下で計算した。その結果、荷電脂質に富む相分離ドメインが電場方向に集まることがわかった。その後、電場の向きを反転させると、相分離ドメインが電場の向きに追従し移動することがわかった(図5)。また、このドメインの動きはベシクルの剛体回転ではなく、中性脂質の“海”の中を荷電脂質に富むドメインが動いていくことがわかった。さらに運動中のドメイン内外での脂質分子の速度場を明らかにした。ドメインの電場下での動きは、Saffman-Delbrück モデルで表すことができ、理論結果がシミュレーション結果と定性的に一致することがわかった。

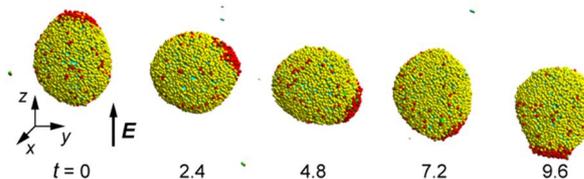


図5：電場の反転( $t=0$ で電場を下向きから上向きに変えた)に追従したドメインの動き。赤が負電荷脂質で電場と逆向きに動く。

( 6 ) アルカンの添加によるイオン性界面活性剤の構造相転移

カチオン性界面活性剤 DODAC は水中で指組膜構造を形成する。そこへテトラデカン(TD)を添加すると、二重膜構造へと転移することが実験からわかった。この構造相転移は DODAC の親水頭部間の静電反発と疎水部の露出による疎水性相互作用との競合により説明することができる(図6上)。さらに、膜内分子の面積弾性、混合のエントロピーの寄与を取り入れ、自由エネルギー最小の条件から相挙動を理論的に記述した。その結果、TD 濃度が低濃度で指組構造、高濃度で二重膜構造が安定になることがわかった(図6下)。また、膜内分子の占有面積変化も実験結果とおよそ一致することがわかった。さらに、狭いパラメータ領域ではあるが、指組構造→指組構造と二重膜構造の共存→二重膜構造→2つの二重膜構造の共存→二重膜構造という実験で観察された相変化と同じ挙動を示す領域が存在することがわかった。

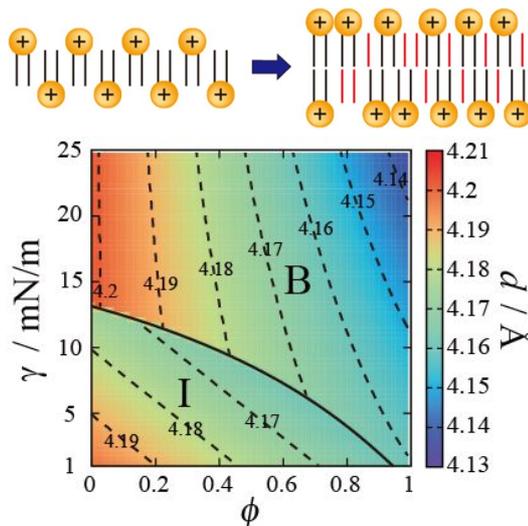


図6：(上) アルカンの添加による膜構造相転移の模式図。アルカン低濃度(左)では指組構造、高濃度(右)では二重膜構造を取る。指組構造では荷電頭部どうしは離れるが疎水部が露出する。反対に二重膜では疎水部は露出しにくい荷電頭部どうしが接近する。(下) 理論計算より求めた脂質占有面積変化( $d$ は格子定数であり $d^2$ が占有面積に比例する)。 $\phi$ はTDのモル分率、 $\gamma$ はアルキル鎖と水の表面張力。Iが指組構造、Bが二重膜を示す。共存領域は省略している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11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 Naofumi Shimokawa, Hiroaki Ito, Yuji Higuchi	4. 巻 100
2. 論文標題 Coarse-grained molecular dynamics simulation for uptake of nanoparticles into a charged lipid vesicle dominated by electrostatic interactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 12407 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevE.100.012407	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 Nichaporn Wongsirojkul, Naofumi Shimokawa, Pakorn Opaprakasit, Masahiro Takagi, Tsutomu Hamada	4. 巻 36
2. 論文標題 Osmotic-Tension-Induced Membrane Lateral Organization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 2937-2945
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.langmuir.9b03893	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 Miyuki Miyake, Yasushi Kakizawa, Norio Tobori, Masatoshi Kurioka, Nobuhito Tabuchi, Ryo Kon, Naofumi Shimokawa, Yoshio Tsujino, Masahiro Takagi	4. 巻 169
2. 論文標題 Membrane permeation of giant unilamellar vesicles and corneal epithelial cells with lipophilic vitamin nanoemulsions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces B: Biointerfaces	6. 最初と最後の頁 444-452
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.colsurfb.2018.05.052	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 Neha Sharma, Huong T. T. Phan, Tsuyoshi Yoda, Naofumi Shimokawa, Mun'delanji C. Vestergaard, Masahiro Takagi	4. 巻 4
2. 論文標題 Effects of Capsaicin on Biomimetic Membranes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biomimetics	6. 最初と最後の頁 17 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/biomimetics4010017	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 Neha Sharma, KeangOK Baek, Naofumi Shimokawa, Masahiro Takagi	4. 巻 4
2. 論文標題 Effect of temperature on raft-dependent endocytic cluster formation during activation of Jurkat T cells by concanavalin A	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Bioscience and Bioengineering	6. 最初と最後の頁 479-485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiosc.2018.09.014	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 Ko Sugahara, Naofumi Shimokawa, Masahiro Takagi	4. 巻 7
2. 論文標題 Thermal stability of phase-separated domains in multicomponent lipid membranes with local anesthetics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Membranes	6. 最初と最後の頁 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/membranes7030033	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 Pooja Gusain, Shinya Ohki, Kunihide Hoshino, Yoshio Tsujino, Naofumi Shimokawa, Masahiro Takagi	4. 巻 7
2. 論文標題 Chirality-dependent interaction of D- and L-menthol with biomembrane models	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Membranes	6. 最初と最後の頁 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/membranes7040069	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 Kazushi Kinbara, Kaori Umetsu, Hiroki Sonobe, Takahiro Muraoka, Naofumi Shimokawa, Masahiro Takagi	4. 巻 209
2. 論文標題 Localization of transmembrane multiblock amphiphilic molecules in phase-separated vesicles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Faraday Discussions	6. 最初と最後の頁 315 ~ 328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8FD00022K	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 Shoko Ichikawa, Naofumi Shimokawa, Masahiro Takagi, Yukiya Kitayama, Toshifumi Takeuchi	4. 巻 54
2. 論文標題 Size-dependent uptake of electrically neutral amphipathic polymeric nanoparticles by cell-sized liposomes and an insight into their internalization mechanism in living cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 4557 ~ 4560
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CC00977E	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 Huong T. T. Phan, Naofumi Shimokawa, Neha Sharma, Masahiro Takagi, Mun'delanji C. Vestergaard	4. 巻 14
2. 論文標題 Strikingly different effects of cholesterol and 7-ketocholesterol on lipid bilayer-mediated aggregation of amyloid beta (1-42)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biochemistry and Biophysics Reports	6. 最初と最後の頁 98 ~ 103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrep.2018.04.007	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 Hishida Mafumi, Shimokawa Naofumi, Okubo Yuki, Taguchi Shun, Yamamura Yasuhisa, Saito Kazuya	4. 巻 36
2. 論文標題 Phase Transition from the Interdigitated to Bilayer Membrane of a Cationic Surfactant Induced by Addition of Hydrophobic Molecules	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 14699 ~ 14709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c02609	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81件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 下川 直史
2. 発表標題 粗視化分子動力学シミュレーションによる荷電脂質膜ベシクルのダイナミクス
3. 学会等名 物性研究所パソコン共同利用・CCMS合同研究会「計算物質科学の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下川 直史, 菱田 真史
2. 発表標題 静電相互作用と表面エネルギーの競合によるイオン性界面活性剤/疎水性分子系での指組膜-二重膜相転移
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 郭 ジンウ, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 pH変化による荷電脂質膜の張力誘起相分離
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中谷 祐将, 下川 直史, 浦野 泰臣, 野口 範子, 高木 昌宏
2. 発表標題 ビタミンE疎水部構造の違いと膜相分離
3. 学会等名 日本化学会 第13回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笠 勇之介, 下川 直史, 高木 昌宏, 村岡 貴博
2. 発表標題 単結合ねじれ運動を利用したベシクル膜変形
3. 学会等名 日本化学会 第13回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤根 志帆, 佐々木 陽介, 下川 直史, 辻野 義雄, 高木 昌宏
2. 発表標題 細胞模倣膜ダイナミクス解析に基づく界面活性剤の分子構造と刺激性の相関性
3. 学会等名 日本化学会 第13回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 郭 ジンウ, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 pH変化による二成分生体模倣膜での相分離形成
3. 学会等名 2019年生物工学若手研究者の集い(若手会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤根 志帆, 佐々木 陽介, 下川 直史, 辻野 義雄, 高木 昌宏
2. 発表標題 界面活性剤の分子構造に基づいた細胞模倣膜ダイナミクス解析と刺激性評価
3. 学会等名 2019年生物工学若手研究者の集い(若手会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中谷 祐将, 下川 直史, 浦野 泰臣, 野口 範子, 高木 昌宏
2. 発表標題 ビタミンEの疎水性と膜相互作用
3. 学会等名 2019年生物工学若手研究者の集い(若手会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤根 志帆, 佐々木 陽介, 下川 直史, 辻野 義雄, 高木 昌宏
2. 発表標題 細胞模倣膜を用いた界面活性剤刺激性評価に関する研究
3. 学会等名 第71回日本生物工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中谷 祐将, 下川 直史, 浦野 泰臣, 野口 範子, 高木 昌宏
2. 発表標題 ビタミンE疎水部構造の違いと膜相分離
3. 学会等名 第71回日本生物工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永田 佳嗣, 引地 啓太, 秀瀬 涼太, 藤原 伸介, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 カチオンの構造に依存した負電荷脂質膜の相分離
3. 学会等名 第71回日本生物工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木 昌宏, 三宅 深雪, 栗岡 昌利, 辻野 義雄, 下川 直史
2. 発表標題 ビタミンナノエマルションの角膜細胞浸透性を利用した新規点眼薬の開発
3. 学会等名 第71回日本生物工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masatoshi Kurioka, Miyuki Miyake, Naofumi Shimokawa, Yoshio Tsujino, Masahiro Takagi
2. 発表標題 Membrane Permeation and Efficacy of Vitamin Nanoemulsions
3. 学会等名 AAPS 2019 PharmSci 360 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中谷 祐将, 浦野 泰臣, 野口 範子, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 ビタミンE疎水部構造の違いと膜相分離
3. 学会等名 2019年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤根 志帆, 佐々木 陽介, 下川 直史, 辻野 義雄, 高木 昌宏
2. 発表標題 細胞模倣膜ダイナミクス解析に基づく界面活性剤の分子構造と刺激性の相関性
3. 学会等名 2019年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永田 佳嗣, 引地 啓太, 秀瀬 涼太, 藤原 伸介, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 負電荷脂質リポソームにカチオンを添加した場合の相分離率変化
3. 学会等名 2019年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Guo Jingyu, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 脂質電離状態に依存した生体模倣膜での相分離構造形成
3. 学会等名 2019年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nichaporn Wongsirojkul, Naofumi Shimokawa, Pakorn Opaprakasit, Masahiro Takagi, Tsutomu Hamada
2. 発表標題 OSMOTIC TENSION-INDUCED MEMBRANE LATERAL ORGANIZATION
3. 学会等名 JSN2019 Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naofumi Shimokawa
2. 発表標題 Modulated phase and line tension reduction in charged lipid membranes
3. 学会等名 Bilateral project between Slovenia and Japan: Interaction between charged particles and lipid membranes (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naofumi Shimokawa
2. 発表標題 Phase separation depending on headgroup ionization in binary charged lipid membranes
3. 学会等名 International Workshop on "Water Mediated Low-Dimensional Coulomb Systems" for Bilateral Joint Research Projects between JAPAN & SLOVENIA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下川 直史, 益田 藍子, 長田 真理子, 高木 昌宏
2. 発表標題 多価荷電脂質膜でのミクロ相分離と線張力低下
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 郭 ジンウ, 伊藤 弘明, 樋口 祐次, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 低張液中の荷電脂質膜ベシクルの相分離
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nichaporn Wongsirojkul, Naofumi Shimokawa, Pakorn Opaprakasit, Masahiro Takagi, Tsutomu Hamada
2. 発表標題 Osmotic pressure-induced phase separation in mixed lipid membranes
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中谷 祐将, 下川 直史, 浦野 泰臣, 野口 範子, 高木 昌宏
2. 発表標題 Stability of phase-separated structures in biomimetic membrane with vitamine E
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤根 志帆, 佐々木 陽介, 下川 直史, 辻野 義雄, 高木 昌宏
2. 発表標題 Evaluation of irritancy induced by surfactants based on Flip-Flop rate and deformation dynamics of biomimetic membranes
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永田 佳嗣, 引地 啓太, 秀瀬 涼太, 藤原 伸介, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 Thermal stability of phase-separated domains in negatively charged lipid membrane by addition of salt
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下川 直史
2. 発表標題 界面活性剤による脂質二重膜ベシクルの変形ダイナミクス：刺激性と薬剤送達
3. 学会等名 第21回ナノテク高機能テキスタイル基盤技術研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naofumi Shimokawa, Rieko Mukai, Mariko Nagata, Masahiro Takagi
2. 発表標題 Formation of modulated phase and domain rigidification in fatty acids-containing lipid membranes
3. 学会等名 The 79th Okazaki Conference: Synthetic, Biological, and Hybrid Molecular Engines (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下川 直史, 長田 真理子, 矢野 祥子, 向井 梨恵子, 高木 昌宏
2. 発表標題 脂質二重膜における添加した飽和脂肪酸の鎖長に依存した相分離構造
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 郭 ジンウ, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 脂質電離状態に依存した二成分荷電脂質膜の相分離
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 引地 啓太, 山本 耀悟, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 負電荷脂質膜の相分離における添加カチオンの価数・構造依存性
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 樋口 祐次, 伊藤 弘明, 下川 直史, 野口 博司
2. 発表標題 粗視化分子動力学法による両親媒性ブロックポリマーの構造形成
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 郭 ジンウ, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 ホスファチジルセリンを含む生体模倣膜でのpH変化によるドメイン形成
3. 学会等名 日本化学会 第12回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木 陽介, 辻野 義雄, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 生体模倣膜と低刺激性界面活性剤の相互作用
3. 学会等名 日本化学会 第12回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木 陽介, 辻野 義雄, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 Analysis of mechanism of action on biomimetic membrane by low irritant surfactants
3. 学会等名 第70回日本生物工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 祐菜, 辻野 義雄, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 ストレス状態モデル膜と低刺激性界面活性剤の相互作用
3. 学会等名 第70回日本生物工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 引地 啓太, 山本 耀悟, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 ポリアミンによる荷電脂質膜の相分離
3. 学会等名 第70回日本生物工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naofumi Shimokawa
2. 発表標題 Phase separation in charged lipid membrane dominated by electrostatic interaction
3. 学会等名 Bilateral project between Slovenia and Japan: Interaction between charged particles and lipid membranes (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅野 圭亮, 志水 誠, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 コレステロール酸化と生体模倣膜のドメイン熱安定性
3. 学会等名 平成30年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 郭 ジンウ, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 ホスファチジルセリン電離状態に依存した二成分荷電脂質膜のドメイン形成
3. 学会等名 平成30年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木 陽介, 辻野 義雄, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 分子構造が似た界面活性剤が引き起こす生体模倣膜の変形ダイナミクス
3. 学会等名 平成30年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 祐菜, 辻野 義雄, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 紫外線ストレス状態モデル膜と低刺激性界面活性剤の相互作用
3. 学会等名 平成30年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜村 鷹, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 ラフトモデル膜と酸化コレステロールの相互作用
3. 学会等名 平成30年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 引地 啓太, 山本 耀悟, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 負電荷脂質膜の相分離における添加カチオンの価数・構造依存性
3. 学会等名 平成30年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下川 直史
2. 発表標題 脂肪酸を含む脂質二重膜での相分離ドメインの硬化とミクロ相分離
3. 学会等名 第8回ソフトマター研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 弘明, 樋口 祐次, 下川 直史
2. 発表標題 荷電脂質膜ベシクルの相分離と形態変化の粗視化動力学シミュレーション
3. 学会等名 第8回ソフトマター研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naofumi Shimokawa, Keita Hikichi, Jingyu Guo, Masahiro Takagi
2. 発表標題 Phase separation in charged lipid membranes under isothermal conditions: multivalent cation and membrane tension
3. 学会等名 Soft Matter Physics: from the perspective of the essential heterogeneity (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Ito, Yuji Higuchi, Naofumi Shimokawa
2. 発表標題 Coarse-grained molecular dynamics simulation of phase separation and morphological dynamics of a charged lipid vesicle
3. 学会等名 Soft Matter Physics: from the perspective of the essential heterogeneity (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 郭 ジンウ, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 荷電脂質膜の張力誘起相分離と脂質電離状態
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 引地 啓太, 山本 耀悟, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 カチオンの構造に依存した負電荷脂質膜の相分離
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下川 直史, 益田 藍子, 高木 昌宏
2. 発表標題 荷電脂質膜の相分離ドメイン界面張力
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 弘明, 樋口 祐次, 下川 直史
2. 発表標題 DC電場に誘起される荷電脂質ベシクルの相分離と細孔形成
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木 陽介, 辻野 義雄, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 生体模倣膜ダイナミクスにおける界面活性剤の親水性・疎水性バランスの影響
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永田 佳嗣, 引地 啓太, 秀瀬 涼太, 藤原 伸介, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 カチオン添加による負電荷脂質膜相分離構造の安定性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下川 直史
2. 発表標題 Coarse-grained molecular dynamics simulation of binary charged lipid membranes: Phase separation and morphological dynamics
3. 学会等名 新学術領域研究「分子ロボティクス」最終公開シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 栗岡 昌利, 三宅 深雪, 田淵 照人, 下川 直史, 辻野 義雄, 高木 昌宏, 戸堀 悦雄, 近 亮
2. 発表標題 ビタミンAと界面活性剤の角膜上皮障害に対する有効性と細胞透過性
3. 学会等名 第33回日本DDS学会学術集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三宅 深雪, 柿澤 恭史, 戸堀 悦雄, 下川 直史, 辻野 義雄, 高木 昌宏
2. 発表標題 ビタミンナノエマルションのGUVに対する相互作用
3. 学会等名 第56回日本油化学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥田 卓馬, 三宅 深雪, 戸堀 悦雄, 栗岡 昌利, 田淵 照人, 近 亮, 下川 直史, 辻野 義雄, 高木 昌宏
2. 発表標題 ビタミンナノエマルションの細胞膜透過性
3. 学会等名 第56回日本油化学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 市川 晶子, 下川 直史, 高木 昌宏, 北山 雄己哉, 竹内 俊文
2. 発表標題 細胞サイズリポソームおよび生細胞を用いた親水性ナノゲルのサイズ依存的取り込み挙動解析
3. 学会等名 第11回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅原 恒, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 局所麻酔薬を含む多成分リポソーム膜相分離構造の熱安定性
3. 学会等名 第11回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本 耀悟, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 二価塩の添加による荷電脂質膜でのドメイン形成
3. 学会等名 第11回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 志水 誠, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 酸化コレステロールによる生体模倣膜でのドメイン形成
3. 学会等名 第11回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高木 昌宏, 下川 直史
2. 発表標題 2次元・3次元膜ダイナミクスの再構成と細胞信号伝達
3. 学会等名 第69回日本生物工学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本 耀悟, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 二価カチオンが誘起する負電荷脂質膜での相分離
3. 学会等名 第69回日本生物工学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 志水 誠, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 酸化コレステロール存在下における生体模倣膜での相分離ドメイン形成
3. 学会等名 第69回日本生物工学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 下川 直史, 伊藤 弘明, 樋口 祐次
2. 発表標題 静電相互作用が支配するコロイドの膜透過シミュレーション
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 下川 直史
2. 発表標題 はじめに
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naofumi Shimokawa
2. 発表標題 Phase separation and morphological change of charged lipid membranes
3. 学会等名 The 11th Mini-Symposium on Liquids "MSL2017" (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本 耀悟, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 二価カチオンと負電荷脂質との相互作用により形成されるドメイン構造
3. 学会等名 平成29年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 志水 誠, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 酸化コレステロールを含む脂質二重膜での相分離
3. 学会等名 平成29年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本 耀悟, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 ポリアミンの添加による負電荷脂質膜での相分離
3. 学会等名 日本ポリアミン学会 第9回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下川 直史
2. 発表標題 生体模倣膜を用いた界面活性剤刺激性評価法
3. 学会等名 日本繊維機械学会スマートテキスタイル研究会コスメ勉強会講演会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 市川 晶子, 下川 直史, 高木 昌宏, 北山 雄己哉, 竹内 俊文
2. 発表標題 細胞サイズリポソームおよび生細胞を用いた親水性ナノ粒子取り込み挙動解析
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yogo Yamamoto, Keita Hikichi, Naofumi Shimokawa, Masahiro Takagi
2. 発表標題 Domain formation by interaction between divalent salt and negatively charged lipid
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yousuke Sasaki, Yoshio Tsujino, Naofumi Shimokawa, Masahiro Takagi
2. 発表標題 Interaction between biomimetic membranes and low irritating surfactants
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Shimizu, Keisuke Asano, Taka Hamamura, Naofumi Shimokawa, Masahiro Takagi
2. 発表標題 Thermo stability of oxidized cholesterol containing phase-separated domain
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuna Takahashi, Yoshio Tsujino, Naofumi Shimokawa, Masahiro Takagi
2. 発表標題 Deformation dynamics of stressed model biomembranes by low irritating surfactants
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下川 直史, 益田 藍子, 長田 真理子, 東海林 美沙恵, 向井 梨恵子, 高木 昌宏
2. 発表標題 飽和脂肪酸を含む混合脂質膜での相分離
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 郭 ジンウ, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 ホスファチジルセリン電離状態に依存した相分離構造
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 引地 啓太, 山本 耀悟, 下川 直史, 高木 昌宏
2. 発表標題 ポリアミンによる荷電脂質膜の相分離
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

JAIST 高木研究室  
<http://www.jaist.ac.jp/ms/labs/takagi/index>  
Naofumi Shimokawa Homepage  
<https://sites.google.com/site/naofumishimokawa/>

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			
タイ	Thammasat University			
スロベニア	University of Ljubljana			