

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01891

研究課題名（和文）多成分脂質ベシクルの変形とリピッドソーティング

研究課題名（英文）Deformation of multicomponent lipid vesicles and lipid sorting

研究代表者

瀧上 隆智（Takiue, Takanori）

九州大学・基幹教育院・教授

研究者番号：40271100

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では多成分脂質ベシクルを対象に、リピッドソーティングが誘起する膜の不均一性とベシクル変形挙動との因果関係を明らかにすることを目的とした。ベシクル二分子膜での液体秩序（Lo）/液体無秩序（Ld）相が共存する不均一な膜状態を対象に、ベシクルの形態変化を、膜内での分子分布の変化の観点から考察した。

臨界充填パラメーター（cpp）が1より小さな脂質の添加は、Lo/Ld相分離や出芽形成の誘起を促進した。一方、cppが1以下の逆コーン型脂質を添加は、ベシクル同士の接着・融合やネックレス状の形態変化を誘起した。これらは脂質分子の二分子膜内における偏った分布と膜曲率のカップリングが要因となっている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた研究成果は、生命機能に深く関与する生体膜の変形挙動を脂質分子の幾何学的形状との関連から明らかにし、生体膜での物質透過・輸送のメカニズムと膜の微細構造との相関の解明という生物科学分野での主要命題の解決にも波及する。さらにベシクルの形態を緻密に制御可能となり、医療・食品・化粧品等の分野で実用化されている材料の高度化・高機能化が進むとともに、不均一な膜構造と膜曲率を利用した機能性タンパク質やペプチドの結合・集積による人工チャネルの構築や自己再生産機能を有する人工細胞の創製へと展開が可能となる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to clarify the relationship between lipid sorting induced lipid bilayer heterogeneity and vesicle deformation behavior for multicomponent lipid vesicles. The morphological changes of vesicles are discussed in terms of changes in the molecular distribution within the bilayer for the heterogeneous state in which the liquid ordered (Lo)/liquid disordered (Ld) phase coexists. Addition of lipids with critical packing parameters (cpp) smaller than 1 promoted Lo/Ld phase separation and induced budding formation. On the other hand, addition of inverted cone lipids with cpp less than 1 induced adhesion and fusion between vesicles and necklace-like morphological changes. These were attributed to the unbalanced distribution of lipid molecules in the bilayer and coupling of membrane curvature.

研究分野：界面物理化学

キーワード：リピッドソーティング 脂質ベシクル 線張力 膜曲率 臨界充填パラメーター ベシクル変形・崩壊

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

生体膜は脂質やタンパク質等から構成される二分子膜構造をなしており、エンドサイトーシスの様にその形状を変化させることで物質透過・輸送、分子認識、シグナル伝達など生命機能を維持するための重要な役割を果たしている。この変形挙動の素過程は単純なモデル脂質膜で再現できることが明らかになりつつある。例えば、単一の脂質成分からなるベシクル(二分子膜)の変形に関しては、二分子膜の曲げに対するストレスを表す曲げ弾性エネルギーと、内膜・外膜の面積の違いに起因した面積差弾性エネルギーとのバランスにより様々な変形形態が説明されている。しかし生体膜は複数種の脂質からなる多成分膜であり、この膜変形には脂質分子間の相互作用、膜内での分子配向・配列や分子分布も深く関与していると考えられる。

生体膜は“ラフト”と呼ばれる局所的に脂質組成や膜構造が異なる不均一な存在であると考えられている。モデル系である飽和脂質/不飽和脂質/コレステロールからなる多成分ベシクルでも脂質組成や温度に依存して液体秩序(L<sub>o</sub>)相と液体無秩序(L<sub>d</sub>)相に相分離したドメイン構造を示す。したがって多成分ベシクルの変形挙動は相分離により膜面内に生じた曲げ弾性の不均一性やL<sub>o</sub>/L<sub>d</sub>ドメイン境界線に生じる境界線エネルギー(線張力)によって大きな影響を受けると考えられる。これらの因子は脂質分子の膜内分布や分子配向、分子間相互作用に依存する。しかし多成分ベシクルでは、その特徴である不均一性が多様な変形を誘起すると考えられるが、変形挙動に関する研究は主に均一膜を対象としており、膜の不均一性の出現と膜曲率の変化とを結びつけた観点からベシクルの変形挙動を解析する研究例は非常に少ない。

### 2. 研究の目的

二分子膜のドメイン構造は脂質組成、分子配向、膜の曲げ弾性、曲率、境界線エネルギー(線張力)などの物理量によって特徴づけられるが、「ベシクルの変形挙動を制御する因子が何であるのか?」については未だ明確に答えられていない。本研究では二分子膜の不均一性は変形挙動のトリガーとなるのか?もしそうであれば不均一性を特徴づけるとの様な因子(物理量)が膜変形を規定するのか?という根本的な問いの解決を目指し、ベシクルの変形挙動(形態やダイナミクス)を膜の不均一性とリピッドソーティングを結びつけた観点から解析し、変形挙動を制御する物理的因子の役割解明を目指した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 線張力の定量

L<sub>o</sub>/L<sub>d</sub>共存状態にある多成分脂質ベシクルを蛍光顕微鏡(FM)により実時間観察し、L<sub>o</sub>(あるいはL<sub>d</sub>)ドメインの輪郭揺らぎのフーリエ解析から線張力を求めた。添加する脂質分子の臨界充填パラメーター(cpp)に依存した変形モードと境界線エネルギーとの相関を検討した。

#### (2) FRET 測定

L<sub>o</sub>/L<sub>d</sub>共存状態の多成分脂質ベシクルに、cppや疎水鎖構造の異なる脂質を添加した際のFRET蛍光を、添加脂質の濃度の関数として測定した。

#### (3) 小角・広角X線散乱(SAXS・WAXS)測定

脂質二分子膜の縦方向および二分子膜内における分子配列を評価するために、シンクロトロンX線を利用したSAXS・WAXS計測を立ち上げた。SAXSデータからは二分子膜縦方向の電子密度プロファイルを、WAXSデータからは膜内分子配置(格子定数)を得た。

### 4. 研究成果

#### (1) ベシクルの変形に及ぼす脂質分子形状の効果

cppが1より小さな一本鎖脂質であるLysoPC(LysoC16PC)および短鎖の二本鎖PC(DC6PC)を添加したベシクルの変形挙動解析を行った。その結果、LysoC16PC系ではLysoPCの液体秩序(L<sub>o</sub>)および液体無秩序(L<sub>d</sub>)両相への分配により、L<sub>o</sub>相の膜厚が減少し、L<sub>d</sub>相の厚みは増加することで両相間の線張力が低下すること、およびこの効果により出芽形成よりも膜の相分離構造を促進することが判明した。さらに、DC6PC系では曲率の大きな構造が二分子膜内に誘起され、DC6PCのモル分率が低い(5 mol%以下)領域では孔形成が、比較的高い領域では出芽形成(inner budding)が誘起され、DC6PCの二分子膜内での偏った分布が大きな正の曲率を有する形態変化を誘起することなどを見出した。

一方、cppが1以下の逆コーン型の形状を有するDPPEを添加したベシクルの変形挙動解析を行った。その結果、ベシクル同士の接着・融合やネックレス場に連なった形態への変化が誘起され、stalk(ストーク)構造の形成により、DPPE分子の二分子膜内における負曲率を有する部分に偏った分布が上記の大きな形態変化を生み出すことなどを見出した。

## ( 2 ) ベシクルの変形・崩壊に及ぼす両親媒性ペプチドの効果

両親媒性ペプチドであるアラメチシンを中性脂質からなる DPPC/DOPC/Cholesterol 3 成分ベシクルに添加した系ではベシクルサイズの増大と伸長が確認された。一方、細菌の膜内に多く発現し、負電荷を有する酸性脂質 (PG) を含む DPPC/DOPG/Cholesterol ベシクルでは、ベシクルの崩壊と小サイズのベシクルの再構成が引き起こされ、ベシクル表面の荷電状態がアラメチシンとの相互作用や膜内での配向状態に大きな影響を及ぼすことが見出された。さらに、がん細胞などに特異的に発現するホスファチジルセリン (PS) を有する DPPC/DOPS/Cholesterol からなるベシクルに添加した系でも、ベシクルの崩壊 (破裂) と小サイズ (1 ミクロン以下) のベシクルの再構成が引き起こされ、ベシクル表面の負荷電の存在がアラメチシンとの強い静電相互作用を生じ、二分子膜が不安定化すると結論付けられた。これらの結果は、抗菌性等のメカニズム解明および効果的な薬剤開発に向けた基礎的知見となり得る。

## ( 3 ) ベシクルの崩壊に及ぼす界面活性剤の効果

DPPC/DOPC/Cholesterol 3 成分ベシクルに陽イオン界面活性剤である臭化ドデシルトリメチルアンモニウム (C12TAB) を添加すると、C12TAB の臨界ミセル濃度 (CMC) 以上の濃度においてベシクルの崩壊および数 nm のサイズを有する小会合体への変化が確認された。Cryo-TEM による形態観察から、小会合体はバイセル (二分子膜の両端が閉じた円盤状会合体) の可能性が示唆された。この形態変化は、cpp が 1/3 に近いコーン型の C12TAB の添加が、平坦な二分子膜構造を不安定化させ、崩壊した二分子膜の縁をカップリングすることに依るものと考えられる。

さらに皮膚モデルとして採用したセラミド (パルミトイルセラミド : PCer) を含む 3 成分ベシクル系 (PCer/DOPC/Cholesterol および PCer/C16acid/Cholesterol 系) への C12TAB 添加による形態変化を追跡した。PCer/DOPC/Cholesterol 系の Ld 相に 20 mM DTAB を添加するとベシクルの崩壊、及び混合ミセルへの変化を確認した。一方、同系の Lo 相及び PCer/C16acid/Cholesterol 系 (Lo 相) では、崩壊及び混合ミセルの形成は確認されなかった。これらの結果から、CPP の小さな Chol や PCer が多く含まれる Lo 相は、DTAB (CPP $\approx$ 1/3) の外膜への貫入による曲率の変化を分子パッキングによって緩和することでベシクル崩壊を防いでいると考えられる。この結果は、皮膚角層の外部刺激に対するバリア機能のメカニズム解明へと繋がる知見である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Takiue Takanori	4. 巻 62
2. 論文標題 Heterogeneity and deformation behavior of lipid vesicles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Current Opinion in Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 101646 ~ 101646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cocis.2022.101646	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 Hamada Tsutomu, Mizuno Shino, Kitahata Hiroyuki	4. 巻 18
2. 論文標題 Domain dynamics of phase-separated lipid membranes under shear flow	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 9069 ~ 9075
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2sm00825d	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 濱田 勉	4. 巻 47
2. 論文標題 脂質2分子膜の力学応答-浸透圧膨張ストレスと相分離挙動-	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 C&I Commun	6. 最初と最後の頁 20-21
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 Takiue Takanori, Takayose Shunichi, Hotta Tetsuya, Kamikido Nobuyoshi, Saiki Kosuke, Shirai Chikara, Mitsuda Runa, Ina Toshiaki, Nitta Kiyofumi, Tanida Hajime, Uruga Tomoya, Ikeda Norihiro	4. 巻 676
2. 論文標題 Effect of line tension on domain formation of fluorinated compounds at alkane/water interface	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	6. 最初と最後の頁 132318 ~ 132318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfa.2023.132318	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 Takiue Takanori, Aratono Makoto	4. 巻 325
2. 論文標題 Recent progress in application of surface X-ray scattering techniques to soft interfacial films	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advances in Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 103108 ~ 103108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cis.2024.103108	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 Shimokawa Naofumi, Hamada Tsutomu	4. 巻 13
2. 論文標題 Physical Concept to Explain the Regulation of Lipid Membrane Phase Separation under Isothermal Conditions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Life	6. 最初と最後の頁 1105 ~ 1105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/life13051105	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43件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 立岡千恵、堀切奈々、瀧上隆智
2. 発表標題 ドデシルホスホコリンとドデシルスルホベタインの表面吸着膜とミセルにおける相互作用と混和性
3. 学会等名 第59回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山中美佳、瀧上世奈、松島彩夏、瀧上隆智
2. 発表標題 コーン型脂質の混合により誘起される脂質ベシクルの変形挙動
3. 学会等名 第59回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀切奈々、堀田徹耶、瀧上隆智
2. 発表標題 コーン型短鎖リン脂質の表面吸着と会合体形成に及ぼす添加塩の効果
3. 学会等名 第73回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松島 彩夏、上田 友香、瀧上 隆智
2. 発表標題 4成分脂質ベシクルにおけるドメイン形態と線張力
3. 学会等名 第73回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 立岡千恵、堀切奈々、瀧上隆智
2. 発表標題 ドデシルホスホコリンとドデシルスルホベタインの表面吸着膜とミセルにおける分子混和性
3. 学会等名 第73回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山中美佳、瀧上世奈、松島彩夏、瀧上隆智
2. 発表標題 コーン型脂質の混合により誘起される多成分脂質ベシクルの変形挙動
3. 学会等名 第73回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 立岡千恵、堀切奈々、瀧上隆智
2. 発表標題 互いに逆向きの頭部電荷をもつ双性イオン性両親媒性物質混合系の吸着膜及び ミセルでの静電相互作用
3. 学会等名 第36回 九州コロイドコロキウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山中美佳、瀧上世奈、松島彩夏、瀧上隆智
2. 発表標題 コーン型脂質の混合が脂質ベシクルに及ぼす変形効果
3. 学会等名 第36回 九州コロイドコロキウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀切奈々、堀田徹耶、瀧上隆智
2. 発表標題 短鎖リン脂質が形成する吸着膜と会合体に及ぼす添加塩の効果
3. 学会等名 第36回 九州コロイドコロキウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松島 彩夏、上田 友香、瀧上 隆智
2. 発表標題 4 成分脂質混合ベシクルにおけるドメイン形態と線張力
3. 学会等名 第36回 九州コロイドコロキウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takanori Takiue
2. 発表標題 Line Tension and Heterogeneity in Adsorbed Monolayer and Lipid Bilayer
3. 学会等名 17th Conference of the International Association of Colloid and Interface Scientists (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀧上隆智
2. 発表標題 両親媒性ペプチドAlamethicinによる脂質ベシクルの変形・崩壊
3. 学会等名 第3回 非線形相律研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀧上隆智
2. 発表標題 ソフト界面膜の不均一性と形態変化
3. 学会等名 第54回 洗浄に関するシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱田勉、水野志野、北畑裕之
2. 発表標題 せん断流れ場が誘起する脂質ベシクルの相分離パターン
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 松島彩夏、上田友香、神田涼亜、山川あゆみ、今井洋輔、瀧上隆智
2. 発表標題 DSPC/DOPC/Cholesterol 3成分混合ベシクルにおけるドメイン形態と線張力
3. 学会等名 第58回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀切奈々、堀田徹耶、今井洋輔、瀧上隆智
2. 発表標題 短鎖リン脂質混合系における表面吸着と会合体形成に及ぼす添加塩の効果
3. 学会等名 第58回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀧上世奈、神田涼亜、瀧上隆智
2. 発表標題 DPPC/DOPC/Cholesterol系ベシクルと両親媒性ペプチドとの相互作用
3. 学会等名 日本膜学会第43年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松島彩夏、上田友香、今井洋輔、瀧上隆智
2. 発表標題 DSPC/DOPC/Cholesterol 3成分混合ベシクルにおけるドメイン形態と線張力
3. 学会等名 第72回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀切奈々、堀田徹耶、今井洋輔、瀧上隆智
2. 発表標題 短鎖リン脂質混合系における表面吸着と会合体形成に及ぼす添加塩の効果
3. 学会等名 第72回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神 優樹、堀田友香、神田涼亜、今井洋輔、瀧上隆智
2. 発表標題 自発曲率の異なるリン脂質混合ベシクルの形態制御
3. 学会等名 第72回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀧上世奈、神田涼亜、瀧上隆智
2. 発表標題 DPPC/DOPC/cholesterol系ベシクルと両親媒性ペプチドとの相互作用
3. 学会等名 第72回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上田友香、神田涼亜、山川あゆみ、今井洋輔、瀧上隆智
2. 発表標題 スフィンゴミエリンを含むベシクルでの液体様ドメインの形態と線張力
3. 学会等名 第72回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sena Takiue, Ryoa Kanda, Takanori Takiue
2. 発表標題 Interaction of DPPC/DOPC/Cholesterol system vesicle with amphiphilic peptide
3. 学会等名 35th European Colloid & Interface Society Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuka Ueda, Ryoa Kanda, Ayumi Yamakawa, Yosuke Imai, Takanori Takiue
2. 発表標題 Morphology of Fluid Domain and Line Tension in Lipid Vesicle Containing Sphingomyelin
3. 学会等名 35th European Colloid & Interface Society Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takanori Takiue, Ryoa Kanda, Haruna Hayase, Shinya Hiraki, Ayumi Yamakawa
2. 発表標題 Effect of hybrid lipid on line tension and domain morphology of lipid vesicle
3. 学会等名 35th European Colloid & Interface Society Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀧上隆智
2. 発表標題 脂質ベシクルの不均一性と形態変化
3. 学会等名 第1回 非線形相律研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takanori Takiue
2. 発表標題 Heterogeneity of soft interfacial films and line tension
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shun Ota, Takanori Takiue
2. 発表標題 Phase Diagram of Ternary Lipid Vesicle including Ceramide
3. 学会等名 The 7th International Soft Matter Conference ISMC2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takanori Takiue, Ayaka Matsushima, Yuka Hotta, Ryoa Kanda, Saki Otobe, Taku Ogura
2. 発表標題 Line Tension and Domain Morphology in Adsorbed Monolayer and Lipid Bilayer
3. 学会等名 The 7th International Soft Matter Conference ISMC2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 手島優希、瀧上世奈、松島彩夏、瀧上隆智
2. 発表標題 中性および荷電性リン脂質からなるベシクルとアラメチシンの相互作用
3. 学会等名 第60回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 奥迫茉優、堀切奈々、瀧上隆智
2. 発表標題 脂質ベシクルに及ぼすドデシルトリメチルアンモニウムブロミドの効果
3. 学会等名 第60回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 立岡千恵、堀切奈々、瀧上隆智
2. 発表標題 一本鎖リン脂質と双性イオン性界面活性剤混合水溶液の 表面吸着膜とミセルにおける分子混和性
3. 学会等名 第74回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山中美佳、瀧上世奈、松島彩夏、瀧上隆智
2. 発表標題 コーン型脂質により誘起される脂質ベシクルの変形挙動
3. 学会等名 第74回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大田舜、丸山初之助、神田涼亜、瀧上隆智
2. 発表標題 セラミドを含む3成分ベシクル系の相図と膜構造評価
3. 学会等名 第74回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 手島優希、瀧上世奈、松島彩夏、瀧上隆智
2. 発表標題 中性および荷電性リン脂質からなるベシクルとアラメチシンの相互作用
3. 学会等名 第74回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 奥迫茉優、堀切奈々、瀧上隆智
2. 発表標題 脂質ベシクルに及ぼすドデシルトリメチルアンモニウムブロミドの効果
3. 学会等名 第74回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀧上隆智
2. 発表標題 フルオロカーボンを含むソフト界面膜の不均一構造と線張力
3. 学会等名 第74回 コロイドおよび界面化学討論会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀧上隆智
2. 発表標題 多成分脂質ベシクルの不均一性と線張力
3. 学会等名 第72回 高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tsutomu Hamada
2. 発表標題 Membrane phase separation in response to mechanical stimuli
3. 学会等名 The 7th International Soft Matter Conference ISMC2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 濱田勉、水野志野、北畑裕之
2. 発表標題 流動が誘起する多成分脂質ベシクルの非平衡パターン
3. 学会等名 第11回ソフトマター研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 濱田勉
2. 発表標題 人工細胞モデルから探る膜界面の力学応答メカニズム
3. 学会等名 第46回日本分子生物学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 濱田勉、水野志野、北畑裕之
2. 発表標題 ずり流動下で生じる脂質2分子膜界面の非平衡パターン
3. 学会等名 2023年度日本生物物理学会中部支部討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山崎隼佑、福石航大、瀧田勉
2. 発表標題 ベシクル膜の外部刺激応答に対する高分子グラフト効果
3. 学会等名 2023年度日本生物物理学会中部支部討論会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 瀧上隆智	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 10
3. 書名 化学便覧・基礎編 改訂第6版 第8章界面とコロイド	

1. 著者名 瀧上隆智	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 2
3. 書名 高圧力の科学と技術 4. 界面吸着膜とミセル	

〔産業財産権〕

〔その他〕

ソフト界面化学研究室HP <a href="http://www.artsci.kyushu-u.ac.jp/~softinterface/">http://www.artsci.kyushu-u.ac.jp/~softinterface/</a>
---



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	濱田 勉  (Hamada Tsutomu)  (40432140)	北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授    (13302)	

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