

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 1 日現在

機関番号：14603

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2008～2012

課題番号：20108013

研究課題名（和文） 人工細胞膜の自己組織化能を利用する高次集積 π 空間の構築と
ナノデバイス機能研究課題名（英文） Construction of Highly Integrated π -Space on Artificial
Cell Membranes and Its Nano-device Function

研究代表者

菊池 純一（KIKUCHI JUN-ICHI）

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・教授

研究者番号：90153056

研究成果の概要（和文）：本研究では、脂質分子の自己集積によって形成される人工細胞膜に、高次 π 空間を構成する種々の機能性分子素子を三次元的に組織化して、ナノデバイスとしての機能創出を目指した。その結果、リン脂質、ペプチド脂質、セラソーム形成脂質等から形成される二分子膜ベシクル型人工細胞膜を用いることで、物質輸送を行うメンブレントラフィックデバイスや分子情報処理に関わる情報変換デバイス等の機能が発現できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this study, we designed the artificial cell membranes as functional nano-devices. The self-assembled artificial cell membranes were constructed with a combination of lipid molecules, such as phospholipids, peptide lipids and cerasome-forming lipids, and π -conjugated functional molecules. The resulting artificial cell membranes provided the highly elaborated π -spaces, which acted as nano-devices performing membrane trafficking and signal transduction.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2009年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2010年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2011年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2012年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
総計	24,200,000	7,260,000	31,460,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・生体関連化学

キーワード：人工細胞膜・自己組織化・ π 空間・ナノデバイス・セラソーム

1. 研究開始当初の背景

生体系にみられる精緻な構造と高次の機能は、性質の異なる個々の機能分子の自己集積とそれら分子間の組織的な機能連携によってもたらされている。このような高次の分子集積空間の構築には、細胞膜や細胞内小器官をかたちづくる生体膜の存在が大きい。これらの膜構造は脂質分子が形成する二分子膜構造を基本としている。近年、ボトムアッププロセスによるナノデバイスやナノマ

シンに関する研究に興味が高まっているが、そのための分子集積プラットフォームとして、脂質二分子膜が形成する人工細胞膜は魅力的な素材である。我々は、これまでに新規の人工細胞膜として、脂質とタンパク質の構造と機能を融合させたペプチド脂質や、有機-無機複合体の概念を取り入れて設計した高強度の人工細胞膜「セラソーム」などを開発し、これらがボトムアップ型のナノデバイス作製に有効であることを明らかにしてきた。

2. 研究の目的

本研究では、脂質分子の自己集積によって形成される人工細胞膜に、高次 π 空間を構成する種々の機能性分子素子を三次元的に組織化して、ナノデバイスとしての機能創出を目的とした(図1)。具体的には、リン脂質、ペプチド脂質、セラソーム形成脂質等を用いて二分子膜ベシクル型の人工細胞膜を作製し、これらの人工細胞膜に π 電子系分子素子を組織化することで、物質輸送を行うメンブレントラフィックデバイスや分子情報処理に関わる情報変換デバイス等の機能発現を目指した。

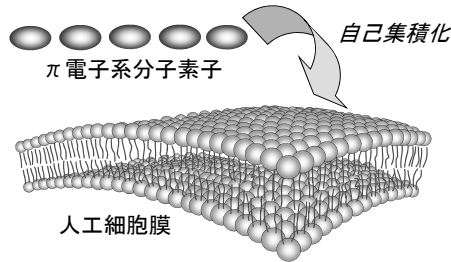


図1. π 電子系分子素子の人工細胞膜への自己集積化によるナノデバイス機能発現

3. 研究の方法

人工細胞膜は、主に以下の脂質から作製した(図2)。脂質1は、生体膜を構成している代表的なリン脂質の一つであり、この脂質を水に分散して脂質二分子膜型小胞体、いわゆるリポソームを得た。人工脂質2及び3は、親水性頭部と疎水性鎖の間に水素結合帯形成部位が導入されており、リポソームの会合安定性の向上を意図して設計した。脂質4は、水素結合帯形成部位に加えて、膜表面にシリカセラミックス様の無機超薄膜構造を形成できるように設計した脂質であり、その二分子膜小胞体はセラソームと名づけた。セラソームは、生体膜の性質を維持したままで飛躍的な会合安定性を示すという特徴をもつ。これらの脂質二分子膜に、様々な π 電子系分子素子を自己集積化することで人工細胞膜を構成し、その構造と機能を種々の物理化学的測定手法を用いて評価した。

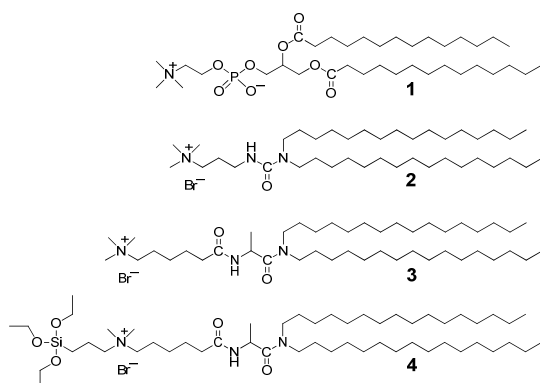


図2. 人工細胞膜を形成する脂質分子

4. 研究成果

(1) 人工細胞膜による π 集積空間の構築

π 電子系分子素子を集積した機能性人工細胞膜の例を以下に示す。例えば、脂質1から形成されるリポソームには、 π 電子系素子であるフラーレンを集積化することができ、光線力学治療などへの応用を目指したメディカルナノデバイスとして機能発現が可能になった。また、脂質4から形成されるセラソームは、細胞毒性が低く、様々な薬物や遺伝子のキャリアーとして利用できることがわかった。一方、セラソームに π 電子系をもつ機能性分子素子を集積することで、高いエネルギー移動効率が達成され、また分子カプセル能に光応答性を付与することもできることを明らかにした。

(2) メンブレントラフィックデバイス

細胞系には、重要な生体分子は脂質分子が形成する膜小胞体に包まれて目的の組織に輸送されるメンブレントラフィックシステムが存在している。このような生体系の物質輸送システムは、単なる物質輸送にとどまらず、分子の情報を選択的に伝搬して処理する細胞の情報伝達系とも密接に関連している魅力的な化学システムである。

メンブレントラフィックには、ドナー側の膜から出芽・分裂による輸送小胞の分離、輸送小胞のドナー側からアクセプター側の膜への伝搬、アクセプター側の膜への輸送小胞の融合という3つの膜の動的過程が含まれる。この最初のプロセスである膜の出芽・分裂は、 π 電子系分子素子の膜表面への集積化を引き金にして人工的に再現することが可能になった。すなわち、図3に示す π 電子系分子5は、リン脂質1とカチオン性脂質2から形成される混合二分子膜小胞体の膜表面に、静電的多点相互作用によって自己集積化された。この集積化にともない、膜の相分離状態が大きく変化して π 電子系分子とカチオン性脂質のイオンクラスターからなる脂質ドメインが出現した。このとき、 π 電子系分子は水酸基がプロトン解離したテトラアニオン種として、カチオン性脂質の頭部に相

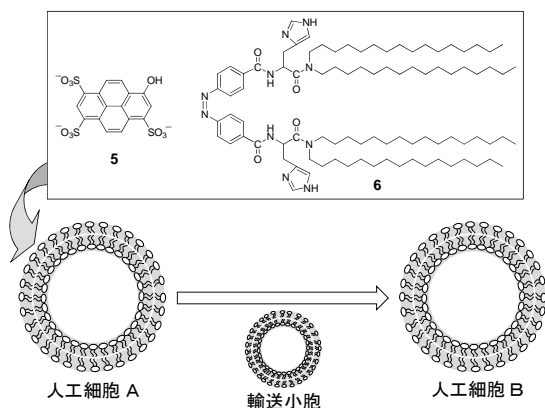


図3. メンブレントラフィックデバイス

相互作用することが明らかになった。さらに、このような相互作用は脂質頭部の脱水和を促進して脂質分子の充填形態が変化すると推察された。その結果、イオンクラスター形成ドメインからの出芽と引き続く膜分裂現象が観測された。

一方、光応答性のアゾベンゼン基と金属イオン認識部位としてのイミダズリル基の2つの π 電子系分子ユニットを導入したジェミニペプチド脂質**6**を用いると、輸送小胞の伝搬を制御できることがわかった。すなわち、このジェミニペプチド脂質はリン脂質**1**が形成する膜小胞に非共有結合的に固定化できるが、紫外光あるいは可視光の照射によって光応答性部位が可逆的なシス/トランス異性化を起こして分子のコンホメーションが大きく変化した。また、その異性化にともない亜鉛(II)イオンなどの遷移金属イオンに対する認識能も劇的に変化した。その結果、膜小胞の集散を光シグナルと金属イオンという化学シグナルの両者を用いて可逆的に制御することが可能になった。この場合、ジェミニペプチド脂質と金属イオンが2:1の化学量論で複合体を形成し、これが膜小胞同士との結合に関与している。さらに、ジェミニペプチド脂質**6**とカルシウムイオンに認識能を示す別のジェミニペプチド脂質を併せて用いることで、亜鉛イオンとカルシウムイオンという2つの化学シグナルと光シグナルの組み合わせで、ドナー側の人工細胞からアクセプター側の人工細胞へ輸送小胞を論理的かつ選択的に伝搬させることも可能になった。このような輸送小胞の選択的伝搬は、ジェミニペプチド脂質の代わりに、核酸塩基間の相補的相互作用が可能なオリゴヌクレオチド脂質を用いても達成されたが、この場合にも分子認識に及ぼす π 空間の関与が重要であることが明らかになった。

(3) 分子情報変換デバイス

細胞の情報伝達系には、外界からのシグナルを認識してその応答を酵素などの効果器に伝える受容体が存在する。ここでは、細胞膜に存在する膜受容体の機能に着目して、人工細胞膜上で受容体から酵素への分子情報変換を π 電子系分子素子によって制御できる系を開発した。図4には、人工細胞膜を用いて構成可能な分子情報変換系の模式図を示している。まず、細胞膜に固定化されている受容体が分子シグナルを認識する。その応答は、メディエーターを介して膜上の酵素に伝わる。酵素は、基質の分子情報を生成物に変換できる増幅器とみなすことができるが、この酵素活性は受容体を受けるシグナルによってリモートコントロールされるという仕組みである。この分子情報変換デバイスは、生体系の情報伝達で数多くみられるGタンパク質介在型のシグナル伝達系に

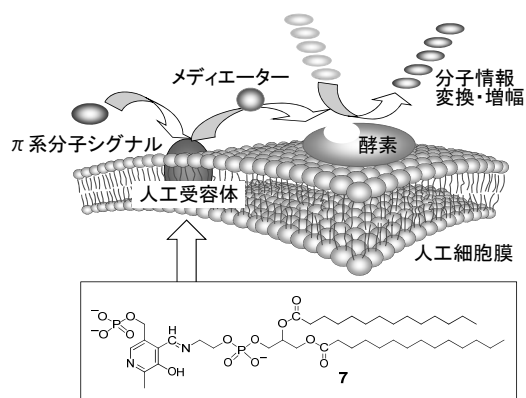


図4. 分子情報変換デバイス

も類似している。

例えば、リン脂質**1**とペプチド脂質**3**を混合して形成される二分子膜小胞体には、NADH依存性の酸化還元酵素である乳酸脱水素酵素が、主に静電的多点相互作用によって水中の活性を維持したままで固定化できた。この膜に、リン脂質の一つであるホスファチジルエタノールアミンを人工受容体として固定化して、メディエーターに銅(II)イオンを用いることで分子情報変換デバイスを構成した。この人工細胞では、受容体が π 電子系シグナル分子であるピリドキサル5'-リン酸を選択的に認識して結合し、複合体**7**を形成する。この複合体では π 系が拡張されており、メディエーターの認識能が大きく向上する。その結果、酵素に結合して触媒活性を止めていたメディエーターは酵素から受容体側に移動して結合することで、酵素活性がオン状態になり分子情報の変換・増幅が進行した。

人工受容体の構造を変化させることで、図4に示す分子情報変換デバイスは様々な異なるシグナルを認識して応答することも明らかになった。例えば、上述のジェミニペプチド脂質**6**を人工受容体に用いると、光シグナルに応答する分子情報変換デバイスが構築できた。また、オリゴヌクレオチド脂質を人工受容体に用いると核酸シグナル応答性が発現し、一方、疎水性ビタミンB₆誘導体を人工受容体に用いると π 電子系をもつ生理活性アミンシグナルに応答する系が構築できたが、その結果として酵素による分子情報の変換・制御が達成された。

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24件)

- ① C. Komeda, A. Ikeda, J. Kikuchi, N. Ishida-Kitagawa, H. Tatebe, K. Shiozaki, M. Akiyama, A Photo-triggerable Drug Carrier

- Based on Cleavage of PEG lipids by Photosensitizer-generated Reactive Singlet Oxygen, *Org. Biomol. Chem.*, 査読有, Vol.11, No. 16, 2013, pp.2567-2570.
DOI: org/10.1039/c2ob27199k
- ② K. Tahara, K. Mikuriya, T. Masuko, J. Kikuchi, Y. Hisaeda, Dechlorination of DDT Catalyzed by Visible-Light-Driven System Composed of Vitamin B₁₂ Derivative and Rhodamine B, *J. Porphyr. Phthalocya.*, 査読有, Vol.17, No.1-2, 2013, pp.135-141.
DOI:10.1142/S1088424612501398
- ③ M. Mukai, Y. Sasaki, J. Kikuchi, Fusion-Triggered Switching of Enzymatic Activity on Artificial Cell Membrane, *Sensors*, 査読有, Vol.12, No.5, 2012, pp.5966-5977.
DOI: 10.3390/s120505966
- ④ M. Mukai, K. Maruo, Y. Sasaki, J. Kikuchi, Intermolecular Communication on a Liposomal Membrane. Enzymatic Amplification of a Photonic Signal with Gemini Peptide Lipid as a Membrane-bound Artificial Receptor, *Chem. Eur. J.*, 査読有, Vol.18, No.11, 2012, pp.3258-3263.
DOI: 10.1002/chem.201103552
- ⑤ Ikeda, M. Mori, K. Kiguchi, K. Yasuhara, J. Kikuchi, K. Nobusawa, M. Akiyama, M. Hashizume, T. Ogawa, T. Takeya, Advantages and Potential of Lipid-Membrane- Incorporating Fullerenes Prepared by the Fullerene-Exchange Method, *Chem. Asian J.*, 査読有, Vol.7, No.3, 2012, pp.605-613.
DOI:10.1002/asia.201100792
- ⑥ Y. Ma, Z. Dai, Y. Gao, Z. Cao, Z. Zha, X. Yue, J. Kikuchi, Liposomal Architecture Boosts Biocompatibility of Nanohybrid Cerasomes, *Nanotoxicology*, 査読有, Vol.5, No.4,2011,pp.622-635.
DOI:10.3109/17435390.2010.546950
- ⑦ A. Ikeda, K. Kiguchi, T. Shigematsu, K. Nobusawa, J. Kikuchi, M. Akiyama, Location of [60]Fullerene Incorporation in Lipid Membranes, *Chem. Commun.*, 査読有, Vol.47, No.44, 2011, pp.12095-12097.
DOI:10.1039/c1cc14650e
- ⑧ T. Kawataki, K. Yasuhara, J. Kikuchi, Remarkable Long-Term Stability of Cerasome as an Organic-Inorganic Hybrid Nano-Container for Water-Soluble Macromolecules, *Chem. Lett.*, 査読有, Vol.40, No.5, 2011, pp.461-463.
DOI: 10.1246/cl.2011.461
- ⑨ X. Liang, X. Yue, Z. Dai, J. Kikuchi, Photoresponsive Liposomal Nanohybrid Cerasomes, *Chem. Commun*, 査読有, Vol.47, No.16, 2011, pp.4751-4753.
DOI: 10.1039/c1cc00063b
- ⑩ K. Yasuhara, Z. Wang, T. Ishikawa, J. Kikuchi, Y. Sasaki, S. Hiyama, Y. Moritani, T. Suda, Specific Delivery of Transport Vesicles Mediated by Complementary Recognition of DNA Signals with Membrane-bound Oligonucleotide Lipids, *Supramol. Chem.*, 査読有, Vol.23, No.3-4, 2011, pp.218-225.
DOI:10.1080/10610278.2010.521835
- ⑪ A. Ikeda, Y. Kawai, J. Kikuchi, M. Akiyama, E. Nakata, Y. Uto, H. Hori, Formation and Regulation of Fullerene-incorporation in Liposomes under the Phase Transition Temperature, *Org. Biomol. Chem.*, 査読有, Vol.9, No. 8, 2011, pp.2622-2627.
DOI: 10.1039/c0ob01030h
- ⑫ Y. Sasaki, M. Mukai, A. Kawasaki, K. Yasuhara, J. Kikuchi, Switching of the Enzymatic Activity Synchronized with Signal Recognition by an Artificial DNA Receptor on a Liposomal Membrane, *Org. Biomol. Chem.*, 査読有, Vol.9, No.7, 2011, pp.2397-2402.
DOI: 10.1039/c0ob00918k
- ⑬ K. Yasuhara, S. Miki, H. Nakazono, A. Ohta, J. Kikuchi, Synthesis of Organic-Inorganic Hybrid Bicelles – Lipid Bilayer Nanodiscs Encompassed by Siloxane Surfaces, *Chem. Commun.*, 査読有, Vol.47, No.16, 2011, pp.4691-4692.
DOI: 10.1039/c1cc10254k
- ⑭ K. Nobusawa, A. Ikeda, J. Kikuchi, Self-Assembly Control of Water-Solubilised Single-Walled Carbon Nanotubes by Combination of Reduction and Ligand Exchange Reactions of Transition Metal Complexes, *Supramol. Chem.*, 査読有, Vol.23, No. 1-2, 2011, pp.102-105.
DOI:10.1080/10610278.2010.514905
- ⑮ Z. Cao, Y. Ma, X. Yue, S. Li, Z. Dai, J. Kikuchi, Stabilized Liposomal Nanohybrid Cerasomes for Drug Delivery Applications, *Chem. Commun.*, 査読有, Vol.46, No.29, 2010, pp.5265-5267.
DOI: 10.1039/b926367e
- ⑯ A. Ikeda, Y. Kawai, J. Kikuchi, M. Akiyama, Effect of Phase Transition Temperature of Liposomes on Preparation of Fullerene-Encapsulated Liposomes by the Fullerene-exchange Reaction, *Chem. Commun.*, 査読有, Vol.46, No.16, 2010, pp.2847-2849.
DOI: 10.1039/b926949e
- ⑰ M. Hashizume, H. Horii, J. Kikuchi, M. Kamitakahara, C. Ohtsuki, M. Tanihara,

- Effects of Surface Carboxylic Acid Groups of Cerasomes, Morphologically Stable Vesicles Having a Silica Surface, on Biomimetic Deposition of Hydroxyapatite in Body Fluid Conditions, *J. Mater. Sci: Mater. Med.*, 査読有, Vol.21, No. 1, 2010, pp.11-19.
DOI: 10.1007/s10856-009-3829-7
- ⑱ Z. Wang, K. Yasuhara, H. Ito, M. Mukai, J. Kikuchi, Budding and Fission of Cationic Binary Lipid Vesicles Induced by the Incorporation of Pyranine, *Chem. Lett.*, 査読有, Vol.39, No.1, 2010, pp.54-55.
DOI: 10.1246/cl.2010.54
- ⑲ Y. Sasaki, Y. Shioyama, W.-J. Tian, J. Kikuchi, S. Hiyama, Y. Moritani, T. Suda, A Nano Sensory Device Fabricated on a Liposome for Detection of Chemical Signals, *Biotechnol. Bioeng.*, 査読有, Vol.105, No.1, 2010, pp.37-43.
DOI: 10.1002/bit.22521
- ⑳ M. Mukai, K. Maruo, J. Kikuchi, Y. Sasaki, S. Hiyama, Y. Moritani, T. Suda, Propagation and Amplification of Molecular Information using a Photo-responsive Molecular Switch, *Supramol. Chem.*, 査読有, Vol.21, No.3-4, 2009, pp.284-291.
DOI:10.1080/10610270802468439DOI:10.1039/b905387e
- ㉑ Z.-F. Dai, W.-J. Tian, X.-L. Yue, Z.-Z. Zheng, J.-J. Qi, N. Tamai, J. Kikuchi, Efficient Fluorescence Resonance Energy Transfer in Highly Stable Liposomal Nanohybrid Cerasome, *Chem. Commun.*, 査読有, No.15, 2009, pp.2032-2034.
DOI: 10.1039/b900051h
- ㉒ A. Ikeda, M. Matsumoto, M. Akiyama, J. Kikuchi, T. Ogawa, T. Takeya, Direct and Short-time Uptake of [70]Fullerene into the Cell Membrane using an Exchange reaction from a [70]Fullerene- γ -Cyclodextrin Complex and the Resulting Photodynamic Activity, *Chem. Commun.*, 査読有, No.12, 2009, pp.1547-1549.
DOI: 10.1039/b820768b
- ㉓ A. Ikeda, M. Nagano, M. Akiyama, M. Matsumoto, S. Ito, M. Mukai, M. Hashizume, J. Kikuchi, K. Katagiri, T. Ogawa, T. Takeya, Photodynamic Activity of C₇₀ Caged within Surface-Cross-Linked Liposome, *Chem. Asian J.*, 査読有, Vol.4, No.1, 2009, pp.199-205.
DOI:10.1002/asia.200800271
- ㉔ K. Yasuhara, Y. Sasaki, J. Kikuchi, A Photo-responsive Cholesterol Capable of Inducing a Morphological Transformation of the Liquid-Ordered Microdomain in Lipid Bilayers, *Colloid Poly. Sci.*, 査読有, Vol.286, No.14-15, 2008, pp.1675-1680.
DOI:10.1007/s00396-008-1936-5
- [学会発表] (計 20 件)
- ① Qiao Yun, Qian Zhang, Xi-Ming Song, K. Tahara, J. Kikuchi, Electrochemical Behavior of Biosensing Electrode Modified with Enzyme-Cerasome Composite, The International Symposium on Preparative Chemistry of Advanced Materials 2012, 2012年9月14日, Shenyang, P.R. China.
- ② J. Kikuchi, Cerasomes as an Organic-Inorganic Nanohybrid Material, The International Symposium on Preparative Chemistry of Advanced Materials 2012, 2012年9月14日, Shenyang, P.R. China.
- ③ 菊池純一, 生体に学ぶ: バイオミメティックマテリアルの創成と未来材料としての可能性, バイオミククリ研究会, 2012年8月22日, 大阪府守口市.
- ④ 菊池純一, 分子通信: 生物に学ぶ次世代型情報通信, 日本真空学会関西支部&日本表面科学会関西支部合同セミナー2012, 2012年7月6日, 兵庫県神戸市.
- ⑤ K. Tahara, T. Moriuchi, A. Hirota, K. Yasuhara, T. Maeno, M. Toriyama, N. Inagaki, J. Kikuchi, Cerasome-Mediated Gene Delivery to Primary Hippocampal Neurons, International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry, 2012年2月1日, Otago, New Zealand.
- ⑥ K. Tahara, J. Kikuchi, Gene Delivery by an Organic-Inorganic Hybrid Vesicle "Cerasome", 12th International Symposium on Biomimetic Materials Processing, 2012年1月26日, 愛知県名古屋市.
- ⑦ F. Hao, K. Tahara, K. Yasuhara, J. Kikuchi, Roles of a Chemical Signal Which Induces Budding and Fission of Binary Lipid Vesicles, 12th International Symposium on Biomimetic Materials Processing, 2012年1月26日, 愛知県名古屋市.
- ⑧ J. Kikuchi, Cerasomes: A New Family of Artificial Cell Membranes with Ceramic Surface, 26th Philippine Chemistry Congress, 2011年4月13日, Cebu, Philippine.
- ⑨ H. Noriyasu, H. Ito, Z. Wang, K. Yasuhara, J. Kikuchi, S. Hiyama, Y. Moritani, Release of Small Vesicles from a Giant Vesicle Triggered by a Chemical Signal, 11th International Symposium on Biomimetic Materials Processing, 2011年1月25日, 愛知県名古屋市.
- ⑩ 菊池純一, 生体に学ぶ—バイオ・ナノハイブリッドマテリアルの創成と未来材料としての可能性, 表面科学技術研究会

- 2011, 2011年1月20日, 兵庫県神戸市.
- ⑪ K. Yasuhara, Z. Wang, H. Ito, H. Noriyasu, J. Kikuchi, Budding and Fission of Artificial Cell Membrane Triggered by a Chemical Stimulus, The 2011 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2010年12月16日, Honolulu, USA.
- ⑫ K. Yasuhara, Z. Wang, S. Okuda, A. Hirota, J. Kikuchi, S. Hiyama, Y. Moritani, Artificial Membrane Traffic System: Selective Propagation of Molecular Information Using Gemini Peptide Lipids as Molecular Switches, International Symposium on Molecular Nanotechnology, 2010年12月1日, 奈良県奈良市.
- ⑬ 菊池純一, 人工細胞による情報伝達, 化学工学会第42回秋季大会, 2010年9月6日, 京都府京都市.
- ⑭ 菊池純一, 新ICTパラダイム創出を目指した人工細胞システムの構築, ポリマーフロンティア21, 2010年6月11日, 東京都.
- ⑮ K. Yasuhara, J. Kikuchi, Bio-inspired Molecular Communication System Based on Molecular Recognition on Artificial Cell Membrane, 5th International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry, 2010年6月9日, 奈良県奈良市.
- ⑯ K. Yasuhara, H. Ito, Z. Wang, J. Kikuchi, Chemically-Triggered Budding and Fission of Artificial Cell Membrane as a Membrane Trafficking Model, 5th International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry, 2010年6月9日, 奈良県奈良市.
- ⑰ J. Kikuchi, Budding and Fission of Lipid Vesicles Triggered by a Chemical Signal, 10th International Symposium on Biomimetic Materials Processing, 2010年1月27日, 愛知県名古屋市.
- ⑱ H. Ito, Z. Wang, K. Yasuhara, J. Kikuchi, Controlled Budding and Fission of Artificial Cell Membranes Induced by a Chemical Signal, The 1st FAPS Polymer Congress, 2009年10月22日, 愛知県名古屋市.
- ⑲ A. Kawasaki, M. Mukai, K. Yasuhara, J. Kikuchi, Processing of Molecular Information on Lipid Bilayer Membranes Using Artificial Receptors, The 1st FAPS Polymer Congress, 2009年10月22日, 愛知県名古屋市.
- ⑳ J. Kikuchi, Z.-H. Wang, K. Yasuhara, S. Hiyama, Y. Moritani, T. Suda, Design of an Artificial Membrane Traffic System for Molecular Communication, 4th International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry, 2009年6月22

日, Maastricht, Netherlands.

〔図書〕(計7件)

- ① 菊池純一, 安原主馬, 田原圭志朗, 人工細胞膜の自己組織化能を利用する高次集積 π 空間の構築とナノデバイス機能, 「高次 π 空間の創発と機能開発」, 赤坂健, 大須賀篤弘, 福住俊一, 神取秀樹 監修, シーエムシー出版, 2013, pp.140-145.
- ② 菊池純一, 人工細胞膜で創る分子デバイス, 「ひかりエネルギー革命ーグリーンフोटニクスー」, NAIST グリーンフोटニクス研究チーム 編著, 化学同人, 2012, pp.106-111.
- ③ 菊池純一, 分子デバイスの開発とナノ・バイオサイエンスの開拓, 「ICガイドブック 未来を創る! 半導体」, 電子情報技術産業協会編, 産業タイムズ社, 2012, pp.188-191.
- ④ J. Kikuchi, K. Yasuhara, Transmission Electron Microscopy (TEM), in "Supramolecular Chemistry: From Molecules to Nanomaterials", Vol. 2, P. A. Gale, J. W. Steed, eds., John Wiley & Sons, Chichester, 2012, pp.633-645.
- ⑤ 橋詰峰雄, 佐々木善浩, 菊池純一, 三次元集積化ナノハイブリッド材料としてのセラソーム, 「ナノハイブリッド材料の開発と応用」, シーエムシー出版, 2011, pp.134-144.
- ⑥ J. Kikuchi, K. Yasuhara, Cerasomes: A New Family of Artificial Cell Membranes with Ceramic Surface, in "Advances in Biomimetics", A. George, ed., InTech, Rijeka, 2011, pp.231-250.
- ⑦ 菊池純一, バイオミメティック超分子, 「超分子サイエンス&テクノロジー」, 国武豊喜 監修, エヌ・ティー・エス, 2009, pp.169-173.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菊池 純一 (KIKUCHI JUN-ICHI)
奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・教授
研究者番号: 90153056

(2) 研究分担者

安原 主馬 (YASUHARA KAZUMA)
奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・助教
研究者番号: 90545716
田原 圭志朗 (TAHARA KEISHIRO)
奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・助教
研究者番号: 50622297