

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K14662

研究課題名（和文）アザイリド形成に基づく新奇モノメリック型/ジェミニ型両親媒性分子の創製

研究課題名（英文）Development of monomeric and gemini amphiphilic molecules based on azaylide formation

研究代表者

山科 雅裕 (Yamashina, Masahiro)

東京工業大学・理学院・助教

研究者番号：80847153

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、申請者らが開発した両親媒性分子の開発方法を活用し、三置換ホスフィンの構造的特徴を活かした様々なモノメリック型/ジェミニ型両親媒性分子の開発を行い、その超分子的挙動を含めた機能調査を行った。具体的には、高疎水性部位あるいは湾曲面を有するリン化合物を基盤としたモノメリック型両親媒性分子、二座ホスフィンを経典としたジェミニ型両親媒性分子を研究対象とした。本手法で得られた多くの両親媒性分子は、高い加水分解耐性を有し、また、水中で高いミセル化能と疎水性分子の内包能を示した。特に、ジェミニ型両親媒性分子については、アルキル鎖の長さに応じて特異な集合能が発現することが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、申請者独自の手法を発展させ、高疎水リン化合物と汎用的な二座ホスフィンに親水基を導入することで、高い機能を有する両親媒性分子を開発することに成功した。一連の成果は、古典的もしくは近年報告されている両親媒性分子のいずれとも異なり、三置換ホスフィンの構造特性に由来するものである。さらにこの過程で、本手法の適応範囲の探索にも達成した。今後は得られた知見を活用し、より高い分子内包能を有する両親媒性分子の開発や、難溶性物質の水溶化と物性調査、触媒反応場の構築など、安価な原材料から高付加価値材料の創出と応用に向けた研究を展開していく。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed various monomeric and gemini amphiphilic molecules from trisubstituted phosphines by using our original method for creating amphiphilic molecules, and investigated their functions including supramolecular behavior. Specifically, we focused on monomeric amphiphilic molecules based on phosphine compounds with high hydrophobicity or a curved surface, and gemini amphiphilic molecules based on bidentate phosphines. Many of the molecules obtained through our method exhibited high hydrolytic stability. In addition, significant micellization capability and encapsulation ability for hydrophobic molecules were demonstrated in water. Notably, we found that gemini amphiphilic molecules displayed unique assembling behavior depending on the length of their alkyl chains.

研究分野：超分子化学

キーワード：両親媒性分子 アザイリド シュタウディンガー反応 自己集合 分子内包 偶奇性

1. 研究開始当初の背景

両親媒性分子は水中で集合体(ミセル)形成や疎水性分子を水溶化できるため、古典的な超分子材料として、基礎・応用の観点から現代化学においても重要な地位を占めている。一般的な両親媒性分子は、有機合成手法を駆使して段階的に合成される。一方申請者らは、アザイリド(N=P)結合を形成するシュタウディンガー反応に着目し、市販の三置換ホスフィンと親水性アジドを混ぜるだけで、簡便かつ定量的に両親媒性分子を合成する手法を開発した。一般的なアザイリドは加水分解性を有するため、水が存在すると直ちに一級アミンとホスフィンオキシサイドへと分解する。本手法で得られるアザイリドは、親水性アジドに導入したクロロ基によって加水分解が顕著に抑制されている。また、本両親媒性分子は水中で球状集合体のミセルを形成するだけでなく、効率よく疎水性の色素取り込むことができる。申請者の手法は、原理的に広範なリン化合物を両親媒性分子に変換できるため、様々な両親媒性分子の迅速合成と機能開拓を達成する手法に成り得る可能性を秘めている。

2. 研究の目的

本研究では、申請者が開発した両親媒性分子の構築法で三置換ホスフィンの構造的特徴を活かした様々なモノメリック型/ジェミニ型両親媒性分子の開発を行い、古典的な系では実現困難であった機能発現を目指す。具体的に、①高疎水性ホスフィンを有するモノメリック型両親媒性分子の開発、②湾曲面を有する新奇両親媒性分子の開発、③二座ホスフィンによるジェミニ型両親媒性分子の開発を目標とした。

3. 研究の方法

本研究では、あらかじめ合成した親水性アジド化合物に対して、市販もしくは合成した疎水性リン化合物を混合し、シュタウディンガー反応を用いて連結する。得られたアザイリド化合物の構造解析に加え、アザイリドの加水分解への安定性調査、形成された両親媒性分子の水中での集合挙動の評価、疎水性色素分子の内包能評価も実施した。

4. 研究成果

4-1. 高疎水性ホスフィンを有するモノメリック型両親媒性分子の開発

多環芳香族や広い疎水面を含む両親媒性分子は、疎水性部位同士の相互作用に由来する特異な自己組織化挙動や物理特性を示す。そこで本研究では、先行研究の単純なアリールホスフィンに対し、高い疎水面を有するホスフィンを基盤とした両親媒性分子を研究対象とした。

まず、既報の親水性アジド **G1** と高疎水性のトリアリールホスフィン(トリ-2-ナフチルホスフィン(**PNp3**))を混合すると、狙い通り対応するアザイリド化合物が定量的に得られた。しかし、得られた生成物は、ホスフィンの高い疎水性に比べて **G1** の水溶性が不十分であり、水に全く溶解しなかった。そこで親水性アジドの再設計を行い、2本の親水側鎖と3つのクロロ基を有する親水性アジド **G2** を合成した(図1a)。**G2** はDMSO触媒下NCSによるトリクロロ化反応を鍵反応に、効率よく合成することに成功した。高親水性アジド **G2** のCH₃CN溶液と**PNp3**のクロロホルム溶液の混合物を60°Cで5分間加熱すると、目的のアザイリド **NPNp3** が定量的に生成された(図1b)。**NPNp3** の構造は、NMR、質量分析、X線結晶構造解析を用いて決定した。他の両親媒性分子(**NPtBu3**、**NPBp3**、**NPTol3**)は、トリス(4-tert-ブチルフェニル)ホスフィン(**PtBu3**)、トリス(4-ピフェニル)ホスフィン(**PBp3**)、および**PTol3**から同様の手法で合成に成功した。

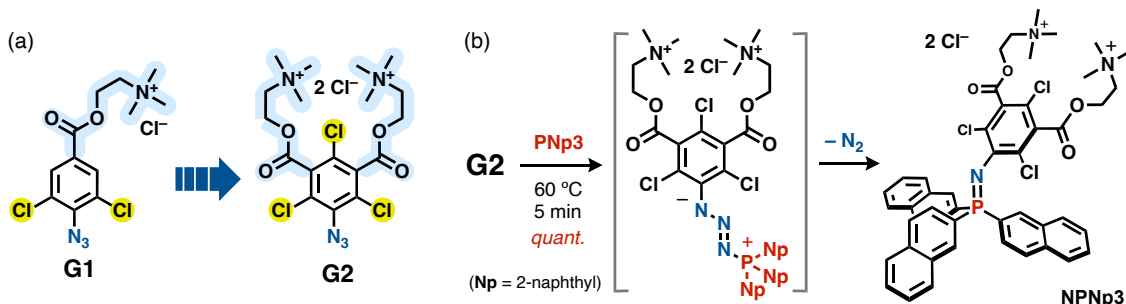


図1. (a)親水性アジド **G1** と **G2** の化学構造と (b) 高疎水性ホスフィンを有するモノメリック型両親媒性分子の合成

各両親媒性分子は疎水性の高いホスフィン部位を有していても、高親水性側鎖によって高い水溶性(20 mM以上)を示した。この事実を受け、はじめに両親媒性分子の加水分解耐性を評価した。**NPNp3** およびそのクロロ基をもたない両親媒性分子 **nNPNp3** を重水に溶かし、室温で数時間ごとに¹H NMRスペクトルを測定した。その結果、**nNPNp3** は重水中で徐々に加水分解されるのに対し(半減期 13.1時間)、**NPNp3** の¹H NMRスペクトルは全く変化がなかった。この結果より、

アザイリドの加水分解耐性は、親水性側鎖とクロロ基数を増やした **G2** でも発現することがわかった。続いてクロロ基の数が両親媒性分子の安定性に与える影響を調査した。**1NPTo13** (先行研究の2つのクロロ基をもつ両親媒性分子) の水溶液は 333 K で 24 時間加熱を行うと完全に分解した。興味深いことに、**NPTo13** の加水分解は同じ条件下でも著しく抑制されていることが判明した。すなわち、親水性部分の塩素基数を増やすことにより、アザイリドの安定性が大幅に向上することが示唆された。DFT 計算よりこの異常な安定性向上は、クロロ基導入による LUMO の不安定化と立体保護による影響の可能性が示唆された。

次に、合成した両親媒性分子の水中の自己集合挙動を調査した。**NPNp3** (4.0 μmol) を水 (1.0 mM) に溶解させると、**NPNp3** は自発的に集合しミセル集合体 (**NPNp3**)_n を定量的に形成した (図 2a)。**NPNp3** (4.0 mM) の ¹H NMR スペクトルでは、ナフチル基の7つのシグナルが顕著にブロード化し、かつ高磁場シフトした。これは、両親媒性分子の動的挙動と集合化によってナフチル基の回転が著しく抑制されたことに起因する。同様のブロード化は ³¹P NMR シグナルでも確認された。DOSY NMR スペクトルでは、小さな拡散係数 ($D = 1.40 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) の単一バンドが得られた。動的光散乱 (DLS) 測定により、**NPNp3** は水中で平均直径 1.8 nm の集合体を形成していた。この粒径は、**NPNp3** の 4 分子に相当することが分子力場計算で予測された (図 2b)。**NPtBu3** と **NPBp3** も水中で類似サイズのみセルを形成することがわかった。NMR 測定より **NPNp3** の臨界ミセル濃度 (CMC) は約 0.2 mM と推定され、これは先行研究で **G1** と **PTo13** から合成された両親媒性分子 **1NPTo13** の CMC (0.4 mM) と同程度であった。興味深いことに、**NPBp3** の CMC は 0.05 mM 未満であった。この顕著な CMC の減少は、ホスフィン部分の三脚構造の伸長による疎水性芳香環部位の効果的な π 相互作用の発現に起因する。

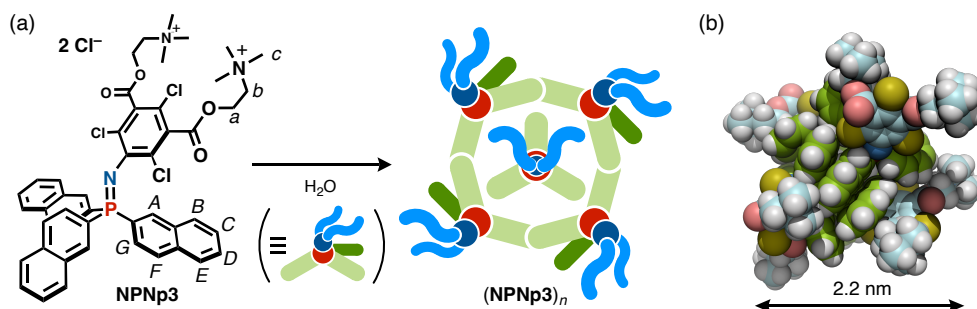


図 2. (a) 水中における **NPNp3** の自己集合挙動と (b) ミセル集合体 (**NPNp3**)₄ の最適化構造

最後に、両親媒性分子の水中のゲスト内包能を調査した (図 3a)。疎水性ピロメテン 546 (**BP**) と **NPNp3** の固体混合物を乳鉢で 3 分間研磨した。その後、水を加えて混合物を室温で 1 時間攪拌し、過剰な **BP** 固体をろ過により除去すると、(**BP**)_n · (**NPNp3**)_m の強い黄色水溶液として得られた。(**BP**)_n · (**NPNp3**)_m の UV-vis スペクトルには、454 nm および 504 nm 付近に **BP** の吸収帯が見られた。DLS 測定により、ホスト-ゲスト錯体 (**BP**)_n · (**NPNp3**)_m の直径は約 3.0 nm であることが明らかになった。乾燥した (**BP**)_n · (**NPNp3**)_m 固体を DMSO-*d*₆ に溶解すると、**NPNp3** の 1.0 mM 溶液中に 1.0 mM の **BP** が存在し、**NPNp3** と **BP** が約 1:1 のホスト-ゲスト比で内包体を形成していることがわかった。これらの結果は、分子力場計算より (**BP**)₄ · (**NPNp3**)₅ に相当することが判明した。同様に、**NPNp3** はペリレン (**Per**) およびナイルレッドに対して高い取り込み能力を示し、それぞれ 1:1 および 1:0.6 のホスト-ゲスト錯体を形成した。内包されたペリレンは、エキシマーの形成により約 620 nm で広い発光帯を示した。興味深いことに、高疎水面を有する両親媒性分子は、攪拌子で激しく攪拌するだけでも、効率良くゲスト分子を取り込めることがわかった (図 3b)。これは広い疎水部位がもたらす多点の π 相互作用やファンデルワールス相互作用などの分子間相互作用の寄与に由来する。

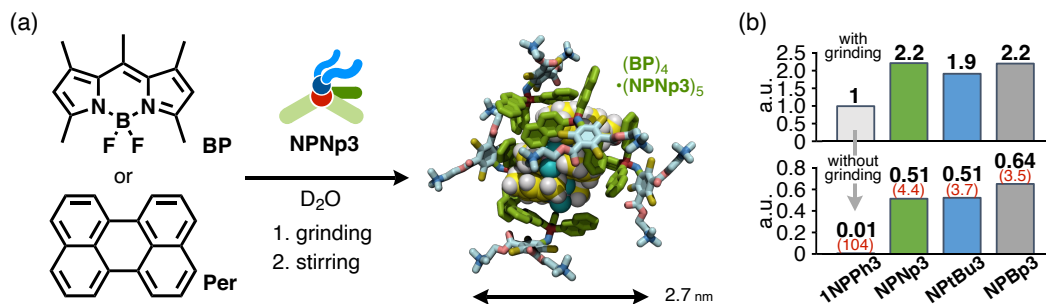


図 3. (a) **NPNp3** による疎水性色素の内包と (b) 研磨の有無によるゲスト内包量の比較

4-2. 湾曲面を有する新奇両親媒性分子の開発

湾曲した π 面をもつ有機化合物は、近年ナノカーボン化学の領域で活発に研究されている。しかしながら、湾曲面への化学修飾は合成難易度が高いため、湾曲面を疎水部に有する両親媒性分子は前例がない。そこで本研究では、湾曲面を有する三置換ホスフィンであるホスファングレンに着目し、その両親媒性分子化を試みた。親水性アジド **G1** とホスファングレンを CH_3CN 中で混合すると、定量的にアザイリド化が進行した (図 4)。しかしながら、得られたアザイリド化合物は水に対して極めて不安定であり、クロロ基を有するにも関わらず、水中で瞬く間に加水分解が進行してしまった (図 4)。これはリン化合物を湾曲面にすることでリン原子がむき出しとなり、水分子からの求核攻撃を容易に受けるようになったことに起因する。クロロ基を他のハロゲン系原子や嵩高い置換基 (イソプロピル基など) に変更しても、加水分解耐性の向上は見られなかった。したがって、本手法は湾曲面を有するリン化合物には適応できないと判断した。

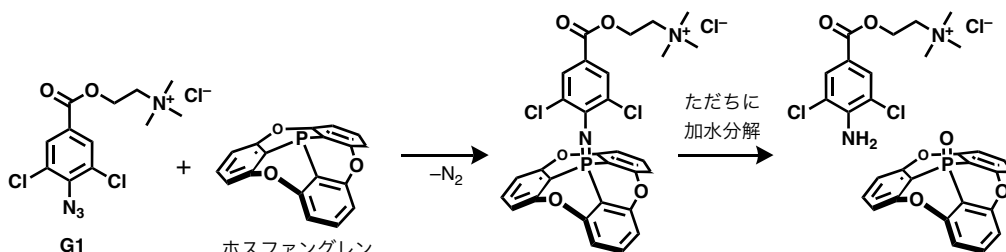


図 4. 湾曲面を有する新奇両親媒性分子の合成

4-3. 二座ホスフィンによるジェミニ型両親媒性分子の開発

両親媒性分子を複数連結したジェミニ型は、モノメリック型と比べてエンタルピー的に有利になるので高い集合能と表面張力を示す。多くのジェミニ型分子は疎水部にアルキル鎖を持つものが多く、芳香族を含む分子の例は限定的であった。そこで本研究では、二座ホスフィン配位子であるビス(ジフェニルホスフィノ)アルカンとその誘導体 (**dpPn**; メチレン炭素数 $n = 1-6$) を基盤とした種々のジェミニ型両親媒性分子を合成し、その超分子的挙動の調査を行った。

ジェミニ両親媒性分子は、親水性アジド **G1** (1.0 当量) CH_3CN 溶液に、小過剰量の **dpPn** (0.525 当量) の CHCl_3 溶液を 60°C で加熱しながらゆっくり滴下することで合成した (図 5a)。ジェミニ型両親媒性分子 **NdpPn** の生成は、NMR、質量分析、X 線結晶構造解析で決定した。単結晶 X 線回折 (SXRD) 分析より、**NdpP3** に含まれる 2 つの親水性ユニットは、同一方向を向いたシン配座でリン原子に連結していた。同様の方法で、アルキル炭素数が異なるジェミニ型両親媒性分子 (**NdpPn**; $n = 1-6$) の合成に成功した。**NdpP1**、**NdpP3** と **NdpP5** は高い水溶性を示した。加水分解に対する耐性調査を行ったところ、 D_2O 中におけるクロロ基をもたない **nNdpP3** の半減期はわずか 14 分であった (図 5b)。 PPh_3 を基盤としたアザイリドは比較的長い半減期 (約 10 時間) を示すため、電子豊富かつ立体障害の少ないアルキルホスフィンがアザイリド部位の加水分解を促進することが示唆された。それにも関わらず、クロロ基をもつ **NdpP3** は同一条件下で全く分解しなかった。したがって、クロロ基によるアザイリドの安定化は、高反応性ホスフィン部位を持つビス(ジフェニルホスフィノ)アルカンにも適用可能であることがわかった。

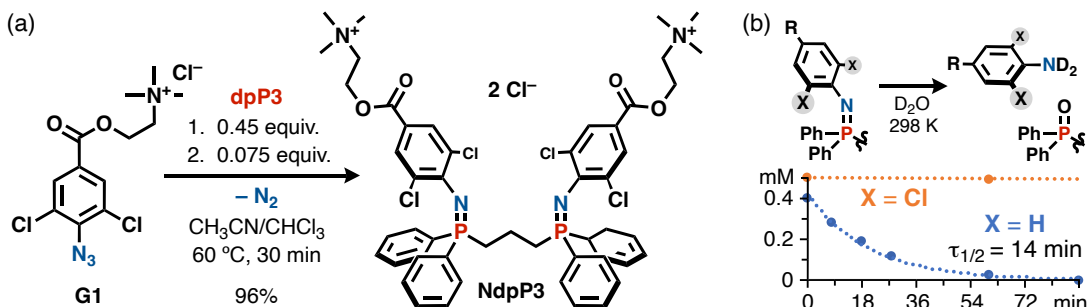


図 5. (a) 二座ホスフィンによるジェミニ型両親媒性分子の合成と (b) 水溶液中におけるアザイリド化合物濃度の経時変化

次に、ジェミニ両親媒性物質の水中の自己集合挙動を調査した。メチレン炭素が奇数個の両親媒性物質 (**NdpP1**, **NdpP3**, **NdpP5**) は、 2.0 mM の D_2O 中でミセル凝集体を定量的かつ自発的に形成した (図 6a 上)。NMR と DLS 測定および原子間力顕微鏡 (AFM) 測定より、直径約 2-3 nm の球状集合体の存在が確認された (図 6b)。これらの結果を踏まえて分子力場計算で構造最適化を行うと、確認されたミセル集合体はジェミニ型両親媒性分子の 2-4 分子に相当することがわかった。**NdpP3** の臨界ミセル濃度 (CMC) は 1.0 mM であり、これは対応するモノメリック型両親媒性物質の CMC (10 mM) と比較して有意に低かった。**NdpP1** と **NdpP5** も小さい CMC 値 (1.0 および 0.20 mM) を示し、メチレンリンカーの長さが増すにつれて CMC 値は徐々に減少した。

一方、メチレンリンカーが偶数個の両親媒性物質 (**NdpP2** と **NdpP4**) は異なる結果が得られた。**NdpP2** (4.0 μmol) を H_2O (2.0 mL) に加えると、白色の懸濁液が得られた (図 6b 下)。懸濁液の DLS 分析により、直径約 2.6 nm の集合体と、直径約 1.4 μm で広い分布を持つ別の種類の集合体が存在することが明らかになった。AFM および透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察により、大きな凝集体 (直径約 1-2 μm) と小さな球状凝集体 (直径約 3-10 nm) が観察され、これらは DLS 結果と一致した (図 6c)。特に、AFM 画像は大きな凝集体が多層構造を示していることを明らかにし、微結晶の形成を示唆していた。

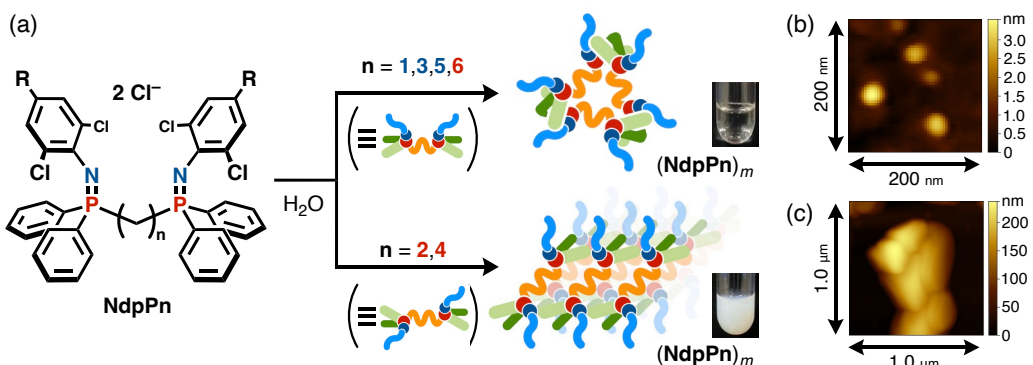


図 6. (a) アルキルリンカー数による集合形態の相違と (b) (**NdpP3**)_m と (c) (**NdpP2**)_m の AFM 画像

そこで X 線回折分析を実施した。その結果、**NdpP2** が有する 2 つの親水性部分はアンチ配座をとっている明らかになった。さらに結晶パッキングにおいて、伸長した **NdpP2** は層状構造を形成するように配列されていた (図 7a)。水中で得られた **NdpP2** の白色分散液の粉末 X 線回折 (PXRD) パターンは、シミュレーションパターンと一致していた (図 7b)。同様の PXRD パターンは **NdpP4** でも見られた。したがって、**NdpP1**、**NdpP3**、**NdpP5** のミセル形成とは異なり、**NdpP2** と **NdpP4** は水中で層状構造を持つ微結晶を形成することがわかった。これらの違いは、結晶中における **NdpP3** (38.66 D) と **NdpP2** (4.84 D) の双極子モーメントに起因する可能性があり、後者は強いパッキング力に寄与すると推定される。興味深いことに、メチレンリンカーが偶数個の **NdpP6** は高い水溶性をもち、層状構造ではなく直径約 2-3 nm のミセルを形成した (図 6a 上)。この事実は、アルキルリンカー鎖の長さを増すことで、ジェミニ両親媒性物質に構造的柔軟性が与えられ、水中でミセル形成につながったと言える。

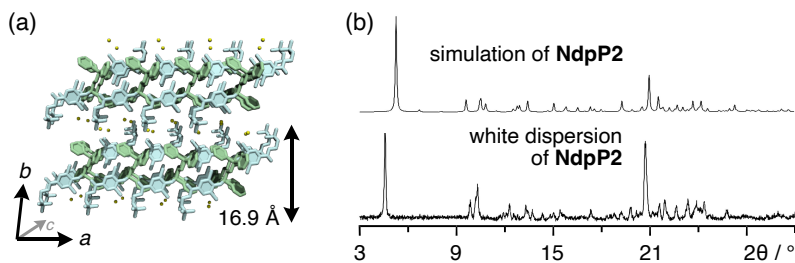


図 7. (a) **NdpP2** の結晶パッキング構造と (b) **NdpP2** の粉末 X 線回折パターンの比較

ジェミニ型両親媒性分子のホスト能力を調査した。ジェミニ型両親媒性分子 (**NdpP1**、**NdpP3**、**NdpP5**) は水中でペリレン、ピロメテン 546、フラーレン C_{60} を効率良く内包することが判明した (図 8a)。注目すべきは、ジェミニ型両親媒性分子の内包能は、対応するモノメリック型両親媒性分子 (**NPh2Me**; メチルジフェニルホスフィン を基盤) よりも約 10 倍向上した (図 8b)。興味深いことに、ミセルを形成するジェミニ型両親媒性分子 (**NdpP1**、**NdpP5**、**NdpP6**) のホスト能は、アルキルリンカーの長さに関係なく同様であった。この傾向は他のゲスト分子の場合も同様に観察された。芳香族部位が水中でゲスト分子を効果良く内包できる点を考えると、本系においてもアルキルリンカーより芳香族分子の π 相互作用が内包において重要な役割を果たすといえる。

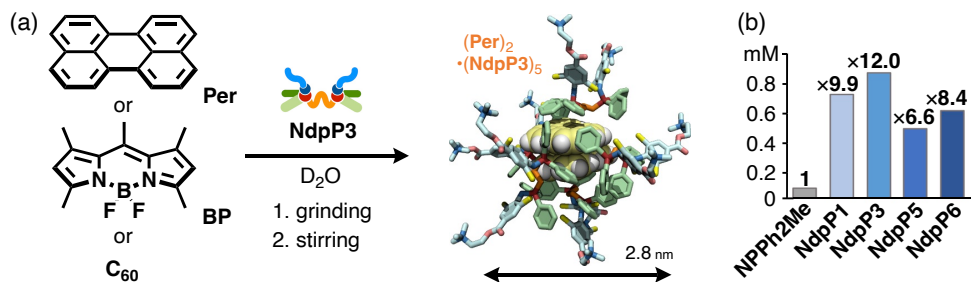


図 8. (a) ジェミニ型両親媒性分子による疎水性色素の内包と (b) ゲスト内包量の比較

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 S. Watanabe, M. Yamashina, E. Tsurumaki, S. Toyota	4. 巻 1
2. 論文標題 Controlling the assembly of Pd(II)/bianthryl-based monomeric and dimeric interlocked cages by steric effects	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ChemistryEurope	6. 最初と最後の頁 e202300047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ceur.202300047	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 H. Suzuki, Y. Akiyama, M. Yamashina, Y. Tanaka, S. Toyota	4. 巻 29
2. 論文標題 Transformation of Highly Hydrophobic Triarylphosphines into Amphiphiles via Staudinger Reaction with Hydrophilic Trichlorophenyl Azide	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202303017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202303017	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 Sawanaka Yuta, Yamashina Masahiro, Ohtsu Hiroyoshi, Toyota Shinji	4. 巻 13
2. 論文標題 A self-complementary macrocycle by a dual interaction system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5648
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-33357-y	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 -

〔学会発表〕 計25件（うち招待講演 5件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 M. Yamashina, S. Watanabe, E. Tsurumai, S. Toyota
2. 発表標題 Controlling the assembly of Pd(II)/bianthryl-based M2L4 and (M2L4) ₂ cages by steric effects
3. 学会等名 The 9th Asian Conference of Coordination Chemistry ACCC9 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 山科雅裕
2. 発表標題 分子間相互作用であやつる有機分子の自己組織化
3. 学会等名 有機化学学生ウェビナー講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋山善守・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 アザイリド形成によるジェミニ型両親媒性分子の合成とアルキルリンカー長による集合能変化
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岡部洸輝・山科雅裕・鶴巻英治・豊田真司
2. 発表標題 アントラセン分子ピンセットの固相における自己相補性集合：有限集合体の選択的構築と動的構造変換
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 渡邊佑・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 置換基の電子的性質で制御する二置換アントラセンを含む分子ピンセットの自己相補性集合
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 山本広夢・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 トリプチセン骨格を基盤とした三脚型配位子によるPd6L8型とPd6L4型ケージの合成
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 内藤翔・秋山善守・山科雅裕・豊田真司・井手 智仁
2. 発表標題 アザイリド形成によるホスフィン配位サイトをもつ両親媒性分子の合成と集合能評価
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岡部洸輝・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 分子ピンセットを基盤とした自己相補性環状六量体：蛍光性と熱安定性に及ぼす置換基の効果
3. 学会等名 第16回有機 電子系シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊佑・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 置換基の電子効果によるアントラセン分子ピンセットの自己相補性集合様式の制御
3. 学会等名 第16回有機 電子系シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiro Yamashina・Koki Okabe・Eiji Tsurumaki・Shinji Toyota
2. 発表標題 A self-complementarity of molecular tweezers: from cyclic hexamer to cuboctahedron assembly
3. 学会等名 The 15th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山科雅裕・渡邊颯汰・鶴巻英治・豊田真司
2. 発表標題 ピアントリル骨格を有するPd2L4型モノケージと(Pd2L4)2型インターロックケージの構築と構造制御
3. 学会等名 錯体化学会第73回討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡部洸輝・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 アントラセンを有する分子ピンセットの自己相補性集合：置換基による環状六量体の蛍光・熱安定性の向上
3. 学会等名 第33回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 佑・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 ジクロロアントラセンを有する分子ピンセットの自己相補性集合：二種類の水素結合の協働による環状四量体構築
3. 学会等名 第33回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山科雅裕・渡邊颯汰・鶴巻英治・豊田真司
2. 発表標題 ピアントリル配位子を有する金属架橋ケージ：側鎖の立体効果による集合構造制御と分子内包
3. 学会等名 第33回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡部洸輝・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 置換アントラセンを有する分子ピンセット：自己相補性集合による環状六量化と蛍光特性
3. 学会等名 第20回ホスト-ゲスト・超分子シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山科雅裕・澤中祐太・豊田真司
2. 発表標題 アントラセンを有する分子ピンセット：二重の相互作用による自己相補性環状体の構築
3. 学会等名 第19回 ホスト・ゲスト化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Yamashina, Y. Sawanaka, S. Toyota
2. 発表標題 Construction of a Self-Complementary Macrocyclic by Dual Interaction System
3. 学会等名 The 15th International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山科雅裕・澤中祐太・豊田真司
2. 発表標題 水素結合とパイ相互作用の協奏による自己相補性環状体の構築
3. 学会等名 第32回 基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊颯汰・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 ピアントリル骨格を有する金属架橋ケージ：アリアル側鎖の立体構造に基づく集合形態制御
3. 学会等名 第12回 CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山科雅裕・澤中祐太・豊田真司
2. 発表標題 アントラセンを有する分子ピンセット：階層的な自己相補性に基づく巨大球状集合体の構築
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊颯汰・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 ピアントリル配位子を有する配位結合ケージ：側鎖の立体効果に基づく集合構造制御と分子内包能評価
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋山善守・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 シュタウディングー反応を活用したジェミニ型両親媒性分子の合成と集合能評価
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山科雅裕
2. 発表標題 様々な非共有結合に基づく超分子構造体の開発と機能
3. 学会等名 第184回東海高分子研究会講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山科雅裕
2. 発表標題 様々な非共有結合に基づく超分子構造体の開発と機能
3. 学会等名 第7回有機若手ワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Yamashina
2. 発表標題 Supramolecular assemblies based on various non-covalent bonds and their unique functions
3. 学会等名 Invited Lecture, VIT-AP University in India（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------