

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 14 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25288034

研究課題名(和文) 機能性分子集合ナノ空間としてのキャビタンドカプセルの構築と応用

研究課題名(英文) Constructions and Applications of Cavitand-Based Capsules as Functional Self-Assembled Nanospace

研究代表者

小林 健二 (KOBAYASHI, Kenji)

静岡大学・理学部・教授

研究者番号：40225503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：(1)柔軟な長鎖スパーサーを有するダンベル型ピリジルキャビタンドとダンベル型フェノールキャビタンドは、水素結合ヘテロキャビタンドカプセルを連結部位として、超分子ポリマーを形成せず、超分子大環状二量体(超分子ジャイアントリング)を形成することを見出した。(2)動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセルが光機能性BPEA分子を包接してナノ保護容器として機能すること、また、キラル化した本カプセルがプロキラルゲストを包接してジアステレオ包接選択性を発現することを見出した。(3)デンドロン-アゾベンゼン側鎖を有するカリックス[4]レゾルシナレーンの分子集合6量体カプセル化と光応答性を見出した。

研究成果の概要(英文)：(1) We found that a dumbbell type pyridyl-cavitand and a dumbbell type phenol-cavitand with long flexible spacers self-assemble into a super-macrocyclic dimer (supramolecular giant ring) based on hydrogen-bonded hetero-capsule as a connector, without formation of a supramolecular polymer. (2) We found that a self-assembled boronic ester cavitand capsule encapsulates one molecule of BPEA derivatives as optical functional guests, which show greater resistance to photochemical reactions and enhancement of photophysical properties such as two-photon absorption, compared to free guests. We also found that this type of a chiral capsule induces supramolecular chirality with respect to a prochiral biphenyl guest by diastereomeric encapsulation. (3) We found the self-assembly of calix[4]resorcinarene bearing azobenzene-dendron conjugates as side chains into a hexameric capsule with photoresponsive properties that releases encapsulated guest molecule upon UV irradiation.

研究分野：超分子化学・構造有機化学

キーワード：分子自己集合 超分子 カプセル 水素結合 大環状化合物 動的共有結合 キラリティー 光応答性

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 分子間相互作用によって会合多量体を形成する超分子ポリマーは、環境低負荷型次世代高分子として注目されている。分子集合カプセルの研究は盛んであるが、カプセルを連結部位とする超分子カプセルポリマーの研究は、殆ど先例がなかった。また、高分子化学の長い歴史の中で、高選択的・定量的にリングポリマーを構築する方法論はなかった。(2) アントラセン誘導体は高蛍光発光材料として広く知られているが、空气中光に曝されると徐々に光二量化や光酸化を受けて発光特性を失う。安定高発光材料の開発は重要な課題である。発光材料として有名な9,10-ビス(フェニルエチニル)アントラセン(BPEA)を包接保護する分子カプセルの例はなかった。また、キラルな分子集合カプセルの研究例は殆どなかった。(3) 光応答性分子集合カプセルの構築と開閉制御への展開は、殆ど先例がなかった。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、申請者が見出した分子自己集合に基づくキャビタンドカプセルを基盤に分子集合キャビタンドカプセルだからこそ可能な機能創発をさらに推進し、超分子化学と機能物性化学に新機軸を拓くことを目的とした。具体的には上記問題を解決すべく次の3つのテーマに焦点を当てた。

(1) 水素結合キャビタンドヘテロカプセルを連結部位とする超分子カプセルポリマーへの展開 (結果的には超分子ジャイアントリングへの展開) :

- ① 水素結合性キャビタンドを両端に有するダンベル型キャビタンドの合成
- ② ダンベル型キャビタンドの会合挙動の精査
- (2) 動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセルの機能性探索 :
  - ① 動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセルのBPEA誘導体包接とナノ保護容器への展開
  - ② キャビティー拡張カプセルへの展開
  - ③ キラルカプセルへの展開
- (3) 光応答性分子集合カプセルの構築と開閉制御

### 3. 研究の方法

(1) 水素結合キャビタンドヘテロカプセルを連結部位とする超分子カプセルポリマーへの展開 (結果的には超分子ジャイアントリングへの展開) :

- ① 水素結合性キャビタンドを両端に有するダンベル型ホスト分子の合成 :
 

我々は、ピリジルキャビタンド**1**とフェノールキャビタンド**2**が、4点のPy...HOPh水素結合によって非常に安定な水素結合ヘテロカプセル**1・2**を形成すること( $K_a = 1.2 \times 10^7 \text{ M}^{-1}$  in  $\text{CDCl}_3$  at 298 K)、また、カプセル**1・2**は

ゲスト**5**を非常に強く包接すること( $K_a = 1.1 \times 10^9 \text{ M}^{-1}$  in  $\text{CDCl}_3$  at 298 K)を既に見出している(図1)。そこで、キャビタンド**1, 2**の側鎖Rの1つの末端を官能基化し、各種スペーサーの両端に**1**または**2**を有するダンベル型キャビタンド**3, 4**を合成し、**3, 4**を超分子カプセルポリマーのモノマーとした(図3参照)。

② ダンベル型キャビタンドの会合挙動 :  
 ゲスト**5**の包接を伴うダンベル型キャビタンド**3, 4**の会合挙動を、 $^1\text{H NMR}$ , DOSY, 静的光散乱(SLS)測定によって精査した。

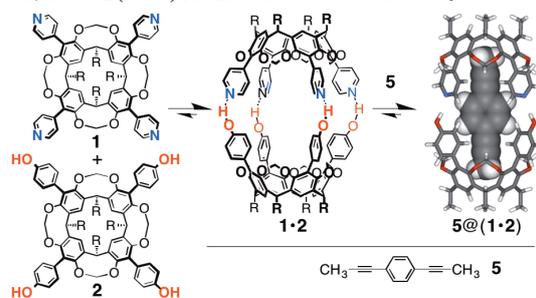


図1. 水素結合性分子集合カプセル**1・2**の形成とゲスト包接

(2) 動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセルの機能性探索 :

① 動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセルのBPEA誘導体包接とナノ保護容器への展開 :

我々は、ホウ酸キャビタンド**6**とビス(カテコール)エタン**7**が、動的ホウ酸エステル結合によって定量的にキャビタンドカプセル**8**を形成することを見出している(図2)。そこで、カプセル**8**にBPEA誘導体**9**を包接させ、包接による光安定性と光物性変化を精査した(図5参照)。

② キャビティー拡張カプセルへの展開 :  
 カプセル**8**のキャビティー拡張を目的として、新たにビス(カテコール)リンカー**10, 11**を合成し、**6**と**10, 11**との動的ホウ酸エステル結合によってカプセル**12, 13**を構築し、ゲスト包接(**16-18**)を検討した(図6参照)。

③ キラルカプセルへの展開 :  
 カプセル**8**のキラル化を目的として、キラルなビス(カテコール)リンカー**14<sup>R</sup>**を合成し、**6**と**14<sup>R</sup>**からキラルカプセル**15<sup>R</sup>**を構築し、プロキラルゲスト**19**を包接させてジアステレオ包接選択性を検討した(図7参照)。

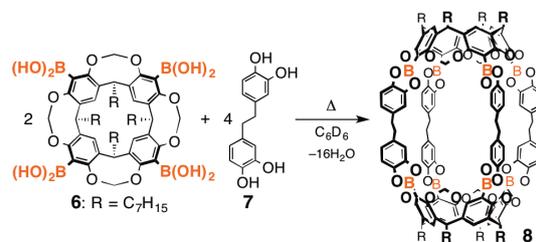


図2. 動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセル**8**の形成

(3) 光応答性分子集合カプセルの構築と開閉制御 :

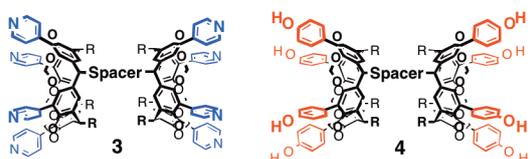
デンドロン-アゾベンゼン側鎖を有するカリックス[4]レゾルシンアレーン**20**を合成し(図8参照)、分子集合6量体カプセル化と光応答性、それに伴うゲスト放出を検討した。

#### 4. 研究成果

(1) 水素結合キャビタンドヘテロカプセルを連結部位とする超分子カプセルポリマーへの展開 (結果的には超分子ジャイアントリングへの展開) :

① 水素結合性キャビタンドを両端に有するダンベル型宿主分子の合成 :

キャビタンド側鎖Rの1つの末端に末端アセチレン部位を導入したピリジルキャビタンドとフェノールキャビタンドを合成し、末端アセチレン部位同士のEglintonカップリングによりダンベル型ピリジルキャビタンド**3a-c**とダンベル型フェノールキャビタンド**4a-c**を合成した(図3)。また、ポリエチレングリコール(PEG)をスペーサーとする**3d**と**4d**は、キャビタンドの末端アセチレン部位とPEG-ビス(アジド)とのClick反応によって合成した(図3)。



Spacer =

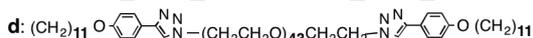
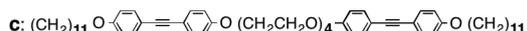


図3. ダンベル型ピリジルキャビタンド**3**とダンベル型フェノールキャビタンド**4**と各種スペーサー**a-d**

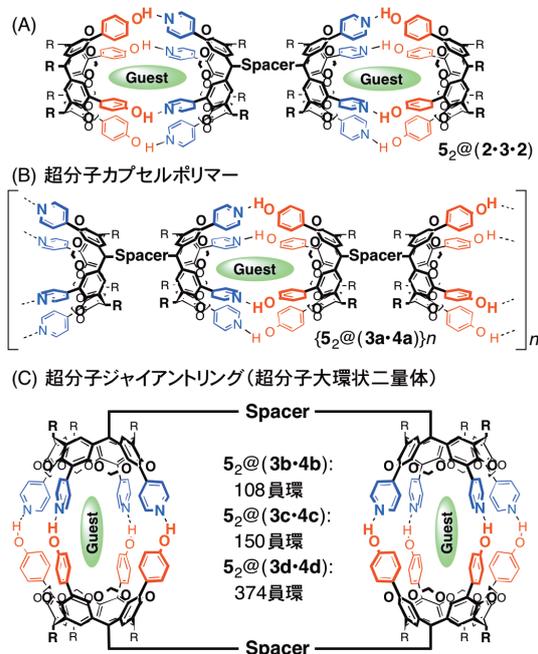


図4. (A) 両端キャップのゲスト包接カプセル**5<sub>2</sub>@(2•3•2)**, (B) ダンベル型宿主**3a, 4a**から超分子ポリマー**{5<sub>2</sub>@(3a•4a)}<sub>n</sub>**, (C) ダンベル型宿主**3b-d, 3b-d**から超分子ジャイアントリング**cyclo-[5<sub>2</sub>@(3b-d•3b-d)]**

② ダンベル型キャビタンドの会合挙動 : 超分子ジャイアントリングの生成 :

予備実験として、 $\text{CDCl}_3$ 中ゲスト**5**の存在

下、ダンベル型ピリジルキャビタンド**3**とフェノールキャビタンド**2**を1:2で混合すると、**3**の両端を**2**でキャップしたゲスト包接カプセル**5<sub>2</sub>@(2•3•2)**を定量的に生成することがわかった(図4A)。

次に、 $\text{CDCl}_3$ 中ゲスト**5**の存在下、ダンベル型ピリジルキャビタンド**3**とダンベル型フェノールキャビタンド**4**を1:1で混合し、その会合挙動を精査した。

まず、ゲスト**5**の存在下、スペーサーが最も短いダンベル型ピリジルキャビタンド**3a**とダンベル型フェノールキャビタンド**4a**を1:1で混合すると、難溶性の固体を生成した。各種測定から、超分子ポリマー**{5<sub>2</sub>@(3a•4a)}<sub>n</sub>**を生成したと考えられる(図4B)。

一方、ゲスト**5**の存在下、**3a, 4a**よりもスペーサーの長いダンベル型ピリジルキャビタンド**3b**とダンベル型フェノールキャビタンド**4b**を1:1で混合すると、均一溶液を与えた。会合挙動を<sup>1</sup>H NMR測定で精査したところ、ゲスト**5**は**3b, 4b**に対して2分子包接され、かつ、フリーの**3b**のピリジル基のα水素のシグナルが観測されないことから、フリーのピリジル基末端のない構造、即ち、環状会合体を形成していることが示唆された。また、初期濃度を1~15 mMまで変化させても、**3b : 4b : 5 = 1 : 1 : 2**会合体の構造は変化しないことがわかった。さらに、**[3b] = 1.5 mM, [4b] = 1.0 mM, [5] = 5.0 mM**で会合体を形成させたところ、フリーの**3b**と会合体のピリジル基のα水素の<sup>1</sup>H NMRシグナルは独立して観測され、2D NOESY測定ではその2本のシグナルの交換が観測されなかったことから、シグナル交換はNMRタイムスケールより充分遅いことが分かった。また、<sup>1</sup>H DOSY測定(拡散係数測定)とSLS測定(数平均分子量測定)から、**3b**と**4b**との会合体は超分子ポリマーやオリゴマーではなく、**3b : 4b = 1 : 1**会合体であることがわかった。以上の結果から、水素結合キャビタンドヘテロカプセルを連結部位とする**3b, 4b, 5**の会合体は、超分子ポリマーではなく、予想に反して、大環状二量体、即ち、超分子ジャイアントリング**cyclo-[5<sub>2</sub>@(3b•4b)]**であることがわかった(図4C)。リングの主鎖は108員環に相当する。

また、**3b, 4b**よりスペーサーの長い**3c, 4c**も同様に**cyclo-[5<sub>2</sub>@(3c•4c)]**(主鎖 = 150員環)を定量的に生成し、ポリマーをスペーサーとする**3d, 4d**も同様に**cyclo-[5<sub>2</sub>@(3d•4d)]**(主鎖 = 374員環)を定量的に生成することがわかった。速度論支配に基づく通常の共有結合反応ではこのようなジャイアントリングを定量的に合成することは不可能であり、この結果は、熱力学支配に基づく超分子化学の成せる業である。

以上の結果に基づき、本研究では、「発散的会合と収束的会合のどちらも考え得る柔軟な長鎖スペーサーをもつ ditopic 会合ユニット(ダンベル型宿主)において、非常に強力な分子間相互作用( $\Delta H$  非常に大きい)をも

つ会合系では、無理のない最小の数から構成される収束的な環状会合体 ( $\Delta S$  小さい)、即ち、超分子ジャイアントリングを形成する」という超分子化学および有機化学における普遍的な新しい原理を提唱するに至った。

今後、この新しい原理を確固たるものにするべく、熱力学平衡に基づく強力な結合として動的イミン結合を連結部位とする超分子ジャイアントリングの形成を検討し、最終的には「高選択的・定量的な環状ポリマーの合成」という新しい分野を開拓したい。

(2) 動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセルの機能性探索:

① 動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセルの BPEA 誘導体包接とナノ保護容器への展開:

2,6-ジアセトキシ-9,10-ビス(アリールエチニル)アントラセン BPEA 誘導体 **9** は、十字形の構造ゆえに、一般的なカプセルには包接されない。動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセル **8** は、上下2つのお椀型芳香環キャビティー(キャビタンド)と横方向に4つの大きな窓を有する。そのため、**9** の母核の2,6-ジアセトキシアントラセン部位を **8** の上下2つのキャビタンド部位に配向させ、かつ、**9** のアームのアリールエチニル基を **8** の窓から突き出す形で、カプセル **8** は BPEA 誘導体 **9** を定量的に包接することが分かった(図5)。

**9a@8**, **9b@8** の会合定数は、それぞれ  $K_a = 2.1 \times 10^7 \text{ M}^{-1}$ ,  $K_a = 1.1 \times 10^7 \text{ M}^{-1}$  in  $\text{C}_6\text{D}_6$  at 298 K であった。また、カプセル **8** の構造的特徴を活かして、アントラセン環部位を包接する形で **9c** を包接し、**9c@8**<sub>2</sub> を生成することが分かった。このような包接形態は、他のカプセルでは不可能である。

BPEA 誘導体 **9** は、優れた光物性を示すが、アントラセン環部位が徐々に光酸化を受けて特性を失う。カプセル **8** は、**9** のアントラセン環部位を包接保護するので、溶液中での **9a@8**, **9b@8**, **9c@8**<sub>2</sub> の光酸化耐性は、フリーの **9a-c** に比べ約6倍向上することが分かった。また、蛍光量子収率( $\Phi_F$ )に関しては、溶液中では **9a@8**, **9b@8**, **9c@8**<sub>2</sub> はフリーの **9a-c** とほぼ同じく  $\Phi_F > 0.92$  であった。固体中では、フリーの **9a-c** は大幅な蛍光クエンチを起こしたが( $\Phi_F = 0.02 \sim 0.13$ )、**9a@8**, **9b@8**, **9c@8**<sub>2</sub> は蛍光クエンチが抑制され、 $\Phi_F$  は3~6倍増加することが分かった。また、**9a-c** のアリールエチニル基は、溶液中フリー状態では自由回転するが、カプセル **8** に包接されると、アリールエチニル基はアントラセン環とほぼ同一平面上に配座固定されてパイ共役が拡張された。その結果、一光子吸収では極大吸収波長が約25 nm長波長シフトすること、また、二光子吸収断面積が約2倍増加することがわかった。

このようにして、カプセル **8** は BPEA 誘導体 **9** の光耐性ナノ保護容器として、また、**9** の光物性向上に役立つことがわかった。

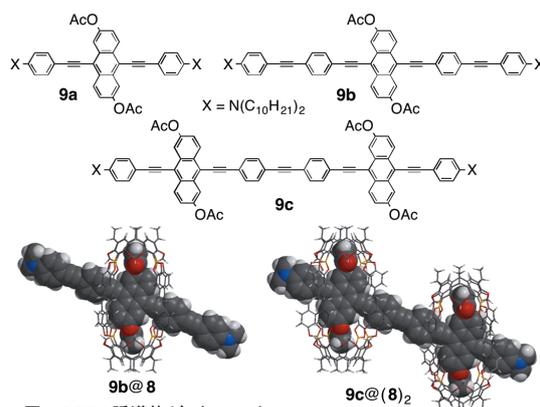


図5. BPEA誘導体ゲスト**9a-c**と動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセルのゲスト包接例

② キャビティー拡張カプセルへの展開:

カプセル **8** はビフェニル **19'** やアントラセン誘導体 **9** を包接する。一方、キャビティー拡張したカプセル **12** は、**8** では包接できないジアリールアセチレン系、ターフェニル系ゲスト分子 **16**, **17** を包接し、さらにキャビティー拡張したカプセル **13** は、ビフェニル-アリールアセチレン系ゲスト **18** を包接できることが分かった(図6)。

図6. 拡張型動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセル**12**, **13**

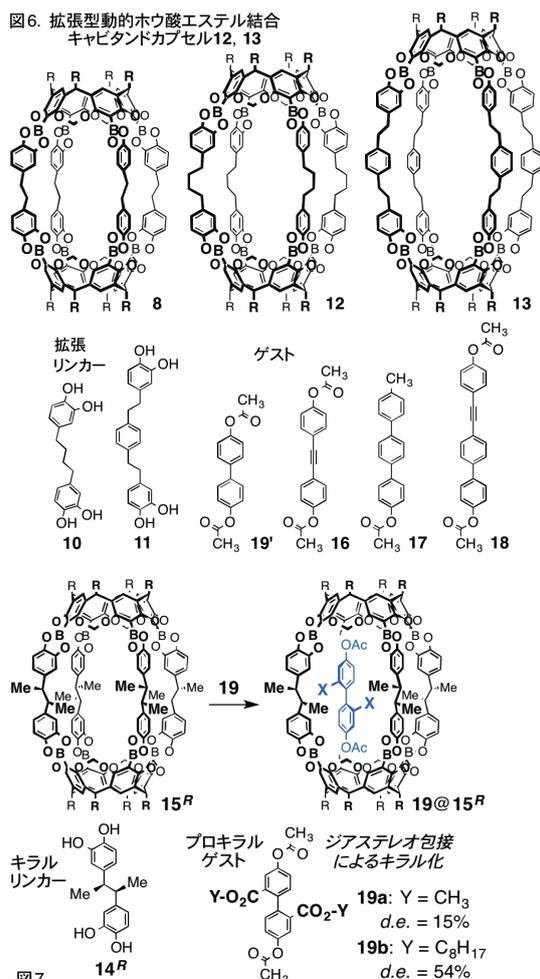


図7. キラルな動的ホウ酸エステル結合カプセル**15R**とプロキラルゲスト**19**のジアステレオ包接によるキラル化

③ キラルカプセルへの展開:

ホウ酸キャビタンド **6** とキラルなビス(カテコール)リンカー**14R** から成るキラルカプセル

ル **15<sup>R</sup>** は、プロキラルなビフェニルゲスト **19** を包接して、ジアステレオ包接選択性(*d.e.*)を発現することを見出した(図 7)。本来ビフェニル軸上で自由回転するためキラルではない **19** は、キラルカプセル **15<sup>R</sup>** に包接されると、軸回転が非対称に抑制または配座固定されてキラリティーを発現し、**19a** は *d.e.* = 15%、**19b** は *d.e.* = 54%に達することがわかった。

プロキラルなゲストの非対称軸回転抑制(固定)により、ジアステレオ包接選択性(包接キラリティー誘導)を発現することを見出した研究は、これまで殆ど例がなく、超分子化学とキラル化学の融合に新機軸を拓くものと考えられる。今後、さらにジアステレオ包接選択性を向上させるべく、キラルなビス(カテコール)リンカーの改良を重ねたい。

(3) 光応答性分子集合カプセルの構築と開閉制御：

カリックス[4]レゾルシンアレーン **20'** ( $R = C_{11}H_{23}$ ) 6 分子は、水 8 分子を介して水素結合に基づくキュービック状 6 量体カプセル (**20'**)<sub>6</sub>·(H<sub>2</sub>O)<sub>8</sub> に分子自己集合し、様々なゲスト分子を包接することが知られている。また、アゾベンゼンは紫外光照射によりトランス体からシス体に変化し、可視光照射により再異性化してシス体からトランス体に戻ることが知られている。我々は、1) デンドロン-アゾベンゼン側鎖を有するカリックス[4]レゾルシンアレーン **trans-20** が分子集合 6 量体カプセル (**trans-20**)<sub>6</sub>·(H<sub>2</sub>O)<sub>8</sub> を形成し、ゲスト **21** を包接すること、2) 紫外光照射によって側鎖のアゾベンゼン部位をシス異性化させることにより、**cis-20a** は側鎖のデンドロン間での立体反発によって、**cis-20b** は側鎖の親水性 TEG 鎖によるカプセル形成水の奪取によって、6 量体カプセルは不安定化して **21** を放出すること、3) 可視光照射によって再びアゾベンゼン部位をトランス異性化させることにより、再び 6 量体カプセルを再形成して **21** を再包接することを見出した(図 8)。

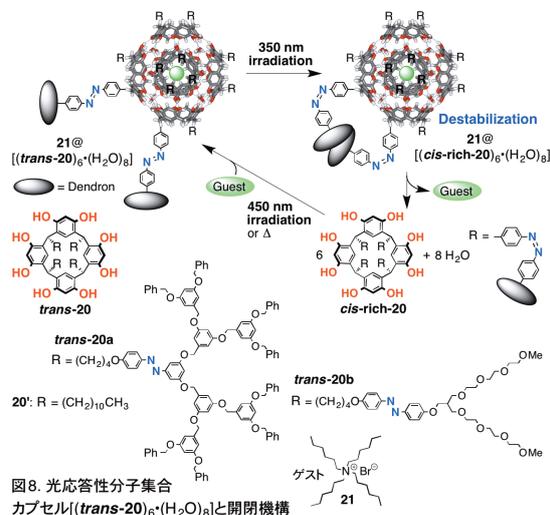


図 8. 光応答性分子集合カプセル[(*trans-20*)<sub>6</sub>·(H<sub>2</sub>O)<sub>8</sub>]と開閉機構

光刺激によって、分子集合カプセルの解離-再形成(開閉, 不安定化-再安定化)、および、それに連動するゲスト分子の放出-再包接の

制御に成功した例は殆どなく、超分子化学と光化学の融合に新機軸を拓くものと考えられる。

(4) 二重にキャビタンドキャップされた水素結合性ポルフィリンカプセル：

テトラキス(レゾルシノール)ポルフィリン **22** とテトラキス(4-ピリジルエチニル)キャビタンド **23** が、8 点の PhOH...Npy 水素結合を介して、1:2 分子集合カプセル **23·22·23** を形成することが分かった(図 9)。このカプセルの最大の特徴は、ポルフィリン環によって仕切られた 2 つの芳香環ナノスペースを有するため、ゲスト分子 **24** を 2 分子包接できる点にある。今後は、**22** をメタルポルフィリンに変換し、1) ゲスト分子と配位子の同時包接、2) 触媒反応への展開を検討する予定である。

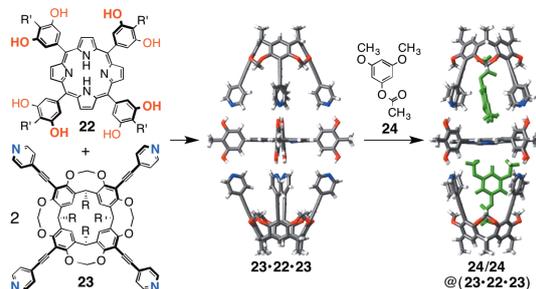


図 9. ポルフィリン**22**とキャビタンド**23**から成る水素結合カプセル**23·22·23**

## 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 8 件)

① Doubly Cavitand-Capped Porphyrin Capsule via Hydrogen Bonds.

K. Kishimoto, M. Nakamura, K. Kobayashi

*Chem. Eur. J.* **2016**, *22*, 2629-2633.

DOI: 10.1002/chem.201504893 査読有

② Self-Assembled Boronic Ester Cavitand Capsules with Various Bis(catechol)-Linkers: Cavity-Expanded and Chiral Capsules.

K. Tamaki, A. Ishigami, Y. Tanaka, M. Yamanaka, K. Kobayashi

*Chem. Eur. J.* **2015**, *21*, 13714-13722.

DOI: 10.1002/chem.201501717 査読有

③ Photoresponsive Self-Assembled Hexameric Capsules Based on Calix[4]resorcinarenes Bearing Azobenzene Dendron Conjugates as Side Chains.

T. Sakano, T. Ohashi, M. Yamanaka, K. Kobayashi

*Org. Biomol. Chem.* **2015**, *13*, 8359-8364.

DOI: 10.1039/c5ob00997a 査読有

④ Self-Assembled Capsules Based on Tetrafunctionalized Calix[4]resorcinarene Cavitands.

K. Kobayashi, M. Yamanaka

*Chem. Soc. Rev.* **2015**, *44*, 449-466.

DOI: 10.1039/c4cs00153b 査読有

⑤ Enhanced Photostability of an

Anthracene-Based Dye Due to Supramolecular Encapsulation: a New Type of Photostable Fluorophore for Single-Molecule Study. M. Mitsui, K. Higashi, R. Takahashi, Y. Hirumi, K. Kobayashi

*Photochem. Photobiol. Sci.* **2014**, *13*, 1130-1136. DOI: 10.1039/c4pp00065j 査読有

⑥ Synthesis of a  $C_2$ -Symmetrical Tetrakis(arylethynyl) Cavitand and Formation of Hybrid Hydrogen-Bonded/Metal-Ligand Coordination Supramolecular Capsules.

Y. Nito, K. Nakada, K. Kobayashi, M. Yamanaka *Asian J. Org. Chem.* **2014**, *3*, 762-765. DOI: 10.1002/ajoc.201402041 査読有

⑦ Encapsulation with Protrusion of Cruciform 9,10-Bis(arylethynyl)anthracene Derivatives in a Self-Assembled Boronic Ester Cavitand Capsule: Photochemical and Photophysical Properties.

Y. Hirumi, K. Tamaki, T. Namikawa, K. Kamada, M. Mitsui, K. Suzuki, K. Kobayashi *Chem. Asian J.* **2014**, *9*, 1282-1290. DOI: 10.1002/asia.201400042 査読有

⑧ Hydrogen-Bond and Metal-Ligand Coordination Bond Hybrid Supramolecular Capsules: Identification of Hemicapsular Intermediate and Dual Control of Guest Exchange Dynamics.

Y. Nito, H. Adachi, N. Toyoda, H. Takaya, K. Kobayashi, M. Yamanaka *Chem. Asian J.* **2014**, *9*, 1076-1082. DOI: 10.1002/asia.201301628 査読有

[学会発表] (計 17 件)

①水素結合性キャビタンドによって二重または一重にキャップされたポルフィリンカプセル

中林翔・岸本和樹・小林健二

日本化学会第 96 春季年会、2016 年、3 月 25 日、同志社大学 (京都府京田辺市)

②水素結合ヘテロカプセルに基づく超分子ジャイアントリングとダンベル型ゲストとの分子集合

梶原貴紀・小林健二

日本化学会第 96 春季年会、2016 年、3 月 24 日、同志社大学 (京都府京田辺市)

③キラルな動的ホウ酸エステル結合キャビタンドカプセル

大石歩実・玉木健斗・田中康隆・小林健二

日本化学会第 95 春季年会、2015 年、3 月 27 日、日本大学 (千葉県船橋市)

④光応答性分子集合カプセルにおけるデンドロン-アゾベンゼン側鎖の影響

大橋俊文・坂野翼・外狩結香・小林健二

日本化学会第 95 春季年会、2015 年、3 月 27 日、日本大学 (千葉県船橋市)

⑤超分子ジャイアントリング: ダンベル型水素結合性キャビタンドの分子自己集合

梶原貴紀・岸本和樹・木下敬太・高野敦志・松下裕秀・小林健二

日本化学会第 95 春季年会、2015 年、3 月 26

日、日本大学 (千葉県船橋市)

⑥レゾルシノールポルフィリンとピリジルエチニルキャビタンドとの 1:2 水素結合性分子集合カプセル

岸本和樹・小林健二

第 25 回基礎有機化学討論会、2014 年、9 月 8 日、東北大学 (宮城県仙台市)

⑦ダンベル型キャビタンドの水素結合に基づく分子集合性巨大環状体

岸本和樹・梶原貴紀・高野敦志・木下敬太・松下裕秀・小林健二

第 12 回ホスト・ゲスト化学シンポジウム、2014 年、5 月 31 日、東京工業大学 (東京都目黒区)

⑧動的ホウ酸エステル結合に基づく分子集合拡張型キャビタンドカプセル

玉木健斗・小林健二

日本化学会第 94 春季年会、2014 年、3 月 28 日、名古屋大学 (愛知県名古屋市)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ipc.shizuoka.ac.jp/~skkobay/welcom e.htm>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小林 健二 (KOBAYASHI, Kenji)

静岡大学・理学部・教授

研究者番号: 40225503