

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4月1日現在

機関番号：17102

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：20108009

研究課題名（和文） 自己集合性ポルフィリンによる高次 π 空間の創出と機能性 π 複合体の構築研究課題名（英文） Creation of π -Space and Functional π -Complexes through the Self-Assembly of Porphyrin Compounds

研究代表者

谷 文都 (TANI FUMITO)

九州大学・先導物質化学研究所・准教授

研究者番号：80281195

研究成果の概要（和文）：

自己集合を誘起するピリジル基がメソ位に置換した環状ポルフィリン二量体をフラーレン類のホスト分子として用い、得られた π 複合体の超分子構造や光・電子物性を明らかにした。 π 複合体の結晶中では、フラーレン類の直線配列やジグザグ配列が形成され、これらの秩序性高い配列を反映した高い電荷移動度が確認された。さらに、 π 複合体は、ポルフィリンからフラーレンへの光誘起電子移動によって、ミリ秒近い非常に寿命の長い電荷分離状態を与え、光電気化学セルにおいても、光電変換活性を示した。

研究成果の概要（英文）：

We have studied the supramolecular structures and photoelectronic properties of π -complexes of fullerenes with cyclic porphyrin dimers which have pyridyl groups at meso positions for their self-assembly. Linear and zigzag arrays of fullerenes are formed in the crystal structures of the π -complexes to afford high charge mobilities. The π -complexes give submillisecond-lived charge separated states through photoinduced electron transfer from the porphyrins to the included fullerenes and show photovoltaic activity in photoelectrochemical cells.

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：有機化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：ポルフィリン、フラーレン、超分子、自己集合、 π 電子系、光誘起電子移動、電荷移動、光電変換

1. 研究開始当初の背景

C_{60} などのフラーレン類は、有機太陽電池や分子エレクトロニクス材料として期待されているが、これらの応用のためには、フラー

レン類を予測可能な方法で秩序性高く配列することが必要である。しかし、一般的にフラーレン類を精密に配列させることは難しい課題である。そこで、フラーレン類を1次

元的に配列させるための空間として、ナノチューブ構造に着目し、剛直な環状分子に自己組織化を媒介する置換基を導入して、環状分子を積層するナノチューブ構築法を提案した。環状分子の構成要素としては、一般的にドナーとして知られるポルフィリンを選択した。自己集合を媒介する置換基（ピリジル基）を導入した環状ポルフィリン二量体（図1）を合成し、一次元的に並べることによって、大きな π 平面で囲まれた π 空間（ナノチューブ構造）を合理的かつ予測可能な方法で形成させ、その空間内にフラレン C_{60} を包接・配列させることに成功していた。

2. 研究の目的

自己集合性のポルフィリンが与える高次の π 空間にフラレンなどの π 系分子を包接・配列させることによって、新規の機能性 π 複合体を構築することを目的とする。特に、ポルフィリンがドナー、フラレンがアクセプターとなる光誘起電荷分離状態は、長寿命を有することが知られており、ポルフィリン・フラレンの π 複合体を高次 π 空間中で配列させることによって、前例を凌駕する高い効率の光電変換機能の実現が期待される。緻密に分子設計されたポルフィリン分子の自己集積が高次 π 空間を創出するための有効な方法になることを明示し、さらに π - π 相互作用を介して形成された π 複合体の機能発現を通じて、高次 π 空間の機能物質化学への応用展開に寄与する。

3. 研究の方法

自己集合性環状ポルフィリン二量体に対するフラレン類の包接挙動や形成された π 複合体の基本的性質や構造を各種の分光学的手法およびX線単結晶構造解析により精査する。立体構造が明確に規定された複合体を用いて、これまで議論することが困難であった「構造」と「光電変換プロセス」の相関を詳細に検討する。具体的には、複合体の結晶あるいは薄膜などの凝縮相における光誘起電子移動のダイナミクスを過渡吸収スペクトル測定などの高速分光法により解析し、それに続くキャリア移動プロセスを時間分解マイクロ波伝導度測定などの手法により、明らかにする。多種類の π 複合体の間で、光誘起電子移動のダイナミクスやキャリア移動プロセスの解析結果を比較することにより、光電変換機能を支配する基礎的な構造因子を明らかにし、さらなる物性向上のための設計指針を得る。さらに、これらの設計指針に基づいた合成された π 複合体を用いて、光電変換デバイスを作成し、その光電流-電圧特性やエネルギー効率などデバイスとしての

特性を評価する。

4. 研究成果

本研究では、環状ポルフィリン二量体（図1、Cyclic Porphyrin Dimer: CPD）のニッケル錯体（ Ni_{12} -CPD Py ）およびフリーベース体（ H_4 -CPD Py ）をホスト分子とし、 C_{60} 、PCBM([6,6]-Phenyl- C_{61} -Butyric Acid Methyl Ester)、 C_{70} などのフラレン類をゲスト分子とする π 複合体の超分子構造、集積構造、光・電子物性を明らかにしてきた。ドナー性のポルフィリン類とアクセプター性のフラレン類の間には、CT性の π - π 相互作用がはたらき、フラレン類は環状ポルフィリンオリゴマー（二ないし四量体）の内部空孔に効率的に包接されることはよく知られている。

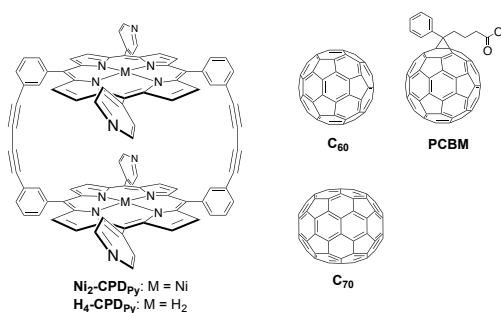


図1 環状ポルフィリン二量体とフラレン類

(1) 溶液中での複合体形成

溶液中における、これらの環状ポルフィリン二量体とフラレン類との1:1複合体の会合定数を表1に示す。会合定数は、 10^4 から 10^6 の比較的高い値であり、前例の環状ポルフィリン二量体と同等の親和性であった。3種類のいずれのフラレンについても、 Ni_{12} -CPD Py は H_4 -CPD Py より3倍程度の会合定数を有する。 C_{60} とPCBMの親和性を比べると、PCBMの方がわずかに低いだけであり、PCBMの側鎖は、溶液中の会合には大きな影響を及ぼさないと見える。また、 π 表面がより広い C_{70} は、 C_{60} と比べて約5倍の親和性を示す。

表1 溶液中の会合定数 (M-1、クロロホルム/トルエン = 1:1、室温)

	Ni_{12} -CPD Py	H_4 -CPD Py
C_{60}	2.3×10^5	8.2×10^4
PCBM	1.6×10^5	5.4×10^4
C_{70}	1.2×10^6	3.9×10^5

(2) ニッケルポルフィリン二量体と C_{60} の π 複合体

ニッケルポルフィリン二量体と C_{60} の複合体 ($C_{60} \subset Ni_{12}$ -CPD Py) の結晶構造においては（図2）、 Ni_{12} -CPD Py 単独の結晶構造と同様、

ポルフィリンのβ位のC-H基とピリジル基の窒素原子との相補的な珍しい水素結合を介して、二量体同士が連結されて、一つの方向に積み重なる自己集合が生じたことにより、直線的な内部空孔(ナノチャンネル)を有するチューブ状集合体が形成されていた。この水素結合の他に、隣接する二つのピリジル基のπ-π相互作用もポルフィリン二量体の自己集合に寄与していた。C₆₀は、そのナノチャンネル内部に直線的に配列されていた(C₆₀同士の中心間距離は約14.5 Å)。フラーレンがカーボンナノチューブ中で一次元的に配列している構造は、その形状からピーポッド(peapod: さやえんどう)と呼ばれているが、C₆₀∩Ni₂-CPD_{Py}の包接錯体は、世界で初めて結晶構造解析に成功した「超分子ピーポッド」であった。

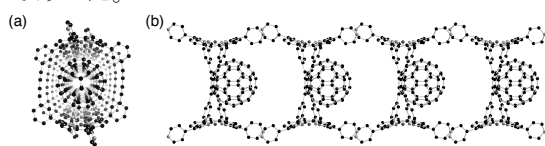


図2 C₆₀∩Ni₂-CPD_{Py}の結晶中における超分子ピーポッド(a)正面図、(b)側面図

C₆₀∩Ni₂-CPD_{Py}の結晶を光励起すると、三重項励起錯体 $^3\{Ni_2-CPD_{Py} \cdots C_{60}\}^*$ を生成するのみで、光誘起電子移動は確認されなかった。電子移動が起きなかった理由は、二点あるが、一つは、ニッケルポルフィリン錯体の励起三重項から励起三重項への非常に速い項間交差とC₆₀へのエネルギー移動によって、低エネルギーのC₆₀の励起三重項が速やかに生じてしまうこと。もう一点は、ニッケルポルフィリンの酸化電位が高い(酸化されにくい)ために、電荷分離状態のエネルギー(1.98 eV)がポルフィリンやC₆₀の三重項エネルギーより高いことである。しかしながら、この結晶は、電子物性としては、有望な結果を与えた。時間分解吸収マイクロ波伝導度測定法により、C₆₀の一次元配列に沿って、有機化合物の結晶としては非常に高い電子移動度($\Sigma\mu = 7.2 \times 10^{-1} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)を示すことが明らかになった。

(3) フリーベースポルフィリン二量体とC₆₀のπ複合体

H₄-CPD_{Py}も結晶中では、Ni₂-CPD_{Py}と同様に、水素結合とピリジル基のπ-π相互作用によって自己集合し、ナノチューブ構造を形

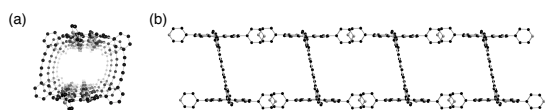


図3 H₄-CPD_{Py}の結晶中のナノチューブ構造(a)正面図、(b)側面図

成した(図3)。しかし、C₆₀との複合体(C₆₀CH₄-CPD_{Py})の結晶構造は、C₆₀∩Ni₂-CPD_{Py}の場合と大きく異なり、二枚のポルフィリン環が二枚貝のように開き、C₆₀がその間に挟まれていた(図4)。H₄-CPD_{Py}では、二つのポルフィリン環の距離がNi₂-CPD_{Py}より短いため、C₆₀を包接する際に平行の配置を取れない。この開いた配置では、ナノチューブ構造を形成することは不可能であるが、その代わりに、C₆₀がお互いにファンデルワールス接触しながら、ジグザグに配列していた(図4)。

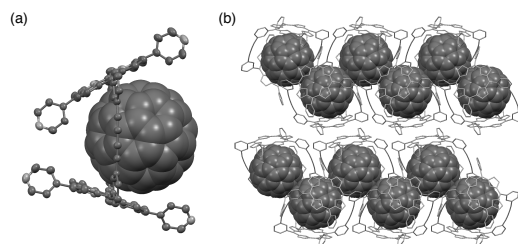


図4 C₆₀CH₄-CPD_{Py}の結晶構造(a)複合体の側面図、(b)ジグザグ配列

電荷分離状態のエネルギーレベルは、C₆₀CH₄-CPD_{Py}の場合は1.83 eVと算出され、C₆₀∩Ni₂-CPD_{Py}の場合よりも低くなっており、電子移動が生じやすいと予想されたが、実際、光励起によって、ポルフィリンからC₆₀への電子移動が起きて、光誘起電荷分離状態が生成していることが明らかになった。また、C₆₀のジグザグ配列方向に沿って、比較的高い電荷移動度($\Sigma\mu = 1.3-1.6 \times 10^{-1} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)を示すことも確認された。

(4) 電極上でのπ複合体による光電変換
高い電子移動度や光誘起電子移動を示したC₆₀CH₄-CPD_{Py}のナノクラスターを透明電極上に電気泳動法で固定化し、光電気化学セルを作製して、その光電変換特性を評価したところ、IPCE_{max}=17% (λ = 520 nm), η = 0.33%という結果が得られ、700-800 nmの長波長側領域でも、光電変換活性を示すことがわかった。

(5) ポルフィリン二量体とPCBMのπ複合体

C₆₀誘導体のなかで、PCBMは有機太陽電池のアクセプター材料として最も広汎に応用されているが、その結晶構造の報告は、わずかに数例しかなく、ドナー分子との複合体の結晶構造は皆無であった。ポルフィリンとC₆₀から成る複合体と比較して、PCBMの側鎖が複合体の集積構造にどのような影響を与えるのかは、興味深い問題である。

PCBM∩Ni₂-CPD_{Py}の結晶構造では、C₆₀∩Ni₂-CPD_{Py}と同様に、Ni₂-CPD_{Py}がナノチュ

ーブを形成しており、PCBM はそのチャンネル中で直線的に配列していた(図5)。PCBM の側鎖は、ナノチューブの形成を妨げることがなく、集積構造への影響は小さかった。また、これまでの結果と考え合わせると、Ni₁₂-CPD_{Py} は、自己集合によるナノチューブ構造と C₆₀ 誘導体の直線的配列を形成させるための構成要素として非常に有用であることが、改めて示されたといえる。



図5 PCBM_nNi₁₂-CPD_{Py} の結晶中における超分子ピーポッド(a)正面図、(b)側面図

一方、PCBMCH₄-CPD_{Py} の結晶構造では、PCBM のフェニル基同士が π-π 相互作用して、PCBM の二量体を形成し、C₆₀CH₄-CPD_{Py} や C₇₀CH₄-CPD_{Py} (後述) でみられたようなフラレン同士が接触した連続的なジグザグ配列は見られなかった(図6)。PCBM の側鎖が、フラレンの π 表面同士との接触を阻害した結果、異なる集積構造が形成された。

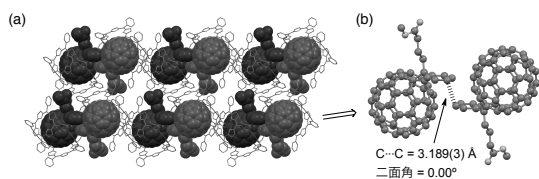


図6 PCBMCH₄-CPD_{Py} の結晶構造(a)集積構造、(b)PCBM 同士の相互作用

(6) ポルフィリン二量体と C₇₀ の π 複合体 C₆₀ に次ぐ代表的なフラレン類の C₇₀ は、C₆₀ とは異なって、非等価な長軸・短軸が存在しているため、その構造や相互作用の異方性について興味を持たれている。これまで、ポルフィリンと C₇₀ の共結晶の例は数多くあるが、C₇₀ のポルフィリン面に対する配向は、すべて熱力学的に安定な side-on 型であり、end-on 型の結晶構造は全

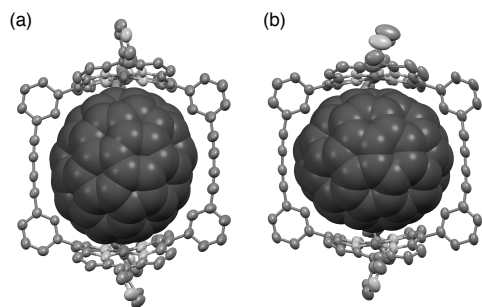


図7 C₇₀CNi₁₂-CPD_{Py} の結晶構造(a)End-on 配向、(b)Side-on 配向

く報告例がなかったが C₇₀CNi₁₂-CPD_{Py} の結晶構造では、C₇₀ の end-on 型(世界初)の配向と side-on 型の両方が確認された(図7)。

また、C₇₀CH₄-CPD_{Py} の結晶構造では、C₇₀ は side-on 型で配向しており、C₆₀CH₄-CPD_{Py} の結晶構造でみられたように、フラレン C₇₀ 同士がファンデルワールス接触しながら、ジグザグ型に配列していた(図8)。

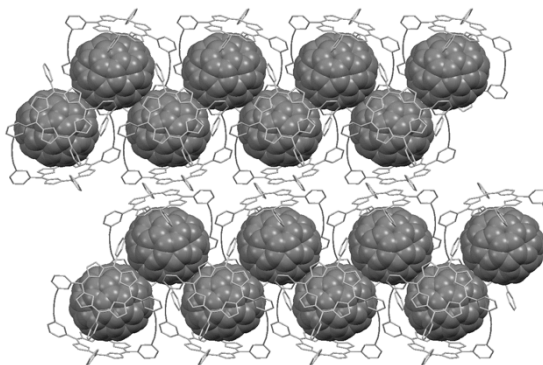


図8 C₇₀CH₄-CPD_{Py} の結晶中における C₇₀ のジグザグ配列

(7) ポルフィリン二量体とリチウムイオン内包 C₆₀(Li⁺@C₆₀) の π 複合体
 フリーベースポルフィリン二量体と C₆₀ の π 複合体(C₆₀CH₄-CPD_{Py})において、既に光誘起電荷分離状態の生成が確認されていたが、その寿命は 470 ps と短かった。電荷分離状態のエネルギー(1.83 eV)が、ポルフィリンや C₆₀ の三重項励起状態のエネルギー(1.5-1.6 eV)より高いために、三重項経由の減衰が生じることがその原因と考えられた。そこで、C₆₀ よりも電子受容性が高いリチウムイオン内包 C₆₀(Li⁺@C₆₀)を用いて、π 複合体の極性溶媒中での光化学ダイナミクスを調べた。Li⁺@C₆₀ は C₆₀ よりも約 0.7 V 還元電位が高いため、π 複合体の電荷分離状態のエネルギーが、ポルフィリンや C₆₀ の三重項励起状態より低くなり、電荷分離状態の寿命が長くなることが期待される。電気化学的な解析から、電荷分離状態のエネルギーは、Li⁺@C₆₀CNi₁₂-CPD_{Py} が 1.20 eV、Li⁺@C₆₀CH₄-CPD_{Py} が 1.07 eV と見積もられた。レーザーフラッシュフォトリスにより、π 複合体を光励起すると、ポルフィリンからフラレンへの光誘起電子移動が生じ、電荷分離状態が生成することが過渡吸収スペクトルから明確に確認された。その寿命は、Li⁺@C₆₀CNi₁₂-CPD_{Py} で 0.67 ms、Li⁺@C₆₀CH₄-CPD_{Py} で 0.50 ms と非常に長く、ポルフィリン-フラレンの非共有結合性複合体の溶液中の電荷分離寿命としては、これまでの世界最高値であり、電荷分離状態のエネルギーを最適化することにより C₆₀CH₄-CPD_{Py} と比べて 10⁶ 倍もの長寿命化に成功した。

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 14 件)

1. T. Kamimura, K. Ohkubo, Y. Kawashima, H. Nobukuni, Y. Naruta, F. Tani, S. Fukuzumi, Submillisecond-lived photoinduced charge separation in inclusion complexes composed of Li^+C_{60} and cyclic porphyrin dimers, *Chem. Sci.*, **2013**, *4*, 1451-1461, DOI: 10.1039/c3sc22065f. (査読有り)
2. M. Ishida, J. M. Lim, B. S. Lee, F. Tani, J. L. Sessler, D. Kim, Y. Naruta, Photophysical Analysis of 1,10-Phenanthroline-Embedded Porphyrin Analogues and Their Magnesium(II) Complexes, *Chem. Eur. J.*, **2012**, *18*, 14329-14341, DOI: 10.1002/chem.201201793. (査読有り)
3. J. Nakazawa, J. Hagiwara, Y. Shimazaki, F. Tani, Y. Naruta, Synthesis, Characterization, and Small Hydrocarbon Encapsulation of Dicavitand-Porphyrins, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **2012**, *85*, 912-919, DOI: 10.1246/bcsj.20120107. (査読有り)
4. H. Nobukuni, T. Kamimura, H. Uno, Y. Shimazaki, Y. Naruta, F. Tani, Supramolecular Structures of Inclusion Complexes of Cyclic Porphyrin Dimers and PCBM [6,6]-Phenyl- C_{61} -Butyric Acid Methyl Ester, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **2012**, *85*, 862-868, DOI: 10.1246/bcsj.20120073. (査読有り)
5. H. Uno, M. Furukawa, A. Fujimoto, H. Uoyama, H. Watanabe, T. Okujima, H. Yamada, S. Mori, M. Kuramoto, T. Iwamura, N. Hatae, F. Tani, N. Komatsu, Porphyrin Molecular Tweezers for Fullerenes, *J. Porphyrins Phthalocyanines*, **2011**, *15*, 951-963, DOI: 10.1142/S1088424611003872. (査読有り)
6. H. Nobukuni, T. Kamimura, H. Uno, Y. Shimazaki, Y. Naruta, F. Tani, Supramolecular Structures of Inclusion Complexes of C_{70} and Cyclic Porphyrin Dimers, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **2011**, *84*, 1321-1328, DOI: 10.1246/bcsj.20110248. (査読有り)
7. H. Nobukuni, Y. Shimazaki, H. Uno, Y. Naruta, K. Ohkubo, T. Kojima, S. Fukuzumi, S. Seki, H. Sakai, T. Hasobe, F. Tani, Supramolecular Structures and Photoelectronic Properties of the Inclusion Complex of a Cyclic Free-Base Porphyrin Dimer and C_{60} , *Chem. Eur. J.*, **2010**, *16*, 11611-11623, DOI: 10.1002/chem.201001815. (査読有り)
8. M. Ishida, S. Karasawa, H. Uno, F. Tani, Y. Naruta, Protonation-Induced Formation of a Stable Singlet Biradicaloid Derived from a Modified Sapphyrin Analogue, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2010**, *49*, 5906-5909, DOI: 10.1002/anie.200907350. (査読有り)
9. M. Ishida, Y. Naruta, F. Tani, Copper(II) and Nickel(II) Hexafluorophosphate Complexes Derived from a Monoanionic Porphyrin Analogue: Solvato- and Thermochromism of the Ni Complexes by Spin Interconversion, *Dalton Trans.*, **2010**, *39*, 2651-2659, DOI: 10.1039/b921609j. (査読有り)
10. M. Ishida, Y. Naruta, F. Tani, A Novel Porphyrin-related Macrocycle with an Embedded 1,10-Phenanthroline Moiety as a Fluorescent Mg(II) Ion Sensor, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2010**, *49*, 91-94, DOI: 10.1002/anie.200904859. (査読有り)
11. H. Nobukuni, F. Tani, Y. Shimazaki, Y. Naruta, K. Ohkubo, T. Nakanishi, T. Kojima, S. Fukuzumi, S. Seki, Anisotropic High Electron Mobility and Photodynamics of a Self-Assembled Porphyrin Nanotube Including C_{60} Molecules, *J. Phys. Chem. C*, **2009**, *113*, 19694-19699, DOI: 10.1021/jp9076849. (査読有り)

[学会発表] (計 50 件)

1. F. Tani, Supramolecular Structures and Photoelectronic Properties of Inclusion Complexes of Cyclic Porphyrin Dimers and Fullerenes, The 7th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics, 2013. 3. 17-19, 福岡市
2. F. Tani, Supramolecular Structures of Inclusion Complexes of Cyclic Porphyrin Dimers and Fullerene PCBM, The 7th Japan-Taiwan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules, 2012. 10. 21-24, Hsinchu, Taiwan (招待講演)
3. 坂口健一、谷文都、架橋基を伸長した新規環状ポルフィリン二量体の合成とフラレンの包接、第23回基礎有機化学討論会、2012. 9. 19-21、京都市
4. F. Tani, Supramolecular Structures of

- Inclusion Complexes of Cyclic Porphyrin Dimers and Fullerenes, The 7th International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines, 2012. 7. 1-6, Jeju, Korea
5. 谷 文都、環状ポルフィリン二量体とフラレンからなる π 複合体の超分子構造と光・電子物性、第2回有機分子・バイオエレクトロニクスの未来を拓く若手研究者討論会、2011. 9. 5-7、九州大学 (招待講演)
 6. F. Tani, Supramolecular Structures of Inclusion Complexes of Cyclic Porphyrin Dimers and Fullerene C_{70} , The 6th Japan-Taiwan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules, 2011. 8. 17-20, 広島大学 (招待講演)
 7. 谷 文都、環状ポルフィリン二量体とフラレンからなる π 複合体の構造と光・電子物性、有機合成化学協会九州山口支部主催 有機合成化学講演会 -合成有機化学のフロンティア-, 2011. 5. 20、九州大学 (招待講演)
 8. 谷 文都、環状ポルフィリン二量体とフラレンからなる π 複合体の超分子構造と光・電子物性、第4回有機 π 電子シンポジウム、2010. 11. 19-20、神戸市 (招待講演)
 9. F. Tani, Supramolecular Structures and Photoelectronic Properties of Inclusion Complexes of Self-Assembling Cyclic Porphyrin Dimers and Fullerene C_{60} , The 5th Taiwan-Japan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules, 2010. 10. 17-20, Taipei, Taiwan (招待講演)
 10. H. Nobukuni, F. Tani, Supramolecular Structures and Photoelectronic Properties of Cyclic Porphyrin Dimers Including Fullerene Derivatives, 2010. 7. 4-9, New Mexico, USA
 11. F. Tani, Supramolecular Structures and Photoelectronic Properties of Inclusion Complexes of Self-Assembling Cyclic Porphyrin Dimers and Fullerenes, International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals 2010, 2010. 7. 4-9, 京都市
 12. F. Tani, Supramolecular Structures and Photoelectrochemical Properties of Self-Assembled Porphyrin Nanotubes Including Fullerenes, 217th Electrochemical Society Meeting, 2010. 4. 25-30, Vancouver, Canada
 13. 谷 文都、環状ポルフィリン二量体とフラレン類から形成される π 複合体の超分子構造と光・電子物性、2009 年日本化学会西日本大会、2009. 11. 7-8、愛媛大学 (招待講演)
 14. 信国浩文、谷 文都、フラレン類を包接した環状ポルフィリン二量体の超分子構造とその光・電子物性、第20回基礎有機化学討論会、2009. 9. 28-30、群馬大学工学部
 15. F. Tani, A Self-Assembled Nanotube of Cyclic Porphyrin Dimers and Its Inclusion of C_{60} in a Linear Arrangement Affording Supramolecular Peapod, The 4th Taiwan-Japan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules, 2009. 8. 17-19, 福岡市 (招待講演)
 16. 谷 文都、環状ポルフィリン二量体の自己集合による有機ナノチューブ形成とそのフラレン包接、山口大学大学院医学系研究科産学連携セミナー、2009. 1. 29、山口大学 (招待講演)
- [図書] (計1件)
谷 文都、自己集合性ポルフィリンによる高次 π 空間の創出と機能性 π 複合体の構築、pp. 107-112、赤坂 健、大須賀篤弘、福住俊一、神取秀樹 監修、「高次 π 空間の創発と機能開発」、シーエムシー出版、2013.
6. 研究組織
(1) 研究代表者
谷 文都 (TANI FUMITO)
九州大学先導物質化学研究所・准教授
研究者番号：80281195