

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：63903

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24245030

研究課題名(和文) 共役多孔性高分子による特異分子空間の創出と機能開拓

研究課題名(英文) Development and Functional Exploration of Special Molecular Space based on Conjugated Porous Polymers

研究代表者

江 東林 (Jiang, Donglin)

分子科学研究所・物質分子科学研究領域・教授(兼任)

研究者番号：40302765

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電子系多孔性高分子を設計し、分子骨格及び多孔構造を精密に制御する手法を開拓し、特異なナノ空間を有する高分子を材料合成し、新しい機能の開拓に成功した。特に、ナノ空間における分子相互作用の制御を通じて、新規な機能性共有結合性有機骨格構造を創出した。具体的に、『エネルギー貯蔵材料』、『有機触媒反応材料』、および『高選択性ガス吸着材料』を中心に、高電気容量、高エネルギー密度及び高出力密度を可能とする多孔性高分子物質群、有機触媒ユニットを内蔵した高効率多孔性有機触媒、および高容量で二酸化炭素やアミン類を吸着できる多孔性高分子物質群の創出に成功した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we designed molecular structures of conjugated porous polymers, explored the methodology to control their frameworks and pores, synthesised a series of polymers with special nano space, and succeeded in developing novel functions. Especially, we have developed a series of novel conjugated organic frameworks by elucidating their special interactions with molecules. In details, we developed materials for energy storage, materials for organic catalysis, and materials for gas storages. Among these advanced materials, we explored materials that exhibited high capacity and high energy density and powder density for energy storage, recyclable materials for organic catalysis with high activity for asymmetric organic transformations, and materials for gas storages such as carbon dioxide and amines.

研究分野：多孔性高分子、2次元高分子、COFs

キーワード：共役多孔性高分子 分子設計 合成 構造制御 エネルギー貯蔵 有機触媒 不斉反応 ガス吸着

1. 研究開始当初の背景

共役多孔性高分子 (Conjugated Microporous Polymers; CMPs) は分子ネットワークで三次元立体構造を形成すると同時に、 π 共役と多孔構造を作り上げることのできるユニークな高分子で、発達した共役構造に由来する機能と多孔構造がもたらす内部ナノポアを兼備し、従来の一次元共役高分子とは異なる機能の発現が期待されている。軽い元素を共有結合で連結して分子骨格を作り上げているため、軽くて丈夫という特徴が魅力的である。

一方、共有結合性有機骨格構造は、規則正しいポア構造を有する平面状高分子で、積層することによって一次元チャンネルを有する共有結合性有機骨格構造 (Covalent Organic Frameworks; COFs) を形成する。共有結合性有機骨格構造は、グラフェンとは同じく平面構造を持つが、分子内にポア構造が周期的に並んでいることが特徴である。従来の直線状高分子と三次元高分子とは全く異なる形態を有し、分子そのものが原子シートを提供できる高分子として大いに注目されている。

2. 研究の目的

本研究では、『エネルギー貯蔵空間』では、新規な縮環型分子骨格を構築し、電気伝導性を向上するとともに、ポア構造を精密に制御することで、縮環構造による電解質との相互作用を強め、高いエネルギー密度と出力密度を同時に達成できる共役多孔性高分子物質群の創出を目指した。一方、『有機触媒空間』では、有機触媒 (Organocatalyst) 活性点を多孔性高分子骨格に導入し、巨大の内部表面を介した新規な有機触媒システムの構築を目指した。三次元的に広がったナノ空間を反応場として使い、小分子系で困難であった再利用可能な有機触媒を開拓し、さらに、『水中での効率的な不斉反応』を触媒するプロセスの構築を狙った。本研究では、さらに、『高選択性ガス吸着空間』に対して、多孔性高分子骨格にガス分子と相互作用し得るユニットを導入することにより、同時に高容量と高選択性を可能にする特異なガス吸着空間を創出することを狙った。特に、二酸化炭素やアミン類などの重要な環境・エネルギー物質に対して、疎水性空間と親水性空間をつくり分けて、共役多孔性高分子による特異な吸着システムの構築を実現した。

3. 研究の方法

本研究では、 π 電子系多孔性高分子を設計することにより、分子骨格及び多孔構造を精密に制御することで、特異なナノ空間を構築し、従来の高分子では実現できない新しい機能を開拓した。特に、分子骨格と多孔構造の協同作用による機能発現を念頭に、ナノ空間

における分子相互作用の制御を通じて、新規な機能性高分子物質群を創出した。具体的に、『エネルギー貯蔵空間』、『有機触媒反応空間』、『高選択性ガス吸着空間』、『エネルギー変換空間』および『多孔性高分子の薄膜』を中心に、高電気容量、高エネルギー密度及び高出力密度を可能とする共役多孔性高分子物質群、有機触媒ユニットを内蔵した高効率多孔性有機触媒、高容量で選択的に二酸化炭素を吸着できる多孔性高分子物質群、光電変換する多孔性高分子、および多孔性高分子薄膜の創出に成功した。

4. 研究成果

本研究では、新規な多孔性高分子を構築し、その特異な機能について検討した。特に、(1)『エネルギー貯蔵空間』、(2)『有機触媒反応空間』、(3)『高選択性ガス吸着空間』、(4)『エネルギー変換空間』、(5)『多孔性薄膜の開拓と光・電子機能』の創出に成功した。

(1) エネルギー貯蔵空間の構築と機能

本項目では、具体的に、酸化還元活性なユニットであるヘキサアザトリナフタレンをモノマーとして用いて酸化還元活性共役多孔性高分子を合成した。ヘキサアザトリナフタレン共役多孔性高分子は拡張された共役構造を有し、 $433 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ という高い表面積を有し、 0.5 と 1.2 nm というマイクロ細孔を持つ。この多孔性高分子を正極材料として用いて、リチウム電池を組み立てた。充電と放電を検討したところ、 2.0 V の電圧を示すことがわかった。充電と放電を繰り返しても電気容量が 150 mAh g^{-1} を保ったまま動作することができる。クーロン効率が 100% であった。充・放電の電流密度を 1000 mA g^{-1} まで大きく上げても、 50 mAh g^{-1} という大きな電気容量を持った。エネルギー密度とパワー密度は $36.5\text{-}106 \text{ Wh kg}^{-1}$ と $70\text{-}706 \text{ W kg}^{-1}$ 。

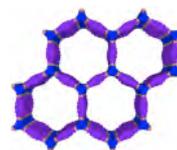


図1. 電気を貯蔵する共有結合性有機骨格構造体

これと関連して、酸化還元活性であるイミドユニットをエッジサイドに導入し、共有結合性有機骨格構造体 $\text{D}_{\text{TP}}\text{-A}_{\text{NDI}}\text{-COF}$ を合成した (図1)。導電性の高いカーボンナノチューブに成長した $\text{D}_{\text{TP}}\text{-A}_{\text{NDI}}\text{-COF@CNTs}$ を合成した。イミドユニットは2電子関与した酸化還元反応を引き起こす。 $\text{D}_{\text{TP}}\text{-A}_{\text{NDI}}\text{-COF}$ は、リチウム電池の正極として機能することがわ

かった。また、D_{TP}-A_{NDI}-COF@CNTs は高い電気容量を示し、安定で作業できることを示した。これらの結果により、多孔性高分子が有力な蓄電材料であることを実証し、多くの分野から注目されている。

(2) 有機触媒反応空間の構築と機能

具体的に、ポルフィリンから成る共有結合性有機骨格構造体をベースに、3成分からなる重合システムを構築し、有機触媒ユニットを決まった量と密度で導入することに成功した。この共有結合性有機骨格構造体は、不斉マイケル付加反応を触媒し、ee 値を 51% に達成した。これらの触媒をカラムに詰めて、フロー反応において触媒機能を検討した。その結果、高い収率と ee 値を維持したまま、24 時間以上作業できることを実証した。有機ナノ空間を用いた触媒システムの構築は可能であることを確立した。

さらに、大きな細孔を有する共有結合性有機骨格構造体を構築し、有機触媒ユニットを壁に導入した (図 2)。その結果、有機触媒ユニットが不斉マイケル付加反応に高い触媒活性を示し、ee 値が 92% を達した。種々の基質を用いて検討した結果、幅広い基質に対して有効であることが分かった。この触媒は、遠心分離で反応溶液から容易に分離することができ、再利用することができる。5 回再利用しても、触媒活性および不斉選択性を維持したまま機能することが分かった。この触媒は、水を溶媒とし、室温常圧という温和な条件で反応を促進できることが特筆すべき点である。

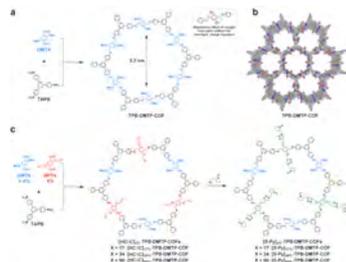


図 2. 有機触媒共有結合性有機骨格構造体

(3) ガス吸着空間の構築と機能

本研究では、二酸化炭素の吸着を目指して、様々な共有結合性有機骨格構造体を構築した。そのため、細孔の化学環境を制御して作る手法を開拓した。ポルフィリンからなる共有結合性有機骨格構造体を用いて、細孔壁に二酸化炭素と相互作用可能なカルボン酸ユニットを導入し、二酸化炭素の吸着能が数倍も向上されることを見出した。

さらに、壁に様々な官能基を導入して、その二酸化炭素の吸着能を検討した。その結果、アミン官能基を導入した有機骨格構造体が最も効果的であることを明らかにした。

(4) エネルギー変換空間の構築と機能

光電変換は、光捕集、電荷分離および電荷輸送という三つの基本過程から成り立っている。共有結合性有機骨格構造体を用いた光電変換システムは、これらの三つの基本過程に対して、特異な構造のもと、ユニークなアプローチを提供することができる。

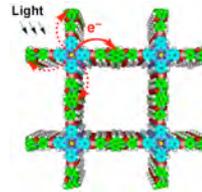


図 3. 電子ドナーとアクセプターからなる多孔性高分子および電荷分離

具体的に、フタロシアニン系をドナー、ビスイミド系を電子アクセプターとして用いて、重合することによりドナーとアクセプターからなる共有結合性有機骨格構造体を合成した (図 3)。共有結合性有機骨格構造体を励起し、過渡吸収スペクトルを計測したところ、光吸収、電子移動および電荷分離が 1.4 ps という短い期間内で完結する超高速電荷分離を実現した。

π カラム積層構造が極めて重要である。生成した電荷がカラムの中で非局在化し、積層が多いほど、より長い寿命を有する電荷分離状態をつくりだす。固体サンプルでは、時間分解 ESR スペクトルを用いて解析することができる。ラジカル種の寿命は 1.4 μ s であり、これなら光電変換に十分長い電荷分離状態を実現した。

電子ドナー性共有結合性有機骨格構造体を用いて、チャンネルに電子アクセプターを導入し、二相連続積層構造の構築が可能であることを実証した (図 4)。ポルフィリンからなる共有結合性有機骨格構造体を用いて、共有結合を介して電子アクセプターであるフラレン誘導体をチャンネル壁に導入する手法を開拓した。光で励起すると、チャンネル壁にフラレンを導入した場合、一重項ライジカル種を生成した。ESR スペクトルの経時変化から、電荷分離状態が 2.4 ms という長い寿命を有することが分かった。

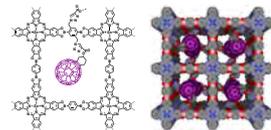


図 4. 共有結合でチャンネル構造を生かしたドナー・アクセプター多孔性高分子の構築

共有結合という手法に加え、非共有結合で電子アクセプターを共有結合性有機骨格構造体チャンネルに導入する手法を開拓した。フェナジンで連結した共有結合性有機骨格

構造体は $4.4 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ という類のない高いホール移動度を示し、優れた p 型半導体である。フラーレンを加熱昇華する手法を用いて、チャンネルにフラーレンを導入することができる。実際、光照射すると、極めて大きな光電流が生じた。この共有結合性有機骨格構造体を活性層として用いて太陽電池を組み立て、その動作を確認した。その結果、光電変換効率が約 1% であることが分かった。これは、共有結合性有機骨格構造体を用いた光電変換が可能であることを示唆した。

(5) 多孔性薄膜の開拓と光・電子機能

多孔高分子の薄膜の作成は極めて困難である。これに対して、本研究では、電気重合法を開拓して、多孔性高分子薄膜を制御して作ることができることを見いだした。トリフェニレンベンゼンをコアとして有するカバゾール誘導体をモノマーとして用いて、電気重合を行うと、均一な薄膜が得られることを見いだした。得られた薄膜はいずれも青い蛍光を放し、様々な分子やイオンに対して蛍光センシングを示すことが分かった。この場合、電子リッチな芳香族に対して、蛍光が著しく増強されることを見いだした。電子不足な芳香族に対して、蛍光が消光されることが分かった。また、還元可能な金属イオン、例えば Fe(III) および Co(III) に対して、蛍光が消光される。さらに、ドパミンや次塩素酸に対しても蛍光が消光され、 10^{-9} M まで検出することができる。この薄膜は何回も繰り返し利用することができる。

さらに、細孔に様々な色素、例えば、緑蛍光性クマリン 6 および赤色蛍光性ナイルレッドを導入することにより、様々な蛍光を作り出すことが可能になった。特に、得られた薄膜は、導入する色素の種類および含量によって、蛍光色、エネルギー移動効率、およびエネルギー移動速度をコントロールしていることを見いだした。この系を展開して、青、緑、赤、および白色の蛍光を自由自在に作ることができるようになった。

チオフェンユニットを有するモノマーを開拓して、光電変換が可能な多孔性薄膜を開発した。フラーレンを細孔に導入し、太陽電池の活性層として用いて検討したところ、光電変換効率が 5% に達したことが分かった。すなわち、多孔性共役高分子は、優れた光電変換機能を有することを示した。

ホウ素を有する多孔性高分子薄膜を作成し、その電子・ホール伝導機能を検討した。興味深いことに、薄膜の酸化還元状態により、電子とホールを選択的に伝導することが可能であることを見いだした。さらに、様々な電気伝導性基、例えば、金や ITO に対して、その仕事関数を大きくチューニングできることを見いだした。

以上のように、本研究では、多孔性高分子

に構造の新しい構築手法を開拓し、様々な新奇な多孔性物質群を創成した。これらの特異な空間におけるエキシトン、電子、ホール、イオン、分子、電荷との相互作用の解明を通じて、多方面にわたって優れた機能の発現に成功した。

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 29 件)

1. Hong Xu, Shanshan Tao, and Donglin Jiang*, Proton Conductions in Crystalline and Porous Covalent Organic Frameworks, *Nature Materials* 15, (2016). ページ数未定. DOI: 10.1038/NMAT4461, 査読あり。
2. Cheng Gu, Ning Huang, Youchun Chen, Huanhuan Zhang, Shitong Zhang, Fenghong Li, Yuguang Ma, and Donglin Jiang*, Porous Organic Polymers with Tunable Work Functions and Selective Hole and Electron Conductions for Energy Conversions, *Angew. Chem., Int. Ed.* 55, 3049-3053 (2016). 査読あり。
3. Cheng Gu, Ning Huang, Youchun Chen, Lei qiang Qin, Hong Xu, Shitong Zhang, Fenghong Li, Yuguang Ma, Donglin Jiang*, π -Conjugated Microporous Polymer Films: Designed Synthesis, Conducting Properties and Photoenergy Conversions, *Angew. Chem., Int. Ed.* 54, 13594-13598 (2015). (Hot Paper), 査読あり。
4. Xiong Chen, Matthew Addicoat, Enquan Jin, Hong Xu, Taku Hayashi, Fei Xu, Ning Huang, Stephan Irlle, Donglin Jiang*, Designed Synthesis of Double-Stage Two-Dimensional Covalent Organic Frameworks, *Scientific Reports* 5: 14650 (2015), 査読あり。
5. Hong Xu, Jia Gao, Donglin Jiang*, Stable, Crystalline, Porous, Covalent Organic Frameworks As A Platform for Chiral Organocatalysis, *Nature Chemistry* 7, 905-912 (2015). 査読あり。
6. Cheng Gu, Ning Huang, Yang Wu, Hong Xu, Donglin Jiang*, Design of AIE-Based Highly Photofunctional Porous Polymer Films with Controlled Thickness and Prominent Microporosity, *Angew. Chem., Int. Ed.* 54, 11540-11544 (2015), 査読あり。
7. Sasanka Dalapati, Matthew Addicoat, Shangbin Jin, Tsuneaki Sakurai, Jia Gao, Hong Xu, Stephan Irlle, Shu Seki, Donglin Jiang*, Rational Design of Crystalline Supermicroporous Covalent Organic Frameworks with Triangular Topologies *Nature Communications* 2015, 6:7786, 査読あり。
8. Ning Huang, Rajamani Krishna, Donglin Jiang*, Tailor-Made Pore Surface Engineering in Covalent Organic Frameworks: Systematic Functionalization for Performance Screening, *J. Am. Chem. Soc.* 137, 7079-7082 (2015), 査読あり。
9. Shangbin Jin, Mustafa Supur, Matthew Addicoat, Ko Furukawa, Long Chen, Toshikazu Nakamura, Shunichi Fukuzumi, *Stephan Irlle,*

- Donglin Jiang*, Creation of Superheterojunction Polymers via Direct Polycondensation: Segregated and Bicontinuous Donor-Acceptor π -Columnar Arrays in Covalent Organic Frameworks for Long-Lived Charge Separation, *J. Am. Chem. Soc.* 137, 7817-7827 (2015)、査読あり。
10. Ning Huang, Xuesong Ding, Jangbae Kim, Hyotcherl Ihee, Donglin Jiang*, A Photoresponsive Smart Covalent Organic Framework, *Angew. Chem., Int. Ed.* 54, 8704-8707 (2015). (VIP)、査読あり。
11. Yang Wu, Jia Gao, Donglin Jiang*, π -Electronic Covalent Organic Framework Catalyst: π -Walls as Catalytic Beds for Diels-Alder Reactions Under Ambient Conditions, *Chem. Commun.* 51, 10096-10098 (2015)、査読あり。
12. Fei Xu, Hong Xu, Xiong Chen, Dingcai Wu, Yang Wu, Hao Liu, Cheng Gu, Ruowen Fu, Donglin Jiang*, Radical Covalent Organic Frameworks: A General Strategy to Immobilize Open-Accessible Polyradicals and High-Performance Capacitive Energy Storage, *Angew. Chem., Int. Ed.* 54, 6814-6818 (2015)、査読あり。
13. Xiong Chen, Matthew Addicoat, Enquan Jin, Lipeng Zhai, Hong Xu, Ning Huang, Zhaoqi Guo, Lili Liu, Stephan Irle, Donglin Jiang*, Locking Covalent Organic Frameworks with Hydrogen Bonds: General and Remarkable Effects on Crystalline Structure, Physical Properties, and Photochemical Activities, *J. Am. Chem. Soc.* 137, 3241-3247 (2015)、査読あり。
14. Cheng Gu, Ning Huang, Fei Xu, Jia Gao, Donglin Jiang*, Cascade Exciton-Pumping Engines with Manipulated Speed and Efficiency in Light-Harvesting Porous π -Network Films, *Scientific Reports*, 5, 8867 (2015)、査読あり。
15. Fei Xu, Shangbin Jin, Hui Zhong, Dingcai Wu, Xiaoqing Yang, Xiong Chen, Hao Wei, Ruowen Fu, Donglin Jiang*, Electrochemically Active, Crystalline, Mesoporous Covalent Organic Frameworks on Carbon Nanotubes for Synergistic Lithium Battery Energy Storage, *Scientific Reports*, 5, 8225 (2015)、査読あり。
16. Ning Huang, Yanhong Xu, Donglin Jiang*, High-Performance Heterogeneous Catalysis with Surface-Exposed Stable Metal Nanoparticles, *Scientific Reports*, 4, 7228 (2014)、査読あり。
17. Long Chen, Ko Furukawa, Jia Gao, Atsushi Nagai, Toshikazu Nakamura, Yuping Dong, Donglin Jiang*, Photoelectric Covalent Organic Frameworks: Converting Open Lattices into Ordered Donor-Acceptor Heterojunctions, *J. Am. Chem. Soc.* 136, 9806-9809 (2014)、査読あり。
18. Xiong Chen, Ning Huang, Jia Gao, Hong Xu, Fei Xu, Donglin Jiang*, Towards Covalent Organic Frameworks with Predisignable and Aligned Open Docking Sites, *Chem. Commun.* 50, 6161-6163 (2014)、査読あり。
19. Shangbin Jin, Tsuneaki Sakurai, Tim Kowalczyk, Sasanka Dalapati, Fei Xu, Hao Wei, Xiong Chen, Jia Gao, Shu Seki, Stephan Irle, Donglin Jiang*, Two-Dimensional Tetrathiafulvalene Covalent Organic Frameworks: Towards Latticed Conductive Organic Salts, *Chem. Eur. J.* 20, 14608-14612 (2014) (Back Cover)、査読あり。
20. Cheng Gu, Ning Huang, Jia Gao, Fei Xu, Yanhong Xu, Donglin Jiang*, Controlled Synthesis of Conjugated Microporous Polymer Films: Versatile Platforms for Highly Sensitive and Label-Free Chemo- and Bio-Sensings, *Angew. Chem., Int. Ed.* 53, 4850-4855 (2014)、査読あり。
21. Fei Xu, Xiong Chen, Zhiwei Tang, Dingcai Wu, Ruowen Fu, Donglin Jiang*, Redox-Active Conjugated Microporous Polymers: A New Organic Platform for Highly Efficient Energy Storage, *Chem. Commun.* 50, 4788-4790 (2014)、査読あり。
22. Sasanka Dalapati, Shangbin Jin, Jiao Gao, Yanhong Xu, Atsushi Nagai, Donglin Jiang*, An Azine-Linked Covalent Organic Framework, *J. Am. Chem. Soc.* 135, 17310-17313 (2013)、査読あり。
23. Jia Guo, Yanhong Xu, Shangbin Jin, Long Chen, Toshihiko Kaji, Yoshihito Honsho, Matthew A. Addicoat, Jangbae Kim, Akinori Saeki, Hyotcherl Ihee, Shu Seki, Stephan Irle, Masahiro Hiramoto, Jia Gao, Donglin Jiang*, Conjugated Organic Framework with Three-Dimensionally Ordered Stable Structure and Delocalized π Clouds, *Nature Communications* 2013, 4:2736、査読あり。
24. Shangbin Jin, Ko Furukawa, Matthew Addicoat, Long Chen, Seiya Takahashi, Stephan Irle, Toshikazu Nakamura, Donglin Jiang*, Large Pore Donor-Acceptor Covalent Organic Frameworks, *Chem. Sci.* 4, 4505-4511 (2013)、査読あり。
25. Yanhong Xu, Shangbin Jin, Hong Xu, Atsushi Nagai, and Donglin Jiang*, Conjugated Microporous Polymers: Design, Synthesis and Application, *Chem. Soc. Rev.* 2013, 42, 8012-8031 (Cover Page)、査読あり。
26. Xiaoming Liu, Yanhong Xu, Zhaoqi Guo, Atsushi Nagai, Donglin Jiang*, Super Absorbent Conjugated Microporous Polymers: A Synergistic Structural Effect on Exceptional Uptake of Amines, *Chem. Commun.* 49, 3233-3235 (2013)、査読あり。
27. Xiong Chen, Matthew Addicoat, Stephan Irle, Atsushi Nagai, Donglin Jiang*, Control Crystallinity and Porosity of Covalent Organic Frameworks through Managing Interlayer Interactions Based on Self-Complementary π -Electronic Force, *J. Am. Chem. Soc.* 135, 546-549 (2013)、査読あり。
28. Yanhong Xu, Atsushi Nagai, Donglin Jiang*, Core-Shell Conjugated Microporous Polymers: A New Strategy for Exploring Color-Tunable and -Controllable Light Emissions, *Chem. Commun.* 49, 1591-1593 (2013)、査読あり。
29. Xiaoming Liu, Yanhong Xu, Donglin Jiang*, Conjugated Microporous Polymers as Molecular Sensing Devices: Microporous Architecture Enables Rapid Response and Enhances Sensitivity in Fluorescence-On and Fluorescence-Off Sensing, *J. Am. Chem. Soc.* 134, 8738-8742 (2012)、査読あり。
- [学会発表] (国際会議 招待講演計 24 件)
1. Donglin Jiang, Two-Dimensional Covalent Organic Frameworks, *Pacificchem* 2015,

Honolulu, USA, 15 December -20 December (2015)

2. Donglin Jiang, Covalent Organic Frameworks: A Platform for Crystalline Organic Optoelectronics, 1st European Conference on Metal Organic Frameworks and Porous Polymers Potsdam, Germany, 11 October -14 October, 2015. (Keynote Lecture)
3. Donglin Jiang, Covalent Organic Frameworks for Electrochemical Energy Storage, China NANO2015, Beijing, China, 3 September -5 September 2015.
4. Donglin Jiang, Covalent Organic Frameworks for Battery Energy Storage, 250th ACS Meeting, Boston, USA, 16 August -20 August (2015).
5. Donglin Jiang, Covalent Organic Frameworks, Commemorative Golden Jubilee Chemistry Conference, Singapore, Singapore, 6 August -8 (2015).
6. Donglin Jiang, Conjugated Microporous Polymers, 8th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2015), Singapore, Singapore, 28 June -3 July (2015).
7. Donglin Jiang, Two-Dimensional Polymers and Covalent Organic Frameworks, 8th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2015), Singapore, Singapore, 28 June -3 July (2015).
8. Donglin Jiang, Two-Dimensional Polymers and Covalent Organic Frameworks, The 13th International Conference on Polymer Advanced Technologies (PAT2015), Hangzhou, China, 25 June -28 June (2015).
9. Donglin Jiang, Porous Polymer Nanofilms with AIE Skeletons, The 2nd International Symposium on Aggregation-Induced Emission, Guangzhou, China, May 15-18 (2015).
10. Donglin Jiang, Porous Organic Films for Optoelectronic Applications, The 7th International Symposium on Advanced Materials and Nanotechnology (AMN-7), Nelson, New Zealand, February 8-12 (2015). (Keynote Lecture)
11. Donglin Jiang, Two-Dimensional Polymers and Covalent Organic Frameworks, China-Japan Joint Symposium on Supramolecular Architecture, Tianjin, China, December 11-13 (2014).
12. Donglin Jiang, Two-Dimensional Polymers and Covalent Organic Frameworks, IUPAC International Conference on Novel Materials and their Synthesis (NMS) & International Symposium on Fine Chemistry and Functional Polymers (FCFP), Zhenzhou, China, October 11-15 (2014).
13. Donglin Jiang, Design and Synthesis of Two-Dimensional Polymers and Covalent Organic Frameworks, The 2nd International Symposium on Polymer Ecomaterials (PEM2014), Kunming, China, August 22-16 (2014).
14. Donglin Jiang, Porous Organic Materials for Electric Energy Storage and Power Supply, 248th ACS National Meeting & Exposition, San Francisco, CA, USA, August 10-14 (2014).
15. Donglin Jiang, Covalent Organic Frameworks, Symposium on Computational Materials for Catalysis and Photovoltaics,

Suzhou, China, May 25-28 (2014).

16. Donglin Jiang, Two-Dimensional Polymers and Covalent Organic Frameworks: A Class of Covalent Polymers with Inherent Intra- and Intermolecular Orders, Sino-German Symposium on π -Conjugated Nanomaterials for Catalysis and Clean Energy Applications, Berlin, Germany, April 1-4 (2014).
17. Donglin Jiang, Two-Dimensional Polymers as a Novel Functional Material Platform, The 6th China-Japan Joint Symposium on Functional Supramolecular Architecture, Suzhou, China, October 25-28 (2013).
18. Donglin Jiang, Two-Dimensional Polymers and Covalent Organic Frameworks, The 9th IUPAC International Symposium on Novel Materials and Their Synthesis, Shanghai, China, October 17-22 (2013).
19. Donglin Jiang, Energy Storage by Conjugated Microporous Polymers, 246th ACS National Meeting, Indianapolis, USA, September 8-12 (2013).
20. Donglin Jiang, Two-Dimensional Polymers and Covalent Organic Frameworks, The 11th China-Japan Joint Symposium on Conduction and Photoconduction in Organic Solids and Related Phenomena, Changchun, China, September 1-4 (2013).
21. Donglin Jiang, Covalent Organic Frameworks: A Class of Polymers with Periodic Built-in Intra- and Inter-molecular Orderings for Functional Exploration, The 15th Asian Chemical Congress, Singapore, August 18-23 (2013).
22. Donglin Jiang, Light-Emitting Conjugated Polymers with Microporous Network Architectures, International Symposium on Aggregation-Induced Emission, Wuhan, China, May 17-20 (2013).
23. Donglin Jiang, Covalent Organic Frameworks: A Versatile Platform for Designing Semiconducting Structures with Inborn Intra- and Intermolecular Orderings, 2013 MOF young investigator symposium, Shanghai, China, May 12-14 (2013).
24. Donglin Jiang, Covalent Organic Frameworks: Predesignable Molecular Structure and Functional Exploration, Japan-China Joint Symposium on Functional Supramolecular Architecture, Okazaki, Japan, January 19-21 (2013).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

江 東林 (JIANG, Donglin)

分子科学研究所・物質分子科学研究領域・
教授 (兼任)

研究者番号 : 40302765