

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26810057

研究課題名(和文) 自在 拡張反応の開発とグラフェンナノリボン合成への応用

研究課題名(英文) Development of Annulative pi-Extension Reaction for Synthesis of Nanographenes and Graphene Nanoribbons

研究代表者

伊藤 英人 (Ito, Hideto)

名古屋大学・教養教育院・講師

研究者番号：70706704

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、次世代有機エレクトロニクス材料の候補化合物として大きく期待される多環芳香族炭化水素(PAH)や 拡張ヘテロ芳香環、ナノグラフェンなどを効率的に合成する新手法「縮環 拡張反応(APEX反応)」の開発に成功した。本APEX反応はパラジウム触媒を用いた新しい触媒反応系であり、官能基化されていないPAHやヘテロ芳香環を直接反応に用いて一段階での 拡張が可能である。また連続的なAPEX反応、すなわちAPEX重合反応の開発によって、一段階で構造が精密に制御されたグラフェンナノリボンの合成にも成功した。

研究成果の概要(英文)：In this work, we developed a novel synthetic methodology, ‘Annulative -Extension (APEX)’, for the efficient synthesis of -extended polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), nanographenes, and -extended heteroaromatics, which gather immense interest in the field of synthetic chemistry and materials science. Newly developed palladium-catalyzed APEX systems enabled the one-step synthesis of those -extended aromatics by directly using unfunctionalized PAHs and heteroaromatics. Sequential annulative -extension, so-called APEX polymerization, was also possible to provide structurally uniform graphene nanoribbons in a single operation.

研究分野：有機合成化学、構造有機化学、有機金属化学

キーワード：ナノグラフェン 多環芳香族炭化水素 縮環 拡張反応 グラフェンナノリボン 炭素-水素結合直接変換

## 1. 研究開始当初の背景

芳香族化合物は近年のマテリアルサイエンスを支える重要な化合物群である。その中でも3つ以上の縮環したベンゼン環から構成される多環芳香族炭化水素 (PAH) やナノグラフェンは、そのユニークな構造的特徴及び電気・光学特性などから OLED、OFET といった次世代有機電子デバイスへの応用が期待されている。また  $\pi$  拡張ヘテロ芳香環は生物活性天然物や機能性材料にも頻りにみられる重要な化合物群である。さらにグラフェンの幅を数十 nm スケールにダウンサイジングしたグラフェンナノリボン (GNR) は有限のバンドギャップを有し、グラフェンから受け継ぐ高いホール移動度を武器にトランジスタとしての応用が強く期待されている。

これら  $\pi$  拡張化合物の性質は、当然ながらその構造に大きく依存して変化するため、構造を精密に制御して合成することが必要不可欠である。特に、GNR のバンドギャップはその幅への依存度が高く、特性は幅やエッジ構造に大きく依存することが明らかになっている。すなわち、幅やエッジ構造を精密に制御した GNR の創製は合成化学のみならず、理論化学、産業分野からも強く望まれる最重要課題の1つであるといえる。

この命題の実現に向け、近年は予め幅やエッジ構造の決まったテンプレートを作成することでナノグラフェン、 $\pi$  拡張ヘテロ芳香環、GNR を得ようとするボトムアップ合成法が脚光を浴びている [ref 1]。これらは鈴木宮浦カップリング反応や Diels-Alder 反応、脱水素環化反応を組み合わせた多段階合成法であるため、原料となる芳香族化合物のハロゲン化や金属化などを避けて通ることはできない。これらの例は有機合成によりナノグラフェンや GNR の精密合成・大量供給の道を拓いた点で非常に重要であるが、原料の事前官能基化や最終段階における脱水素環化反応などによって合成全体として多段階の工程を要するという根本的な問題は解決されないうままであった。これらの問題は同様に、ナノグラフェン・ $\pi$  拡張ヘテロ芳香環合成においても共通する問題であるため、一連の  $\pi$  拡張化合物を効率的に合成できる新手法の開発が強く望まれていた。

Ref: (1) (a) A. Narita, X. Feng, K. Müllen, *Chem. Rec.* **2015**, *15*, 295. (b) A. Narita, X.-Y. Wang, X. Feng, K. Müllen, *Chem. Soc. Rev.* **2015**, *44*, 6616.

## 2. 研究の目的

本研究では官能基化されていない入手容易な芳香族化合物をテンプレート分子として使い、C-H 結合直接変換反応を鍵反応として様々な位置への自由自在な縮環  $\pi$  拡張 (APEX: Annulative  $\pi$ -Extension) 反応を開発する。材料化学への応用が大きく期待されているナノグラフェン、 $\pi$  拡張ヘテロ芳香環といった複雑な骨格を、単純な芳香族化合物

の APEX 反応によって効率的に合成することができれば、合成工程数の削減や反応後期段階における構造修飾なども可能となり、合成化学や材料化学分野の発展に大きく寄与できるものと期待される。

## 3. 研究の方法

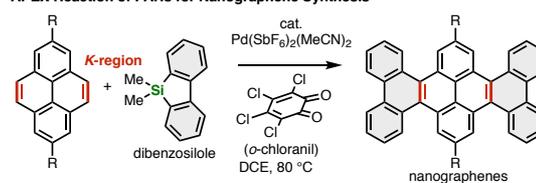
APEX 反応の実現のために、まず多環芳香族炭化水素 (PAH) の C-H 結合直接アリール化が行える触媒や  $\pi$  拡張剤の探索を行った。そして、さまざまなナノグラフェン・ $\pi$  拡張ヘテロ芳香環や、幅・エッジ構造が定義されたグラフェンナノリボンの精密化学合成へと展開した。

## 4. 研究成果

### (1) パラジウム触媒による様々な $\pi$ 共役化合物の縮環 $\pi$ 拡張反応 (APEX 反応) の開発

① パラジウム触媒・ジベンゾシロールによる多環芳香族炭化水素の K 領域選択的 APEX 反応 ([雑誌論文] 6)、(11) 参照)  
カチオン性パラジウム触媒、オルトクロロニル酸化剤、ジベンゾシロール  $\pi$  拡張剤を用いると、フェナントレンなどの PAH が一段階で  $\pi$  拡張 PAH へと変換されることを見出した。この反応は K 領域と呼ばれる二重結合性の高い部位選択的に反応が進行することがわかり、さまざまな PAH テンプレートやジベンゾシロール誘導体を用いた一段階ナノグラフェン合成に成功した [1]。また計算化学によってオルトクロロニルの役割や高い K 領域選択性、反応機構などを明らかにした。本反応は官能基化されていない PAH の K 領域選択的な APEX 反応としては世界初の例である。

APEX Reaction of PAHs for Nanographene Synthesis



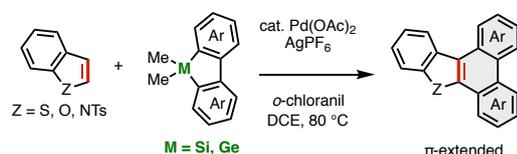
(1) Ozaki, K.; Kawasumi, K.; Shibata, M.; Ito, H.; Itami, K. *Nat. Commun.* **2015**, *6*, 6251.

(2) Yano, Y.; Ito, H.; Segawa, Y.; Itami, K. *Synlett* **2016**, 27, 2081.

### ② パラジウム触媒によるヘテロ芳香環の APEX 反応 ([雑誌論文] 3) 参照)

カチオン性パラジウム触媒/オルトクロロニル/ジベンゾシロール  $\pi$  拡張剤の反応系をベンゾチオフェンなどのヘテロ芳香環の APEX 反応へと応用した。PAH の APEX 反応と同様に、本反応は二重結合性の高い C2 位

APEX Reaction of Heteroaromatics



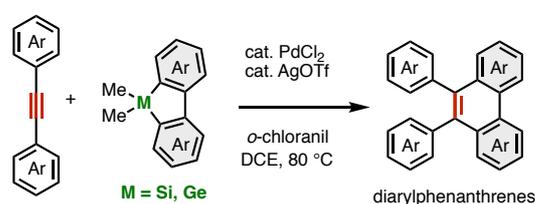
Ozaki, K.; Matsuoka, W.; Ito, H.; Itami, K. *Org. Lett.* **2017**, *19*, 1930.

-C3 位間で選択的に起こり、 $\pi$  拡張縮環チオフェン類が効率的に得られた。置換チオフェン、ベンゾフランやインドールを用いた時や、 $\pi$  拡張剤としてジベンゾゲルモール誘導体を用いた時も同様に APEX 反応が進行し、対応する  $\pi$  拡張ヘテロ芳香環が一段階でえられた。

③パラジウム触媒・ジベンゾシロールによるアルキンの APEX 反応の開発（〔雑誌論文〕 2）参照）

カチオン性パラジウム触媒/オルトクロラニル/ジベンゾシロール  $\pi$  拡張剤の反応系は一連のジアリールアセチレンとの反応によって、ジアリールフェナントレンへと誘導できることがわかった。本反応は  $\pi$  拡張 PAH やナノグラフェンの合成の合成前駆体となりうることから、有機合成化学的に非常に有用な反応となりうることが示唆された。

#### APEX Reaction of Diarylalkynes

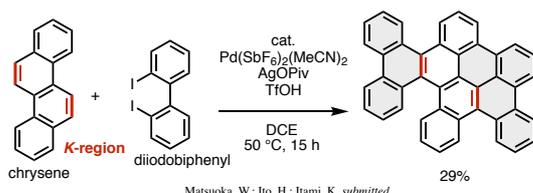


Ozaki, K.; Murai, K.; Matsuoka, W.; Kawasumi, K.; Ito, H.; Itami, K.  
*Angew. Chem., Int. Ed.* **2017**, *56*, 1381.

④パラジウム触媒・ジヨードビアリアルを用いた APEX 反応による一段階ナノグラフェン・ $\pi$  拡張ヘテロ芳香環合成（〔雑誌論文〕 1）参照）

パラジウム触媒・銀塩・TfOH 存在下で、 $\pi$  拡張剤としてジヨードビアリアルを用いた新しい APEX 反応系の開発に成功した。本反応はフェナントレン、ピレン、コアニュレン、フルオランテンといった様々な PAH を一段階で縮環  $\pi$  拡張することができる。さらにベンゾチオフェン、ピロール、インドールなどを基質として用いた場合も新たな縮環芳香環を構築することができる。本反応系はクリセンなどを基質として用いた際、クリセンの K 領域が  $\pi$  拡張されるだけでなく、反応後に生じる Fjord 領域の縮環反応が続けて進行することで、高度に縮環したナノグラフェンが一段階で得られた。このように一度に 5 つの不活性 C-H 結合を触媒的に変換する手法は他に例をみず、新たなナノグラフェン合成法として大いに期待できる。

#### Pd-Catalyzed APEX Reaction of PAHs with diiodobiphenyls



(2) Pd 触媒による APEX 反応の反応機構解明研究とホモカップリング反応への応用

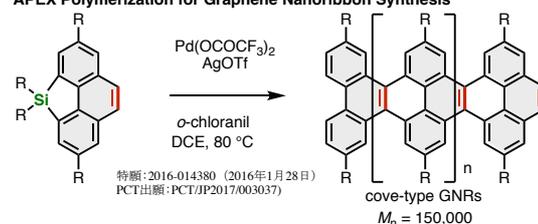
DFT 計算と MP2 計算を用い、パラジウム触媒/オルトクロラニルによる APEX 反応の

反応機構解明研究を行なった。モデル化合物としてフェナントレンを用い、トリメチルシリルベンゼンによる C-H アリール化の各素反応課程を種々検討したところ、本反応は①電子不足パラジウム・オルトクロラニル錯体の形成、②フェナントレン K 領域への選択的なパラジウム錯体の配位、③カルボメタル化、④脱プロトン化・脱メタル化、で進行することを見出した。さらに本研究で得られた知見を生かし、アリールトリメチルシラン類の新しいホモカップリング反応の開発にも成功した。これらの研究成果は論文投稿準備中である。

(3) 縮環  $\pi$  拡張重合 (APEX 重合) の発見とグラフェンナノリボン合成（〔産業財産権〕 項参照）

APEX 反応ではジベンゾシロールのような 5 員環ケイ素架橋部位と PAH の二重結合性の高い K 領域が反応する。このことを利用し、同一分子内に K 領域とケイ素架橋部位をもったケイ素架橋フェナントレン誘導体を合成し、逐次的な APEX 反応によるグラフェンナノリボン (GNR) 合成を検討した。その結果、期待通り、連続的な APEX 反応、すなわち縮環  $\pi$  拡張重合 (APEX 重合) が進行し、数平均分子量 150,000 程度の cove 型 GNR が合成可能となった。本重合反応は C-H 結合直接アリール化を重合反応へ適用した珍しい例であるばかりか、モノマーユニット間が二箇所で結合してつながる全く新しい重合反応であり、高分子学的にみても非常に興味深い。本成果は国内および国際特許申請を行っており、現在論文投稿準備中である。

#### APEX Polymerization for Graphene Nanoribbon Synthesis



(4) 結論

本研究では当初の目標通り、 $\pi$  拡張芳香環やナノグラフェンを一段階で効率的に合成できる新手法である縮環  $\pi$  拡張 (APEX = Annulative  $\pi$ -Extension) 反応の開発に成功した。また APEX 反応を重合反応へと展開することで、構造が精密に制御されたグラフェンナノリボンの一段階合成が可能となった。APEX 反応はこれまでにない全く新しい反応概念であり、ナノグラフェン、グラフェンナノリボン合成に限らず、 $\pi$  拡張ヘテロ芳香環などの効率的合成を可能にするものである（〔雑誌論文〕 総説 4）及び 10）参照）。今後は様々な反応形式の APEX 反応の開発によって、有機エレクトロニクス材料などへの応用が期待される一連の  $\pi$  拡張化合物群を網羅的にかつ効率的に合成することが可能になると期待される。

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) “Rapid Access to Nanographenes and Fused Heteroaromatics by Palladium-Catalyzed Annulative  $\pi$ -Extension Reaction of Unfunctionalized Aromatics with Diiodobiaryls”  
Wataru Matsuoka, Hideto Ito, Kenichiro Itami  
*Submitted.* (査読あり)

2) “One-Step Annulative  $\pi$ -Extension of Alkynes with Dibenzosiloles Dibenzogermoles by Palladium/o-chloranil Catalysis”

Kyohei Ozaki, Keiichiro Murai, Wataru Matsuoka, Katsuaki Kawasumi, Hideto Ito, Kenichiro Itami

*Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *56*, 1362–1364.  
DOI: 10.1002/ange.201610374 (査読あり)

*Selected as a Hot Paper. Highlighted in Synfacts*

3) “Annulative  $\pi$ -Extension (APEX) of Heteroarenes with Dibenzosiloles and Dibenzogermoles by Palladium/o-Chloranil Catalysis”

Kyohei Ozaki, Wataru Matsuoka, Hideto Ito, Kenichiro Itami

*Org. Lett.*, **2017**, *19*, 1930–1933.

DOI: 10.1021/acs.orglett.7b00684 (査読あり)

4) “Annulative  $\pi$ -Extension (APEX): An Enabling Reaction for Rapid Access to Fused Aromatics, Heteroaromatics, and Nanographenes”

Hideto Ito, Kyohei Ozaki, Kenichiro Itami

*Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *accepted articles.*

DOI: 10.1002/anie.201701058 (査読あり)

5) “A Theoretical Study on the Strain Energy of Carbon Nanobelts”

Yasutomo Segawa, Akiko Yagi, Hideto Ito, Kenichiro Itami

*Org. Lett.* **2016**, *18*, 1430–1433.

DOI: 10.1021/acs.orglett.6b00365 (査読あり)

6) “Helically Twisted Tetracene: Synthesis, Crystal Structure, and Photophysical Properties of Hexabenz[o,a,c,fg,j,l,op]tetracene”

Yuuta Yano, Hideto Ito, Yasutomo Segawa, Kenichiro Itami

*Synlett*, **2016**, *27*, 2081–2084.

DOI: 10.1055/s-0035-1561455 (査読あり)

*Selected as Synlett Best Paper Award 2016*

7) “Macrocyclization by Rh-Catalyzed Cross-Cyclotrimerization of L-Shaped Diynes with Di-tert-butyl Acetylenedicarboxylate: Effect of Bent Linkers of Diynes”

S. Nishigaki, Y. Miyauchi, K. Noguchi, H. Ito, K. Itami, Y. Shibata, K. Tanaka\*

*Eur. J. Org. Chem.* **2016**, 4668–4673.

DOI: 10.1002/ejoc.201600909 (査読あり)

8) “Construction of Covalent Organic Nanotubes by Light-Induced Cross-Linking of Diacetylene-Based Helical Polymers”

Kaho Maeda, Liu Hong, Taishi Nishihara, Yusuke Nakanishi, Yuhei Miyauchi, Ryo Kitaura, Naoki Ousaka, Eiji Yashima, Hideto Ito, Kenichiro Itami

*J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 11001–11008.

DOI: 10.1021/jacs.6b05582 (査読あり)

*Selected as the cover art in J. Am. Chem. Soc. 2016, vol.138, issue 38. Highlighted in JACS SPOTLIGHTS (J. Am. Chem. Soc. 2016, 138, 10717. DOI: 10.1021/jacs.6b08657). Most Read Article Article (Total 2343 views: accessed in 5th, Sep., 2016). Highlighted in ChemStation Spotlight Research, Academist Journal. Highlighted in News Paper: 日経産業新聞 2016 年 8 月 9 日、中日新聞 2016 年 9 月 1 日、科学新聞 2016 年 9 月 6 日. Highlighted in 34 web news*

9) “Key Structural Elements of Unsymmetrical Cyanine Dyes for Highly Sensitive Fluorescence Turn-on DNA Probe”

Kakishi Uno, Taeko Sasaki, Nagisa Sugimoto, Hideto Ito, Taishi Nishihara, Shinya Hagihara, Tetsuya Higashiyama, Narie Sasaki, Yoshikatsu Sato, Kenichiro Itami\*

*Chem. Asian J.* **2016**, *17*, 233–238.

DOI: 10.1002/asia.201601430 (査読あり)

*Highlighted in chemistry views. Most accessed article in January 2017 (First Place), and between May 2016 to April 2017 (11th place)*

10) “Structurally Uniform and Atomically Precise Carbon Nanostructures”

Yasutomo Segawa, Hideto Ito, Kenichiro Itami

*Nature Rev. Mater.* **2016**, *1*, 15002. (創刊号)

DOI: 10.1038/natrevmats.2015.2 (査読あり)

*Highlighted in natureasia.com*

11) “One-shot K-region-selective Annulative  $\pi$ -Extension for Nanographene Synthesis and Functionalization”

Kyohei Ozaki, Katsuaki Kawasumi, Mari Shibata, Hideto Ito, Kenichiro Itami

*Nature Commun.* **2015**, *6*, 6251.

DOI: 10.1038/ncomms7251 (査読あり)

*Highlighted in News Papers: 中日新聞、日刊工業新聞、財経新聞*

*Highlighted in 8 web news*

12) “Thiophene-Based, Radial  $\pi$ -Conjugation: Synthesis, Structure, and Photophysical

Properties of  
Cyclo-1,4-phenylene-2',5'-thienylenes”  
Hideto Ito, Yukari Mitamura, Yasutomo Segawa  
Kenichiro Itami  
*Angew. Chem. Int. Ed.* **2015**, *54*, 159–163.  
DOI: 10.1002/anie.201409389 (査読あり)  
*Selected as an inside cover picture in issue 1,*  
*2015. Highlighted in Synfacts 2015, 11,141.*

13) “Concise Synthesis and Facile Nanotube  
Assembly of a Symmetrically  
Multi-Functionalized Cycloparaphenylene”  
Yuta Miyauchi, Shintaro Fujii, Kohei Johmoto,  
Nobuhiro Yasuda, Hideto Ito, Kenichiro Itami,  
Hidehiro Uekusa, Manabu Kiguchi, Ken Tanaka  
*Chem. Eur. J.* **2015**, *21*, 18900.  
DOI: 10.1002/chem.201504185. (査読あり)  
*Selected as Hot Paper*

14) “Pyridylidene ligand facilitates  
gold-catalyzed oxidative C–H arylation of  
heterocycles”  
Kazuhiro Hata, Hideto Ito, Yasutomo Segawa  
Kenichiro Itami  
*Beilstein J. Org. Chem.* **2015**, *11*, 2737.  
DOI: 10.3762/bjoc.11.295 (査読あり)

[学会発表] (計 18 件)

1) 「グラフェンナノリボン合成を指向した芳香族一段階  $\pi$  拡張反応の開発」  
伊藤英人  
第三回育志賞研究発表会  
東京工業大学、2014 年 8 月 20 日

2) “One-shot K-region Selective Annulative  
 $\pi$ -Extension of Polycyclic Aromatic  
Hydrocarbons for Nanographene Synthesis”  
Hideto Ito, Kyohei Ozaki, Yuuta Yano, Mari  
Shibata, Katsuaki Kawasumi, Kenichiro Itami  
Tateshina Conference on Organic Chemistry  
2015  
Tateshina Forum, Nagano, 2015 年 11 月 13 日

3) “One-shot K-region selective annulative  
 $\pi$ -extension of polyaromatic hydrocarbons for  
nanographene synthesis”  
Hideto Ito, Kyohei Ozaki, Mari Shibata, Katsuaki  
Kawasumi, Kenichiro Itami  
2015 International Chemical Congress of Pacific  
Basin Societies (PACIFICHEM2015)  
Hawaii, USA, 2015 年 12 月 17

4) “Palladium-Catalyzed APEX Reaction for  
Synthesis of  $\pi$ -Extended Aromatics”  
Hideto Ito, Kyohei Ozaki, Mari Shibata, Yuuta  
Yano, Katsuaki Kawasumi, Kenichiro Itami  
日本化学会第 96 春季年会  
同志社大学京田辺キャンパス、京都、2016 年  
3 月 26 日

5) “らせん高分子の光架橋反応による共有結合性有機ナノチューブの合成”  
Hideto Ito, Kaho Maeda, Michihisa Toya, Liu  
Hong, Taishi Nishihara, Yusuke Nakanishi,  
Yuhei Miyauchi, Ryo Kitaura, Naoki Ousaka,  
Eiji Yashima, Kenichiro Itami  
第 27 回基礎有機化学討論会  
広島国際会議場、広島、2016 年 9 月 1 日

6) “Construction of covalent organic nanotubes  
by light-induced cross-linking of helical  
polymers”  
Hideto Ito, Kaho Maeda, Michihisa Toya, Liu  
Hong, Taishi Nishihara, Yusuke Nakanishi,  
Yuhei Miyauchi, Ryo Kitaura, Naoki Ousaka,  
Eiji Yashima, Kenichiro Itami  
第 65 回高分子学討論会  
神奈川大学横浜キャンパス、横浜、2016 年 9  
月 14 日

7) “Palladium-Catalyzed Annulative  $\pi$ -Extension  
Reactions for Synthesis of  $\pi$ -Extended  
Aromatics”  
Hideto Ito, Wataru Wataru, Mari Shibata, Kyohei  
Ozaki, Katsuaki Kawasumi, Keiichiro Murai,  
Kenichiro Itami  
第 63 回有機金属化学討論会  
早稲田大学西早稲田キャンパス、東京、2016  
年 9 月 15 日

8) “Chemistry Experiment Using  
Suzuki-Miyaura Cross-Coupling Reaction as  
Fascinating Liberal Arts Education in  
University”  
Hideto Ito  
日本化学会第 97 春季年会  
慶応義塾大学日吉キャンパス、神奈川、2017  
年 3 月 16 日

9) 「身近な生活から学ぶ革新的有機ナノチューブ合成法の開発」  
伊藤英人  
わかしやち奨励賞優秀提案発表会 (研究交流  
クラブ 180 回定例会)  
あいち産業科学技術総合センター、愛知、  
2017 年 1 月 30 日

10) 「ナノグラフェン・ナノチューブ合成の  
分子アーキテクニクス」  
伊藤英人  
The 1st ACE meeting  
京都大学宇治キャンパス、京都、2016 年 11  
月 26 日

11) 「ナノグラフェン・ナノチューブ合成の  
新展開」  
伊藤英人  
第 1 回有機若手ワークショップ  
京都大学理学研究科セミナーハウス、京都、  
2016 年 11 月 10 日

12) 「helix-to-tube 法による新たな有機ナノチューブ合成法の開発」

伊藤英人

高分子同友会関西勉強会

薬業年金会館、東京、2017年2月17日

13) 「ナノグラフェン・グラフェンナノリボン・ナノチューブの精密合成」

伊藤英人

第8回原子層科学全体会議

東京大学、東京、2017年1月26日

14) “Construction of covalent organic nanotubes by light-induced cross-linking of helical polymers”

Hideto Ito

Tateshina Conference on Organic Chemistry 2016

Tateshina Forum, Nagano, 2016年11月12日

15) “世界で一番うすい物質のはなし”

伊藤英人

名古屋大学オープンレクチャー2017

名古屋大学、愛知、2017年3月20日

16) “Palladium-Catalyzed Annulative  $\pi$ -Extension (APEX) Reactions for Synthesis of  $\pi$ -Extended Aromatics”

International Symposium on Pure&Applied Chemistry 2017 (ISPAC2017)

Hideto Ito

Ho Chi Minh City, Vietnam, 2017年6月8-10日

17) “Construction of Covalent Organic Nanotubes by Light-Induced Cross-Linking of Helical Polymers”

Hideto Ito

The 8th Annual Global Congress of Catalysis 2017 (GCC-2017)

Shanghai, China, 2017年10月22-22日

18) "Helix-to-Tube Strategy for Construction of Covalent Organic Nanotubes"

Hideto Ito

The 6<sup>th</sup> TOYOTA RIKEN International Workshop on Chirality in Soft Matter

Toyota Commemorative Museum of Industry and Technology, Nagoya, 2017年11月24-26日

[4]

[図書] (計2件)

1). 「理系基礎化学実験、第1版、第9冊、10冊、11冊」、学術図書出版  
村田静昭、浦野扶美、吉村正宏、伊藤英人  
ISBN: 978-4-7806-0143-5

2) “Cross-Dehydrogenative-Coupling Reactions without Metals”, “From C-H to C-C Bonds :

Cross-Dehydrogenative-Coupling” (Eds: Chao-Jun Li, DOI: 10.1039/9781782620082), Chapter 8, Royal Society of Chemistry, 2015, 153–196.

Hideto Ito, Kirika Ueda, Kenichiro Itami

DOI: 10.1039/9781782620082-00153.

Print ISBN: 978-1-84973-797-5

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称: ポリマー及びその製造法

発明者: 伊藤英人、伊丹健一郎、矢野裕太、三苦信彦、宮内雄平

権利者: 伊藤英人、伊丹健一郎、矢野裕太、三苦信彦、宮内雄平

種類: 特許

番号: 特願 2016-014380、PCT/JP2017/003037

出願年月日: 2016年1月28日および2017年1月27日

国内外の別: 国内および国際出願

名称: らせん構造を有する化合物及びそれを用いた有機ナノチューブ

発明者: 伊藤英人、前田果歩、伊丹健一郎

権利者: 伊藤英人、前田果歩、伊丹健一郎、種類: 特許

番号: 特願 2014-181724

出願年月日: 2014年9月5日

国内外の別: 国内出願

[その他]

ホームページ等:

<http://synth.chem.nagoya-u.ac.jp/wordpress/staff/itohideto>

プレスリリース等:

1) 「市販の化合物から炭素のシートを一気に伸ばす～新触媒と新反応でナノグラフェンの精密合成が可能に～」

名古屋大学、科学技術振興機構 (J S T)

<http://www.jst.go.jp/pr/announce/20150216-2/index.html>, 2015年2月16日

2) 「全く新しい有機ナノチューブの簡便な合成に成功～延ばして、巻いて、固めて、チューブの出来上がり～」

科学技術振興機構 (J S T)、名古屋大学

<http://www.jst.go.jp/pr/announce/20160805-2/index.html>, 2016年8月5日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤英人 (HIDETO ITO)

名古屋大学・教養教育院・講師

研究者番号: 70706704

(2) 研究分担者: なし

(3) 連携研究者: なし

(4) 研究協力者: なし