

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04773

研究課題名(和文) 活性点が構造制御されたナノ炭素材料の合成法と解析法の確立

研究課題名(英文) Establishment of synthesis and analysis methods for nanocarbon materials with structure-controlled active sites

研究代表者

山田 泰弘 (Yamada, Yasuhiro)

千葉大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：90546780

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、活性点(ピリジニック窒素、ピローリック窒素、第3級窒素、5-7員環等)を選択的に導入した炭素材料の合成を行った。これらの研究を通して、計算化学(反応分子動力学計算や密度汎関数法によるエネルギー計算)を適用し、構造制御された炭素材料の原料をスクリーニングする技術確立した。活性点が選択的に導入された炭素材料の合成においては、原料の骨格構造の反応性を利用し、原料を減圧下で加熱するシンプルな方法で構造制御された炭素材料の合成に成功した。また、種々の分析に加えて、密度汎関数法による計算や、反応分子動力学計算などを組合せ、炭素材料の構造制御に求められる原料構造を明確化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

炭素材料は、電極や触媒担体、吸着剤、補強材等に応用されている。しかし、その性能を大幅に向上させるためには窒素などのヘテロ元素を導入し、その構造を制御するなどの新たな合成法が必要とされていた。しかし、既存の炭素材料の多くは、構造が複雑で種々の結合状態が混在しており、その性能や耐久性に大きな問題があった。さらに、複雑な構造を推定することは極めて困難であり、その構造解析法の開発が求められていた。本研究では、構造制御された炭素材料の合成技術の確立を行った。これによって、長年曖昧になっていた炭素材料の基盤を構築でき、近い将来炭素材料を必要とする種々の応用に関する問題が解決されると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Carbon materials with selectively introduced active sites (pyridinic nitrogen, pyrrolic nitrogen, tertiary nitrogen, 5-7 membered rings, etc.) were synthesized. Through these studies, a technique for screening raw materials for structure-controlled carbon materials was established by applying computational chemistry (molecular dynamics simulation with a reactive force field and density functional theory calculations). In the synthesis of carbon materials with selectively introduced active sites, structure-controlled carbon materials were successfully synthesized by a simple method of heating raw materials under reduced pressure, utilizing the reactivity of the skeletal structure of the raw materials. In addition to various analyses, density functional theory calculations and molecular dynamics simulation with a reactive force field were combined to clarify the raw material structure required for structural control of carbon materials.

研究分野：炭素材料

キーワード：炭素材料 構造制御 含窒素官能基 5-7員環 5員環 第3級窒素 ピローリック窒素 ピリジニック窒素

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

グラフェンナノリボン (GNR) (図1) [P Ruffieux, *Nature* 2016、J Cai, *Nature* 2010]などのナノ炭素材料は、エッジ構造が制御されており、優れた電気、化学的特性から、触媒や電極 (燃料電池やリチウムイオン二次電池) 等で注目されている。このジグザグエッジ (図1a) は、反応性が高く官能基の修飾が容易で、対してアームチェアエッジ (図1b) では、ピリジニック窒素の隣の炭素が燃料電池で高活性を示すが (図2)、詳細はまだ明確でない [J Nakamura, *Science* 2016]。このような活性点が選択的に導入された GNR を応用するためには大量合成が必要であるが、**触媒作用を示す金属基板が必須なため大量合成が困難**で、ヘテロ元素を含む GNR の報告例は僅かである。

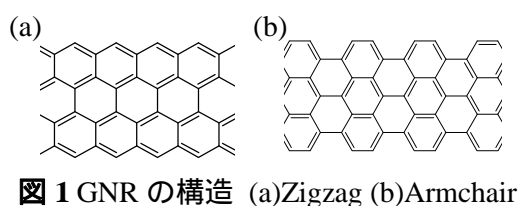


図1 GNR の構造 (a)Zigzag (b)Armchair

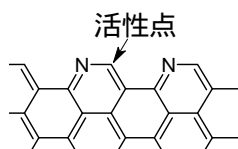


図2 酸素還元反応の活性点

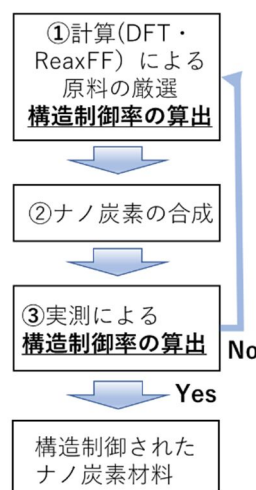


図3 構造制御法のフローチャート

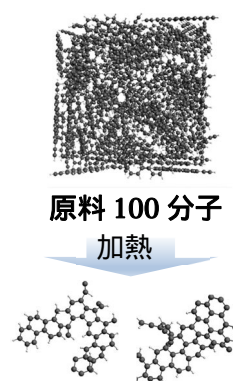


図4 ReaxFFでの計算結果 [Carbon 122 (2017) 694-701]

### 2. 研究の目的

本研究では図3に示す方法により、密度汎関数 (DFT) によるエネルギー計算や反応分子動力学計算 (ReaxFF) により、構造制御される可能性のある原料を計算により加熱し (図4)、加熱後の構造制御状態を独自の定義である「構造制御率 (ReaxFF)」として計算結果を数値化する。その値を比較することで種々の構造制御された炭素材料の合成に最適な原料を短時間で厳選し、実際に炭素材料を合成する。エッジ構造については、 $sp^2C-H$  面外変角・伸縮振動を赤外分光分析 (IR) で主に測定し、ヘテロ元素を含むエッジ構造を判別する。構造制御状態を IR や X線光電子分光分析 (XPS) で実測により数値化する。計算により算出したピーク位置や半値幅と実測値を比較することで構造制御状態や熱分解過程を特定する。計算と実験で構造制御率を比較して構造制御に必要な要因を明らかにし、高い構造制御率を目指す。

### 3. 研究の方法

活性点が選択的に導入された炭素材料の合成においては、原料の骨格構造の反応性や、反応性の高い官能基を導入することにより、原料を減圧下で加熱するシンプルな方法で、高活性が期待できるピリジニック窒素やピロール窒素、第3級窒素、5員環、5-7員環等とその周辺構造が構造制御された炭素材料を合成した。具体的には、原料 (芳香族化合物または臭素化した芳香族化合物) と場合によっては比表面積の高い担体をガラスまたは石英製のチューブにグローブボッ

クス内に入れ、減圧下でアンプル管を作成し、このアンプル管を 400 - 700°Cで加熱を行った。炭素化後の材料は、XPS、IR、Raman、NMR、元素分析などで分析した。また ReaxFF 等により得られた構造を実測で得られた構造のスペクトル計算を行い、実測スペクトルが説明できることを示した。計算は、炭素化過程の計算や構造制御率の計算について ReaxFF で計算を行った。スペクトル計算やエネルギー計算については Gaussian16 ( b3lyp/6-31g(d) ) を使用した。

#### 4 . 研究成果

本研究では、触媒を使用することなく、活性点 (ピリジニック窒素 ( 92% ) [Carbon 198 (2022) 411-434]や第 3 級窒素 ( 92-98% ) [Carbon 203 (2023) 498-522]、ピロール窒素 ( 94% ) [Carbon 222 (2024) 118904]、5 員環 (96%(原料との比較の値))[Carbon 213 (2023) 118188]、5-7 員環 ( 90% ) [Carbon Rep. 3 (2024) 77-96]等 ) を選択的に導入した炭素材料の合成を行った。これらの研究を通して、計算化学 ( 反応分子動力学計算や密度汎関数法によるエネルギー計算 ) を適用し、構造制御された炭素材料の原料をスクリーニングする技術を確立した。活性点が選択的に導入された炭素材料の合成においては、原料の骨格構造の反応性を利用し、原料を減圧下で加熱するシンプルな方法で構造制御された炭素材料の合成に成功した。活性点として報告されている環内で C-H が隣に存在するピリジニック窒素も適切な原料選択することにより達成することができることが分かった[Carbon 207 (2023) 270-291]。

また、炭素材料の構造制御に求められる原料構造を明確化するため、種々の分析 ( IR、Raman 分光分析、元素分析、XPS、NMR ) に加えて、密度汎関数法による計算や、反応分子動力学計算などを組合せ、炭素材料の分析技術を確立し、含窒素炭素材料の構造解析の精度を大幅に向上した[Carbon 222 (2024) 118904, Carbon Rep. 3 (2024) 77-96, Carbon 213 (2023) 118188, Carbon 203 (2023) 498-522, Carbon 198 (2022) 411-434, J. Mater. Sci. 57 (2022) 7503-7530、 J. Mater. Sci. 56 (2021) 15798-15811]。

さらなる高精度構造解析法の確立を目指し、種々の構造の異なるグラフェンやグラフェンナノリボンの XPS による計算を行い、同じ官能基でも結合状態や隣接状態の違いによりそのピーク位置は大きく異なることを示した[Carbon 185 (2021) 342-367、 J. Mater. Sci. 56 (2021) 15798-15811]。特にこれまで、pyrrolic 窒素とされていたピークが第 3 級である可能性や、第 4 級窒素とされていたピークが第 3 級窒素である可能性について実測と計算を使用して証明した。

これらの構造制御された炭素材料は、今後種々の応用に利用され、これまで不明確であった炭素材料の構造と性能との関係が明確になることが期待できる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ohtsubo Naoto, Gohda Syun, Gotoh Kazuma, Sato Satoshi, Yamada Yasuhiro	4. 巻 207
2. 論文標題 Bottom-up synthesis of pyridinic nitrogen-containing carbon materials with C?H groups next to pyridinic nitrogen from two-ring aromatics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 270 ~ 291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2023.02.019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Taguchi Taisei, Gohda Syun, Gotoh Kazuma, Sato Satoshi, Yamada Yasuhiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Synthesis of carbon materials with extremely high pyridinic-nitrogen content and controlled edges from aromatic compounds with highly symmetric skeletons	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Carbon Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42823-023-00482-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamada Yasuhiro, Sato Hayato, Gohda Syun, Taguchi Taisei, Sato Satoshi	4. 巻 203
2. 論文標題 Toward strategical bottom-up synthesis of carbon materials with exceptionally high basal-nitrogen content: Development of screening techniques	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 498 ~ 522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2022.11.043	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamada Yasuhiro, Tanaka Haruki, Tanaka Yosuke, Kubo Shingo, Taguchi Taisei, Sato Satoshi	4. 巻 198
2. 論文標題 Toward strategical bottom-up synthesis of carbon materials with exceptionally high pyridinic-nitrogen content: Development of screening techniques	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 411 ~ 434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2022.06.069	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mori Kumiko, Kim Jungpil, Kubo Shingo, Yamada Yasuhiro	4. 巻 57
2. 論文標題 Effects of molecular shapes, molecular weight, and types of edges on peak positions of C1s X-ray photoelectron spectra of graphene-related materials and model compounds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 15789 ~ 15808
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-022-07599-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohtsubo Naoto, Gohda Shun, Sato Satoshi, Yamada Yasuhiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Bottom-up Synthesis of Pyridinic-Nitrogen Doped Carbon Materials from Brominated Two-fused-ring Aromatics at Low Carbonization Temperatures	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Carbon Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7209/carbon.020202	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawai Ryohei, Yamada Yasuhiro, Gohda Syun, Sato Satoshi	4. 巻 57
2. 論文標題 Bottom-up synthesis of carbon materials with high pyridinic-nitrogen content from dibenzacridine isomers with zigzag and armchair edges	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 7503 ~ 7530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-022-07104-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamada Yasuhiro, Tanaka Haruki, Kubo Shingo, Sato Satoshi	4. 巻 185
2. 論文標題 Unveiling bonding states and roles of edges in nitrogen-doped graphene nanoribbon by X-ray photoelectron spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 342 ~ 367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2021.08.085	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kato Tomofumi, Yamada Yasuhiro, Nishikawa Yasushi, Otomo Toshiya, Sato Hayato, Sato Satoshi	4. 巻 56
2. 論文標題 Origins of peaks of graphitic and pyrrolic nitrogen in N1s X-ray photoelectron spectra of carbon materials: quaternary nitrogen, tertiary amine, or secondary amine?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 15798 ~ 15811
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-021-06283-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kanazawa Shuhei, Yamada Yasuhiro, Gohda Syun, Sato Satoshi	4. 巻 56
2. 論文標題 Bottom-up synthesis of oxygen-containing carbon materials using a Lewis acid catalyst	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 15698 ~ 15717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-021-06284-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 I. Kuno, A. Sato, S. Gohda, S. Sato, Y. Yamada	4. 巻 213
2. 論文標題 Bottom-up synthesis of carbon materials with an exceptionally high percentage of pentagons or tertiary nitrogen by brominating precursors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 118188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2023.118188	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Sato, K. Gotoh, S. Sato, Y. Yamada	4. 巻 222
2. 論文標題 Toward strategical bottom-up synthesis of carbon materials with exceptionally high pyrrolic-nitrogen content: development of screening techniques	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 118904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2024.118904	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Sato, M. Nakamura, S. Sato, Y. Yamada	4. 巻 3
2. 論文標題 Bottom-up synthesis of carbon materials with high proportions of pentagons and heptagons using brominated precursors	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Carbon Rep.	6. 最初と最後の頁 77-96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7209/carbon.030203	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31件(うち招待講演 2件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 山田泰弘
2. 発表標題 含窒素炭素材料における原料のスクリーニング法の開発
3. 学会等名 第49回炭素材料学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤有紗, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 臭素導入によるpyrrolic窒素含有炭素材料の合成
3. 学会等名 第49回炭素材料学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 根岸佑衣, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 含窒素官能基が制御されたグラフェンナノリボンの合成
3. 学会等名 第49回炭素材料学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuhiro Yamada
2. 発表標題 Detecting and controlling defects in carbon materials
3. 学会等名 Australian Carbon Society (Carbon Webinar) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田泰弘
2. 発表標題 X線光電子分光分析による含窒素炭素材料中のグラフィティック窒素・ピロールの起源と炭素化状態やエッジ構造の解明
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久野一心, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 臭素化による炭素材料中の5員環・ペーサルアミンの制御
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大坪尚人, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 活性点が制御されたピリジニックカーボン材料の合成
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 田口大晟, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 ピリジニック窒素およびエッジ構造が制御された炭素材料の合成
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 根岸佑衣, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 キノリン・ナフチリジン骨格を有するピリジニックカーボン材料の合成
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤有紗, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 5員環構造を有する含窒素炭素材料の合成
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安田堯史, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 トリアジン骨格原料を用いた含窒素炭素材料の合成
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川合峻平, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 異骨格前駆体を用いたピリジニック窒素含有炭素材料の構造制御
3. 学会等名 第16回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤有紗, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 臭素化による含窒素炭素材料中の5員環構造の制御
3. 学会等名 第16回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田口大晟, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 特定のエッジ構造を有するピリジニック窒素含有炭素材料の合成
3. 学会等名 第16回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大坪尚人, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 エッジ構造を保持したピリジニックカーボン材料の合成
3. 学会等名 第16回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久野一心, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 臭素化による5員環・ペーサルアミンを有する炭素材料の合成
3. 学会等名 第16回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 根岸佑衣, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 臭素化された原料を用いたピリジニックカーボン材料の合成
3. 学会等名 第16回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安田堯史, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 トリアジン構造を維持した含窒素炭素材料の合成
3. 学会等名 第16回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木峻伸, 山田泰弘, 川合峻平, 田口廣臣, 佐藤智司
2. 発表標題 1,10-Phenanthroline骨格を有する炭素材料の構造制御
3. 学会等名 第16回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田泰弘
2. 発表標題 炭素材料における5員環、SOL0、ピリジニック窒素、ピロリック窒素、第3級窒素の構造制御
3. 学会等名 第20回 酸化グラフェンナノシートシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Yamada
2. 発表標題 Structural control of carbon materials with exceptionally high pentagon, SOL0, pyridinic, pyrrolic, and tertiary nitrogen content without catalysts
3. 学会等名 第50回炭素材料学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大坪尚人, 郷田隼, 佐藤智司, 山田泰弘
2. 発表標題 高密度ピリジニック窒素含有炭素材料の合成とその高比表面積化
3. 学会等名 繊維学会関東支部2022年度講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 蒲荔芝, 山本 うらら, 佐藤智司, 山田泰弘
2. 発表標題 Carbon materials with pyridinic nitrogen synthesized from unfused precursors
3. 学会等名 第50回炭素材料学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤有紗, 佐藤智司, 山田泰弘
2. 発表標題 Pyrrolic窒素が制御された炭素材料の合成
3. 学会等名 第90回日本分析化学会有機微量分析研究懇談会 第122回計測自動制御学会力学量計測部会 第40合同シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 蒲荔芝, 山本うらら, 佐藤智司, 山田泰弘
2. 発表標題 ビリジニック窒素を含有する構造制御された炭素材料の合成
3. 学会等名 第90回日本分析化学会有機微量分析研究懇談会 第122回計測自動制御学会力学量計測部会 第40合同シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 近藤烈, 山田泰弘, 佐藤智司
2. 発表標題 エチニル基含有芳香族化合物による含窒素炭素材料の構造制御
3. 学会等名 第90回日本分析化学会有機微量分析研究懇談会 第122回計測自動制御学会力学量計測部会 第40合同シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 近藤烈, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 エチニル基含有芳香族化合物を用いた含窒素炭素材料の合成
3. 学会等名 日本化学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 蒲蒨芝, 山田泰弘, 阿部功幹, 佐藤智司
2. 発表標題 ジグザグやアームチェアエッジを有する含窒素グラフェンナノリボンの赤外分光分析とラマン分光分析による構造解析
3. 学会等名 日本化学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Yamada
2. 発表標題 Synthesis of carbon materials with exceptionally high pyridinic, pyrrolic, and tertiary nitrogen content without catalysts
3. 学会等名 Carbon 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Yamada
2. 発表標題 Unveiling bonding states, types of edges, and the presence of pentagons and heptagons in carbon materials by X-ray photoelectron spectroscopy
3. 学会等名 Carbon 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Yamada
2. 発表標題 Strategical bottom-up synthesis of selectively-doped nitrogen-containing carbon materials using screening techniques
3. 学会等名 Carbon 2023
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 含窒素炭素材料の製造方法	発明者 山田泰弘、大坪尚人、久野一心、佐藤有紗、根岸佑衣ら	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2023-056944	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 窒素含有炭素材料及びその製造方法	発明者 山田泰弘、川合峻平、鈴木峻伸、田口廣臣	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-190446	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ピリジニック窒素を選択的に導入した含窒素炭素材料の製造方法	発明者 山田泰弘、山本うらら、郷田隼	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-077731	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

千葉大学 工学研究院 山田泰弘 <a href="http://chem.tf.chiba-u.jp/~y-yamada/publication.htm">http://chem.tf.chiba-u.jp/~y-yamada/publication.htm</a> Yasuhiro Yamada <a href="http://chem.tf.chiba-u.jp/~y-yamada/publication.htm">http://chem.tf.chiba-u.jp/~y-yamada/publication.htm</a>
--

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