

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04833

研究課題名(和文) ナノ炭素材料のエッジ構造制御

研究課題名(英文) Control of edge structures on nano carbon materials

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：グラフェンなどの炭素材料材料の特性の飛躍的向上には、エッジやヘテロ元素などの種々の欠陥導入が必要不可欠である。しかし既存の導入法では、複数種の欠陥が導入され構造が複雑化してしまい、構造と特性の関係が不明確であった。本研究では、エッジ構造の異なるナノ炭素材料やヘテロ元素、5員環を選択的に導入したナノ炭素材料の合成を目指し、炭素材料のエッジやその他の欠陥の構造解析法や反応機構の詳細な解析手法を確立した。本研究により7報の論文、22件の学会発表、4件の特許出願を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

グラフェンなどの炭素材料材料の特性の飛躍的向上には、エッジやヘテロ元素などの種々の欠陥導入が必要不可欠である。しかし既存の導入法では、複数種の欠陥が導入され構造が複雑化してしまい、構造と特性の関係が不明確であった。本研究で、エッジ構造やヘテロ元素、5員環を選択的に導入したナノ炭素材料の合成方法や、分析方法を確立したことにより、今後さらに多種類の構造制御された炭素材料の合成やより精度の高い構造解析につながる。

研究成果の概要(英文)：The introduction of various defects, such as edges and hetero atoms, is essential to dramatically improve the properties of carbon materials such as graphene. However, in the reported methods, various types of defects are introduced, resulting in complicated structures, and the relationship between structure and properties was unclear. In this study, we attempted to synthesize nanocarbon materials with different edge structures, heteroatoms, and five-membered rings, and established a method for structural analysis of the edges and the other defects in carbon materials and detailed analysis of the reaction mechanism. Through this research, we have published 7 papers. We have presented 22 conference presentations. Besides, we submitted 4 patent applications.

研究分野：炭素材料

キーワード：炭素材料 構造制御 エッジ ヘテロ元素 5員環 反応分子動力学計算 X線光電子分光分析 赤外分光分析

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

グラフェンなどのナノ炭素材料は、優れた機械、電気、化学的特性から、触媒や電極等の分野で注目されている。特にグラフェンナノリボン(図1)は、エッジ構造が制御されており、さらに幅の調節でバンドギャップの制御が容易なため注目を集めている。例えば、ジグザグエッジ(図2)は、アームチェアやBay構造などよりも反応性が高く官能基の修飾が容易であり、水素貯蔵や触媒反応(水素化反応)に有効である。しかし、ナノリボンの合成には触媒として働く金属基板が必要で、大量合成が困難であった。また、窒素や金属などのヘテロ元素を導入し、燃料電池やリチウムイオン二次電池などの電極の特性向上を行う研究が進められているが、ヘテロ元素を含むナノリボンはほとんど開発されていない。特にヘテロ元素を含む炭素材料においては、1種類の活性点(エッジやヘテロ元素を含む官能基)の導入が困難で、一般的には複数種エッジや官能基が導入されてしまい、特性向上に寄与する構造を特定できていない。つまり1種類の活性点を高密度に導入した構造制御されたナノ炭素材料の大量合成法の開発と、活性点の明確化や定量化が長年の課題であった。

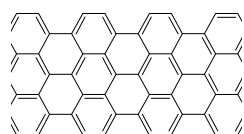


図1 グラフェン
ナノリボンの構造

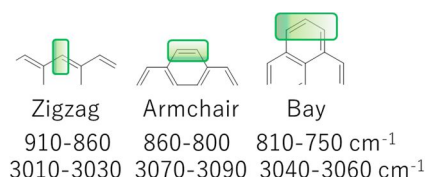


図2 エッジ構造の定義と IR での
アサインメント例

2. 研究の目的

グラフェンなどのナノ炭素材料材料の特性の飛躍的向上には、エッジやヘテロ元素などの種々の欠陥導入が必要不可欠である。しかし既存の導入法では、複数種の欠陥が導入され構造が複雑化してしまい、構造と特性の関係が不明確であった。これは、複雑な構造を解析し、スペクトルを得ることは容易いものの、そのスペクトルから複雑な構造を復元するには情報が足りず、詳細な解析が行えないいわゆる逆問題と呼ばれる問題が原因であった(図3a)。

そこで本研究では、エッジ構造の異なるナノ炭素材料やヘテロ元素、5員環を選択的に導入したナノ炭素材料の合成を目指し、エッジ構造やヘテロ元素や5員環が導入された炭素材料を、種々の分析や計算を使用して、構造解析を詳細に行った(図3b)。

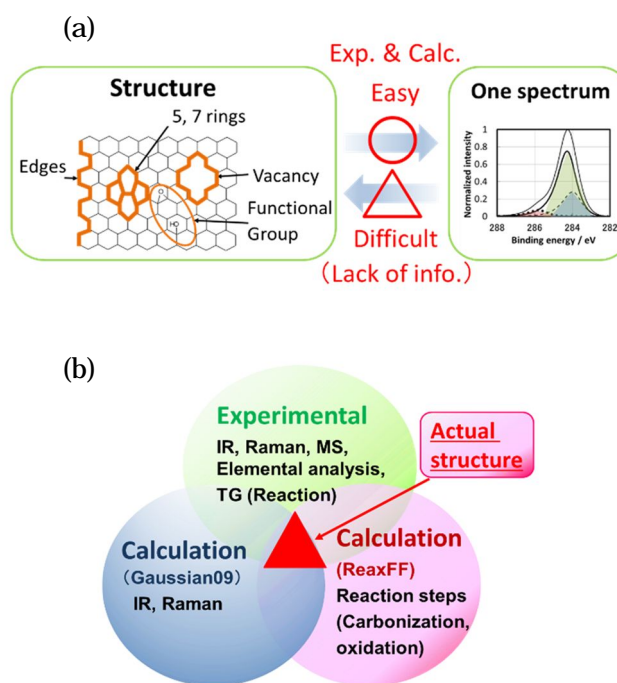


図3 炭素材料の構造解析の問題点(a)と本研究での構造解析法(b) [1]。

3. 研究の方法

(1) エッジ構造定量化と構造解析技術の確立

炭素材料は、赤外分光分析(IR)の sp²C-H の伸縮振動(3000-3100 cm⁻¹)に面外変角振動(700-900 cm⁻¹)(図4)による面積比に感度を組合せ、互いを掛合せることでエッジ構造を2次的に高精度で定量した。それぞれのピークに起因するピーク面積に感度係数を掛け、エッジ構造を構造制御率として数値化し(図4)、反応分子動力学計算(ReaxFF)より算出した構造制御率と実測を比較した。構造をさらに明確化するため、元素分析も同時に測定した。また、IRに加え、ヘテロ元素を含む炭素材料の構造解析に利用されるX線光電子分光分析(XPS)と計算を組み合わせることにより、炭素材料の構造を詳細に解析した。

(2) エッジ、5員環、ヘテロ元素を含む炭素材料の構造制御

本研究では、エッジ構造の異なる炭素材料やヘテロ元素、5員環を選択的に導入した炭素材料

の合成を目指し、原料を実際に減圧下の石英製アンプル管中で 800-1000K に加熱することにより触媒作用を示す金属基板を用いずに、原料構造を厳選するだけで構造制御された炭素材料を大量合成した。この炭素材料の原料の厳選には、反応分子動力学計算を使用した。

4. 研究成果

(1) エッジ構造定量化と構造解析技術の確立

本研究では、エッジ構造の異なるナノ炭素材料の合成を目指し、ジグザグエッジやアームチェアエッジ、ジグザグライクエッジなどを含む芳香族化合物の原料を加熱し、構造制御状態を数値化する方法を開発した。特に赤外分光分析はこれまで炭素材料のエッジの構造解析にはほとんど利用されてこなかったが、簡単な分析でデータが得られる赤外分光分析における C-H 面外変角振動と C-H 伸縮振動とを組み合わせることによりエッジ構造を数値化することに成功した[2]。また、6員環に加えて5員環を含む芳香族化合物も測定し、5員環を含む炭素材料の構造解析にも応用できる分析技術を確立した。

元素分析や反応分子動力学計算、ラマン分光分析と密度汎関数法によるスペクトル計算を合わせて解析することにより、エッジ構造を多角的分析により詳細に解析することに成功した[1]。ジグザグエッジやアームチェアエッジを含む炭素材料においては、酸素との反応性にも違いが明確に表れ、反応性からも異なるエッジ状態の炭素材料が調製できることを示した[1]。この構造解析手法を用いて、一般的な炭素材料の詳細な構造解析にも応用することができた[3]。

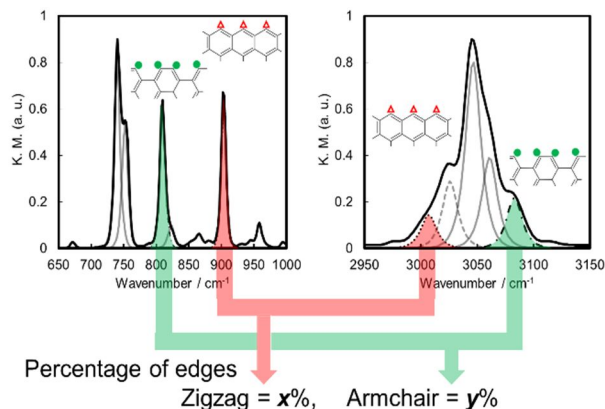


図4 IRの2か所の領域(2次元)を解析したエッジ構造の新たな定量法の確立 [2]

(2) エッジ、5員環、ヘテロ元素を含む炭素材料の構造制御

5員環を含むナノ炭素材料の構造制御には、5員環が5つの6員環が周囲に存在することが重要で[4,5]、5員環を含むナノ炭素材料の構造制御には6員環に囲まれた5員環を原料とする必要があり、臭素化により炭素化温度を低下させることで、5員環を制御しやすくなることがわかった[6]。

ピリジニック窒素の制御には原料構造内のピリジニック窒素と原料の炭素の反応性の考慮と立体障害によるピリジニック窒素を保護する方法が有効であることが分かり、炭素化後の構造の立体障害作用によりピリジニック窒素を保護する方法が有効であることがわかった[7-13]。ペーサルアミンの選択的導入には、6員環や5員環、さらにペーサルアミンを含む原料が効果的であることがわかった[14-16]。

フラン環の選択的導入においても原料構造が大きく影響していることが分かり、フランを含む原料を炭素化することにより、その骨格原料の違いからフラン構造の制御率の異なる炭素材料を調製した[17,18]。また、フロログルシノールという OH 基を含む原

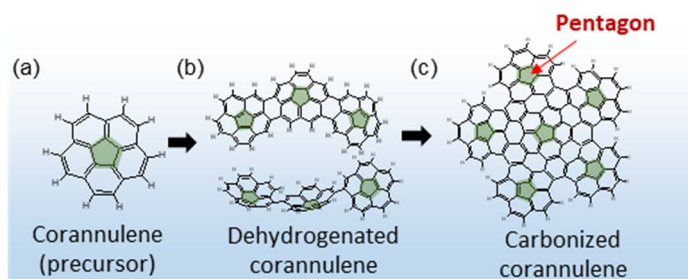


図5 コラニュレンを用いた炭素材料の推定される生成過程[4]

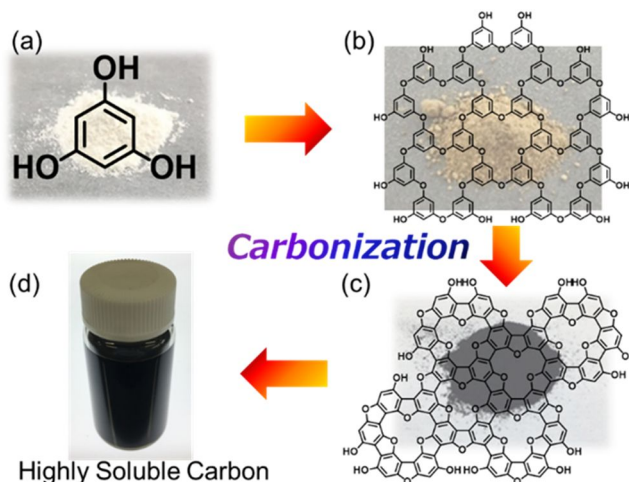


図6 フロログルシノールを原料として用いた炭素材料の調製[19]

料を加熱することで、ジベンゾフラン様構造を含む炭素材料を調製し、触媒を使用することにより、構造の制御状態が向上できることが分かった[19,20] (図6)。

これまでに、ピリジニック窒素やベーサルアミン、5員環を含む炭素材料は、種々の応用で高い特性を示すことが報告されており、さらなる構造制御された炭素材料の大量合成法の確立を急ぐ必要がある。

<引用文献>

- [1] Y. Yamada, M. Kawai, H. Yorimitsu, S. Otsuka, M. Takanashi, S. Sato, Carbon materials with zigzag and armchair edges, ACS Appl. Mater. Interfaces 10 (2018) 40710-40739.
<https://doi.org/10.1021/acsami.8b11022>
- [2] T. Sasaki, Y. Yamada, S. Sato, Quantitative analysis of zigzag and armchair edges on carbon materials with and without pentagons using infrared spectroscopy, Anal. Chem. 90 (2018), 10724-10731.
<https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b00949>
- [3] T. Kato, Y. Yamada, Y. Nishikawa, H. Ishikawa, S. Sato, Carbonization mechanisms of polyimide: methodology to analyze carbon materials with nitrogen, oxygen, pentagons, and heptagons, Carbon 178 (2021) 58-80.
<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.02.090>
- [4] N. Diana, Y. Yamada, S. Gohda, H. Ono, S. Kubo, S. Sato, Carbon materials with high pentagon density, J. Mater. Sci. 56 (2021) 2912-2943.
<https://doi.org/10.1007/s10853-020-05392-x>
- [5] 山田泰弘、ノルアマリナ ディアナ ピンティ ナサルッディン、郷田隼、小野博信、特開 2020-083692、炭素材料膜及びその製造方法 (出願日 平成 30 年 11 月 22 日)
- [6] 久野一心、山田泰弘、佐藤智司、臭素化を用いた高密度 5 員環含有炭素材料の合成, 第 14 回酸化グラフェン研究会, 2020 年.
- [7] 山田泰弘、川合峻平、郷田隼、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、特願 2020-067152 (出願日 令和 2 年 4 月 3 日)
- [8] 山田泰弘、川合峻平、田口大成、大坪尚人、郷田隼、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、特願 2020-195781 (出願日 令和 2 年 11 月 26 日)
- [9] 川合峻平、山田泰弘、郷田隼、佐藤智司、骨格変化によるピリジニック窒素含有炭素材料の構造制御, 第 14 回酸化グラフェン研究会, 2020 年.
- [10] 田口大晟、山田泰弘、郷田隼、佐藤智司、エッジとピリジニック窒素が制御された炭素材料, 第 14 回酸化グラフェン研究会, 2020 年.
- [11] 大坪尚人、山田泰弘、郷田隼、佐藤智司、2 環芳香族化合物を用いたピリジニックカーボン材料の合成, 第 14 回酸化グラフェン研究会, 2020 年.
- [12] 川合峻平、山田泰弘、郷田隼、佐藤智司、構造制御されたピリジニック窒素含有炭素材料の合成, 第 47 回炭素材料学会年会, 2020 年.
- [13] 田口大晟、山田泰弘、郷田隼、佐藤智司、高対称性骨格原料を用いたピリジニック窒素含有炭素材料の合成, 第 47 回炭素材料学会年会, 2020 年.
- [14] 山田泰弘、佐藤颯斗、郷田隼、ベーサル窒素を選択的に導入した含窒素炭素材料およびその製造方法、特願 2020-067151 (出願日 令和 2 年 4 月 3 日)
- [15] 佐藤颯斗、山田泰弘、郷田隼、佐藤智司、構造制御されたグラフィティック窒素カーボン材料の合成, 第 14 回酸化グラフェン研究会, 2020 年.
- [16] 佐藤颯斗、山田泰弘、郷田隼、佐藤智司、炭素材料におけるベーサル面内の含窒素官能基の構造制御, 第 47 回炭素材料学会年会, 2020 年.
- [17] 山田泰弘、長岡洋斗、郷田隼、フラン環を選択的に導入した含窒素炭素材料の製造方法、特願 2020-067150 (出願日 令和 2 年 4 月 3 日)
- [18] 長岡洋斗、山田泰弘、郷田隼、佐藤智司、フラン環を含む炭素材料の構造制御, グラフェン・酸化グラフェン合同シンポジウム, 2019 年.
- [19] S. Gohda, Y. Yamada, M. Murata, M. Saito, S. Kanazawa, H. Ono, S. Sato, Bottom-up synthesis of highly soluble carbon materials, J. Mater. Sci. 55 (2020) 11808-11828.
<https://doi.org/10.1007/s10853-020-04813-1>
- [20] S. Gohda, M. Saito, Y. Yamada, S. Kanazawa, H. Ono, S. Sato, Carbonization of phloroglucinol promoted by heteropoly acids, J. Mater. Sci. 56 (2021) 2944-2960.
<https://doi.org/10.1007/s10853-020-05393-w>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 山田泰弘・佐藤智司	4. 巻 62
2. 論文標題 炭素材料の欠陥構造解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 47-53
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Y. Yamada, M. Kawai, H. Yorimitsu, S. Otsuka, M. Takanashi, S. Sato	4. 巻 10
2. 論文標題 Carbon Materials with Zigzag and Armchair Edges	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 40710-40739
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsami.8b11022	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 T. Sasaki, Y. Yamada, S. Sato	4. 巻 90
2. 論文標題 Quantitative analysis of zigzag and armchair edges on carbon materials with and without pentagons using infrared spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Anal. Chem.	6. 最初と最後の頁 10724-10731
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.analchem.8b00949	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 S. Gohda, Y. Yamada, M. Murata, M. Saito, S. Kanazawa, H. Ono, S. Sato	4. 巻 55
2. 論文標題 Bottom-up synthesis of highly soluble carbon materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Mater. Sci.	6. 最初と最後の頁 11808-11828
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10853-020-04813-1	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 S. Gohda, M. Saito, Y. Yamada, S. Kanazawa, H. Ono, S. Sato	4. 巻 56
2. 論文標題 Carbonization of phloroglucinol promoted by heteropoly acids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Mater. Sci.	6. 最初と最後の頁 2944-2960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-020-05393-w	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 N. Diana, Y. Yamada, S. Gohda, H. Ono, S. Kubo, S. Sato	4. 巻 56
2. 論文標題 Carbon materials with high pentagon density	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Mater. Sci.	6. 最初と最後の頁 2912-2943
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-020-05392-x	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 T. Kato, Y. Yamada, Y. Nishikawa, H. Ishikawa, S. Sato	4. 巻 178
2. 論文標題 Carbonization mechanisms of polyimide: methodology to analyze carbon materials with nitrogen, oxygen, pentagons, and heptagons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 58-80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2021.02.090	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 -

〔学会発表〕 計25件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Y. Yamada
2. 発表標題 Structural control of carbon materials and their analyses
3. 学会等名 Graphene Nanotechnology 2019, EuroSciCon Conference on Graphene and Carbon Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Yamada, T. Sasaki, S. Sato
2. 発表標題 Quantitative analysis of zigzag and armchair edges on carbon materials with/without pentagons using infrared spectroscopy
3. 学会等名 Carbon 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Yamada, M. Kawai, H. Yorimitsu, S. Otsuka, M. Takanashi, S. Sato
2. 発表標題 Carbon Materials with Zigzag and Armchair Edges
3. 学会等名 Carbon 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Tanaka, Y. Yamada, S. Kubo, S. Sato
2. 発表標題 Structurally-controlled carbon materials with high pyridinic-nitrogen content
3. 学会等名 Carbon 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nooramalina Diana Binti Nasaruddin, 山田泰弘, 郷田隼, 小野博信, 久保臣悟, 佐藤智司
2. 発表標題 高密度5員環含有炭素フィルム
3. 学会等名 第46回炭素材料学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平松慎太, 山田泰弘, 久保臣悟, 佐藤智司
2. 発表標題 モデル化合物を利用した炭素材料のエッジ構造と臭素化反応の明確化
3. 学会等名 第46回炭素材料学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村田昌駿, 山田泰弘, 佐藤智司
2. 発表標題 人工知能による化合物の分光分析
3. 学会等名 第46回炭素材料学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長岡洋斗, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 フラン環を含む炭素材料の構造制御
3. 学会等名 グラフェン・酸化グラフェン合同シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金澤脩平, 山田泰弘, 郷田隼, 小野博信, 佐藤智司
2. 発表標題 高密度含酸素炭素材料の調製における触媒効果
3. 学会等名 グラフェン・酸化グラフェン合同シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金澤脩平, 山田泰弘, 郷田隼, 小野博信, 佐藤智司
2. 発表標題 触媒を用いた高密度含酸素炭素材料の調製
3. 学会等名 第46回炭素材料学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金澤脩平, 山田泰弘, 郷田隼, 小野博信, 佐藤智司
2. 発表標題 触媒を用いた高密度含酸素炭素材料の調製
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Yamada
2. 発表標題 Quantitative analysis of zigzag and armchair edges on carbon materials with/without pentagons using infrared spectroscopy
3. 学会等名 Carbon 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Yamada
2. 発表標題 Carbon Materials with Zigzag and Armchair Edges
3. 学会等名 Carbon 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Yamada
2. 発表標題 Structural Control of Carbon Materials and Their Analyses
3. 学会等名 Graphene Nanotechnology 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Yamada
2. 発表標題 Structural analyses of defects in carbon materials
3. 学会等名 2018 Fall meeting of Korean Carbon Society (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田泰弘
2. 発表標題 炭素材料の構造制御
3. 学会等名 第14回酸化グラフェン研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田泰弘
2. 発表標題 炭素材料の構造制御と構造解析
3. 学会等名 2020年度 第1回CPC研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤颯斗, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 構造制御されたグラフィティック窒素カーボン材料の合成
3. 学会等名 第14回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2020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 骨格変化による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14回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2020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 エッジとピリジニック窒素が制御された炭素材料
3. 学会等名 第14回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2020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 2環芳香族化合物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14回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久野一心, 山田泰弘, 佐藤智司
2. 発表標題 臭素化を用いた高密度5員環含有炭素材料の合成
3. 学会等名 第14回酸化グラフェン研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤颯斗, 山田泰弘, 郷田隼, 佐藤智司
2. 発表標題 炭素材料におけるペーサル面内の含窒素官能基の構造制御
3. 学会等名 第47回炭素材料学会年会
4. 発表年 2020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 構造制御されたピリジニック窒素含有炭素材料の合成
3. 学会等名 第47回炭素材料学会年会
4. 発表年 2020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 高対称性骨格原料を用いたピリジニック窒素含有炭素材料の合成
3. 学会等名 第47回炭素材料学会年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計6件

産業財産権の名称 炭素材料膜及びその製造方法	発明者 山田泰弘、ノルアマ リナ ディアナ ビ ンティ ナサルツ	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2020-083692	出願年 2018年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 炭素材料の製造方法および炭素材料	発明者 山田泰弘、金澤脩 平、郷田隼	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-214644	出願年 2019年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 フラン環を選択的に導入した含酸素炭素材料の製造方法	発明者 山田泰弘、長岡洋 斗、郷田隼	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-06715	出願年 2020年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 ベーサル窒素を選択的に導入した含窒素炭素材料およびその製造方法	発明者 山田泰弘、佐藤颯 斗、郷田隼	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-067151	出願年 2020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、川合峻 平、郷田隼	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-06715	出願年 2020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、川合峻 平、田口大成、大坪 尚人、郷田隼	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-195781	出願年 2020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 http://chem.tf.chiba-u.jp/~y-yamada/publication.htm

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