

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00913

研究課題名（和文）単層グラフェン多孔質電極を用いた高容量・高電圧型電気二重層キャパシタの開発

研究課題名（英文）Development of electric double-layer capacitors with high capacitance and high operating voltage using single-graphene porous electrodes

研究代表者

京谷 隆（Takashi, Kyotani）

東北大学・工学研究科・特任教授

研究者番号：90153238

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、単層グラフェン多孔質電極を用いた高容量・高電圧型電気二重層キャパシタの開発に関する検討を行った。劣化の原因となるエッジサイトを排除し、なおかつ単層グラフェンから成る高比表面積の多孔質電極は、一般的な有機電解液を用いても室温で4.4 Vの高い耐電圧を発揮するが、面積比容量が小さい欠点があった。本研究ではグラフェン網面に窒素を導入することでこの問題を解決できることを見出した。また、本研究で得られた知見に基づき、単層グラフェン多孔質電極の他の電池応用についても先進的な成果が得られた。さらに、社会実装に向けた材料の量産化技術の開発にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、電気二重層キャパシタの心臓部となる新規カーボン材料の開発を行い、従来よりエネルギー密度と寿命を向上させることに成功した。また、新規カーボン材料を従来のカーボン材料と比較することで、電極材料としてカーボン材料に求められる構造的要素の解明が進んだ。得られた知見は、電気二重層キャパシタ以外の電池にも適用可能であり、本研究で検討した新規カーボン材料の固体高分子形燃料電池のPt担体や、全固体リチウム硫黄電池の正極硫黄担体としての有用性を実証することができた。さらに、社会実装に向け、新規カーボン材料を安価に大量生産する技術も開発できた。

研究成果の概要（英文）：This research project investigated the development of electric double-layer capacitors with high capacitance and high operating voltage using single-graphene porous electrodes. Such porous electrodes achieve high operation voltage up to 4.4 V at room temperature even using conventional organic electrolytes because there are few amount of edge sites which cause degradation of electrodes. Moreover, single-graphene property is crucial to achieve a high surface area. However, their areal capacitance was relatively small. This work has resolved this problem by nitrogen doping to the basal plane of graphene walls. Also, this work has revealed the relationship between carbon nanostructures and the electrochemical stability, and the obtained results allow the application to other types of batteries. Furthermore, this work has developed an inexpensive mass-production method of the single-graphene porous materials towards practical applications.

研究分野：無機化学

キーワード：グラフェン エッジサイト キャパシタ 劣化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電気二重層キャパシタはメタルフリーで安価な蓄電デバイスであり、かつ高い出力密度(W/kg)と優れた充放電サイクル特性をもつ。しかし、エネルギー密度(Wh/kg)が一般の蓄電池より劣っていることが唯一の欠点である。もし、鉛電池並みのエネルギー密度(製品重量基準で20~30 Wh/kg程度)になれば、市場の電池を駆逐することは間違いない。電気二重層キャパシタのエネルギー密度 E は次式のように表せる。

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

この式から、 E を高めるには静電容量 (C) あるいは作動電圧 (V) を向上させればよいことが分かる。今までの研究の多くは C の向上を目指してきたが、 E が V の二乗に比例するので V を増加させた方が効率的である。4.5 V 近くでも安定に動作する耐電圧特性があれば、これだけで活性炭電極の約3倍のエネルギー密度の向上が見込める。さらに2500 m²/g以上の高比表面積化で1.5倍の容量アップを実現できれば、電極重量基準で100 Wh/kgの炭素電極となり、製品重量基準で25 Wh/kgのエネルギー密度を達成することも夢ではなくなる。

電気二重層キャパシタの電極材料としては活性炭が主に使用されている。それは活性炭が適当なサイズの細孔(ミクロ孔とメソ孔)をもち比表面積も大きいからである。図1の右に活性炭の分子構造を示す。活性炭は微小なグラフェンが不規則に集合した構造体で、その間隙が細孔となっている。しかし、グラフェンが微小なため反応性の高いエッジサイトが大量に存在し、導電性と耐食性が低く、2.8 V以上の高電圧下では使用できない。

一方、黒鉛は広大なグラフェンシートが規則正しく積層した構造体(図1左)であり、エッジサイトはごく僅かであるため導電性と耐食性は極めて高いが、比表面積はほぼ0なのでキャパシタとしての容量は無い。カーボンブラックはその中間の性質を示す。つまり、従来の炭素材料の枠内で材料開発を行う限り、どうしても比表面積と導電性・耐食性はトレードオフの関係になってしまい、本研究で目標とする電気二重層キャパシタ用の炭素材料を開発することはできない。

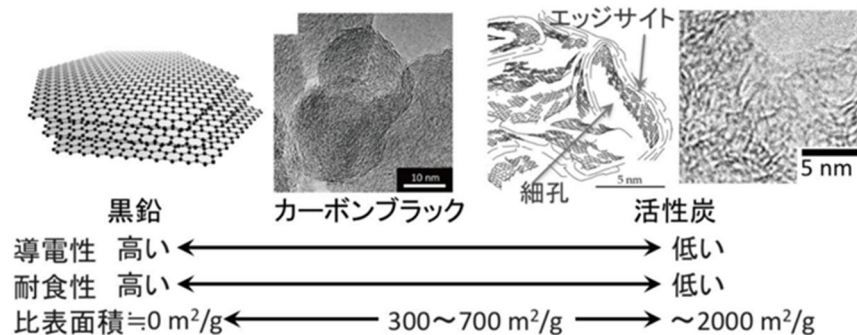


図1 各種炭素材料の構造と導電性、耐食性、比表面積との関係

2. 研究の目的

本研究の目的は、鉛電池並みに高いエネルギー密度をもつ電位二重層キャパシタを実現するための電極材料の設計指針の確立と、候補となる材料の調製である。この目的を達成するためには、高比表面積であり、導電率が高く、高電圧でも腐食しない炭素電極材料が必要である。特にエネルギー密度は印加電圧の二乗に比例するので、4V 超級の耐電圧特性があれば、これだけで活性炭電極の約3倍のエネルギー密度の向上が見込める。従来の炭素材料では比表面積と耐食性はトレードオフの関係にあり両立は不可能であった。しかし「エッジサイトの無い単層グラフェンの3次元連続体からなる多孔質炭素」をベースに材料開発を行えば、上記の全ての条件を満たすことができる。そこで鋳型炭素化法を用いてこの理想構造を実現する。また、上記の設計指針を裏付けるため、炭素の微細構造と炭素の高電圧による劣化の関係を明らかにする。本研究で得られた知見は電気二重層キャパシタだけではなく、関連の電池デバイスにも有用であると期待される。そこで、本研究で検討する材料を他の電池デバイスに適用した時の特性の検討も行う。

3. 研究の方法

本研究の目標である、「グラフェンの積層が無く、エッジサイトの無い単層グラフェンの3次元連続体からなる多孔質炭素」を合成するには、2次元物質である単層グラフェンを3次元の骨格をもつ多孔体にしなければならない。そこで、本研究では無機ナノ粒子を鋳型として利用することで単層グラフェンの3次元化を行う(図2)。つまり、無機ナノ粒子の集合体に化学気相蒸着(CVD)法で炭素を均一に被覆し、その後ナノ粒子だけを除去すれば3次元の多孔体が残

る。このプロセスで被覆された炭素がもし単層グラフェンの連続体であれば、目的の炭素構造が得られる。

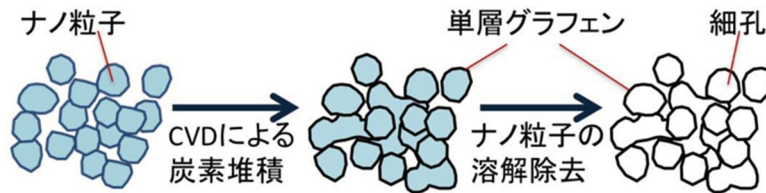


図2 無機ナノ粒子を用いた単層グラフェンの3次元化

無機ナノ粒子を鋳型として利用した多孔質炭素の合成例は数多くあるが、その殆どはシリカナノ粒子を利用している。しかし、シリカそのものには炭素の層状堆積に対する触媒能は無く、堆積した炭素は低結晶性で決してグラフェンにはならない。Ni ナノ粒子を利用した研究例があるが (*Angew. Chem. Int. Ed.* **53**, 4822 (2014))、高温化のCVDでNi ナノ粒子は焼結してしまい、生成した炭素はマクロ孔をもつグラフェン多孔体であった。これでは電気二重層キャパシタの電極材料としては体積当たりの容量が小さくなってしまう。つまり、図2の方法では無機ナノ粒子としてシリカや金属は使用できない。

そこで目を付けたのがアルミナナノ粒子である。アルミナナノ粒子は高温にしても容易に焼結はしない。しかも、研究代表者はアルミナの表面が炭素の層状堆積に対して高い触媒能を有することを20年以上前にすで実証済みである (*Chem. Maer.* **7**, 1427 (1995))。次に問題となるのはアルミナナノ粒子表面に単層グラフェンを如何に堆積させるかである。CVD法で堆積した炭素の結晶性は炭素前駆体となる炭化水素ガスの種類に大きく依存する。炭化水素の中でもメタンは結晶子径 L_c (黒鉛 a 軸方向の結晶サイズ、すなわちグラフェン網面の大きさ) が大きい炭素を与える (*Chemistry and Physics of Carbon*, Vol. 19, New York; Dekker; 1984, p. 84)。そこで、本研究ではアルミナナノ粒子表面にメタンCVDを行い、結晶性の高い炭素を1層だけ、つまり単層グラフェンを堆積させた。

エッジサイトは図3に示すように末端にある水素原子や含酸素官能基から脱離するガスを定量することで評価できる。研究代表者は1800℃まで昇温可能な超高感度の昇温脱離装置を世界で初めて開発し、活性炭から、エッジサイトが極端に少ない黒鉛まで、どのような炭素材料でもエッジサイトを分析できる技術を有している (*Carbon*, **80**, 135 (2014))。本研究において必要不可欠である炭素材料のエッジサイトの定量的な評価は、この昇温脱離装置を用いて行った。

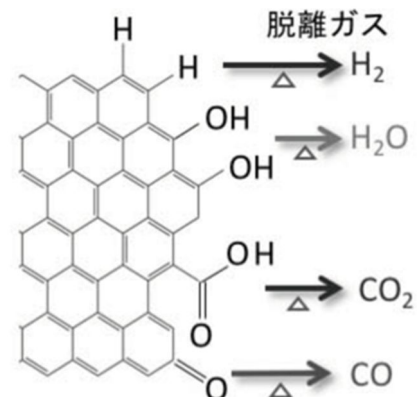


図3 昇温脱離法によるエッジサイトの分析

4. 研究成果

キャパシタ用カーボン材料の設計において、細孔径分布の正確な解析は極めて重要であるが、従来用いられてきたNLDFT法は技術的にまだ未熟であり、多くの課題を抱えている。例えば、単層グラフェン多孔体の細孔径分布の算出には難があった。そこで、米国 Jagiello 博士と連携し、単層グラフェン多孔体の細孔径分布を従来よりも正確に算出可能なNLDFT法を用いた細孔径分布の解析手法の開発を行った。実験と計算の整合性を取るため、骨格構造モデルが構築できているゼオライト鋳型炭素 (ZTC, 図4) を利用して検討を進めた。細孔モデルとして従来は無限に長いシリンダー形状を仮定することが一般的であったが、これを図5に示す有限の長さの曲率を持ったシリンダー形状に変更した。

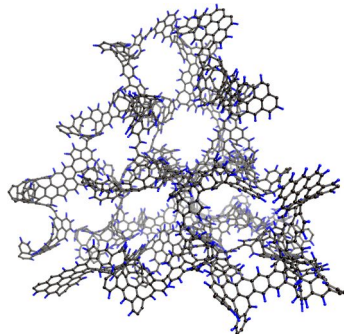


図4 ZTCの構造

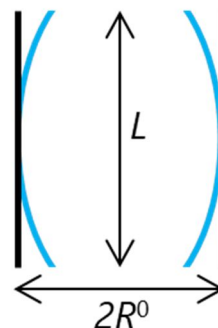


図5 有限細孔モデル

NLDFT 法によって、種々の細孔径および細孔長のモデル構造に対する吸着等温線を計算し、図 6 に示すような吸着等温線群（カーネル）を求め、ZTC の窒素吸着等温線の実測データにカーネルをフィッティングすることで図 7 に示すような細孔径分布を得た。開発した手法により、従来より正確な細孔径分布が得られるようになった。

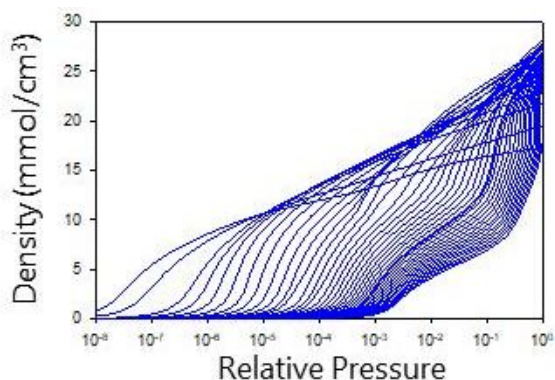


図 6 有限細孔モデルのカーネルの例

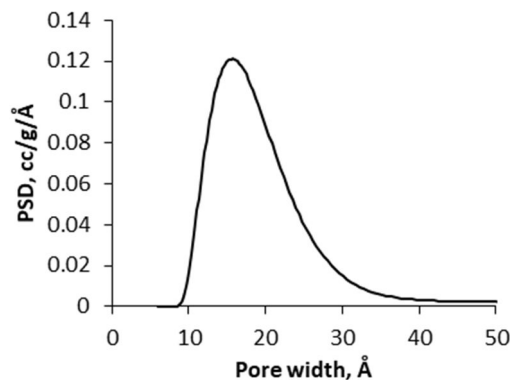


図 7 ZTC の細孔径分布

図 2 に示す手法で単層グラフェンから成るメソ多孔体を調製し、さらにバインダーフリーの自立膜の形に成形すると、従来の有機電解液を用いても室温で 4.4 V に達する耐電圧を達成したが、面積当たりの容量が活性炭に比べると低くなることがわかった。そこで面積当たりの容量向上のため、図 2 に示す手法の原料をメタンからアセトニトリルに変更し、窒素をドーブしたメソ多孔体（N-CMS）を調製した。N-CMS の X 線光電子分光（XPS）スペクトルを図 8a に示す。主に quaternary N, pyrolic N, pyridine N の 3 種類の形態で窒素がドーブされたメソ多孔体を得られた。窒素の層含有量は約 9.3 wt% と高く、N-CMS を熱処理すると、熱処理温度の上昇と共に窒素含有量が低下することもわかった（図 8b）。

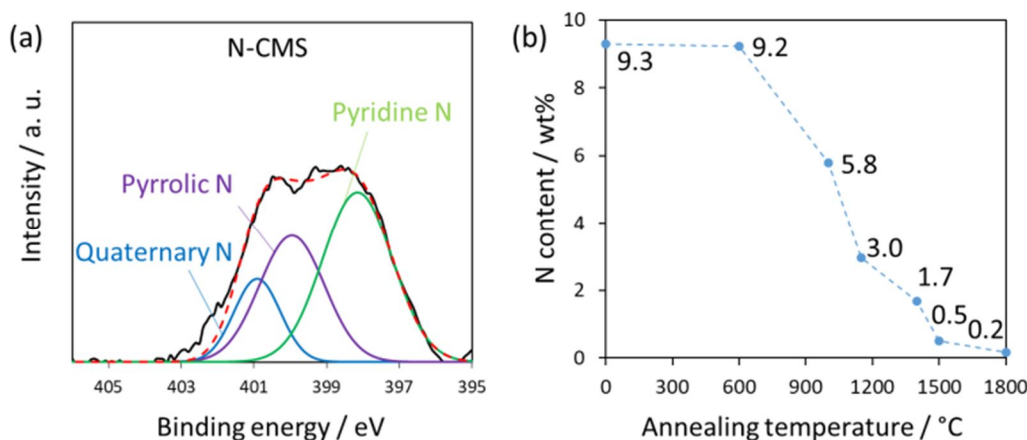


図 8 (a) N-CMS の XPS スペクトル, (b) 熱処理に伴う N 含有量の変化

N-CMS のサイクリックボルタモグラムを図 9a に示す。窒素含有量が 9.3 wt% と多い N-CMS は、約 $10 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ と高い面積当たりの容量を示した。しかし、電位が 0.8 V (vs. Ag/AgClO_4) を越えると劣化に相当する大きいアノード電流を示したことから、N-CMS はエッジサイトを大量に含有しており耐電圧が低いことがわかった。そこで、N-CMS を 1150、1500 で熱処理したところ、窒素含有量はそれぞれ 5.8 wt%、0.5 wt% となり（図 8b）面積当たりの容量は低下したが、劣化電流は低減することが分かった（図 9b, c）。図 9c が示すように、1500 で熱処理した試料は全く劣化電流を示さないが、窒素含有量が 0.5 wt% と非常に小さくなったため、面積当たりの容量は $4.5 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ 程度まで低下した。一方で図 9b が示すように、1150 で熱処理した試料は窒素含有量がまだ 5.8 wt% と比較的大きいため面積当たりの容量が高いが、殆ど劣化電流を示さず、最適の特性を示した。そこで、この条件でバインダーフリーの自立膜を作製し、対称キャパシタを組んで性能を評価したところ、従来の窒素を含有しない材料に比べ、重量当たりのエネルギー密度も体積当たりのエネルギー密度も向上することを確認した。

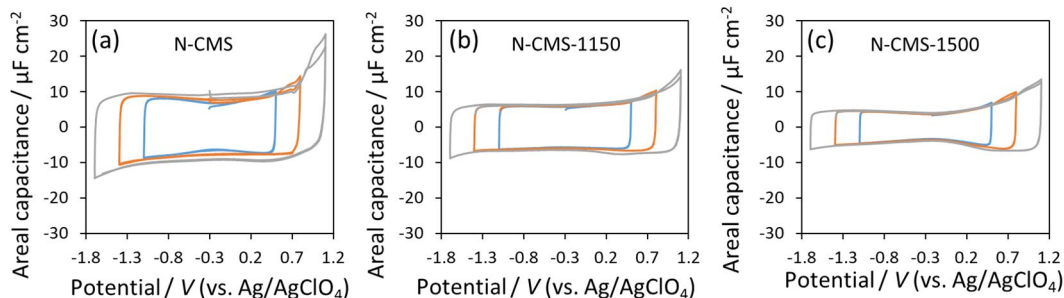


図9 (a) N-CMS, (b) N-CMSを1150 で熱処理した試料, (c) N-CMSを1500 で熱処理した試料のサイクリックボルタモグラム. 縦軸は面積当たりの容量. 電解液は1M Et₄NBF₄/PC. 掃引速度は1 mV/s.

面積当たりの容量をさらに向上させることができれば、エネルギー密度はさらに向上する。カーボン材料に RuO₂ など酸化還元反応を示す物質を担持すれば、疑似容量により容量を増加させることができる。こういった第二成分を担持する際、炭素材料のエッジサイトはアンカーの役割を果たすため重要であるが、エッジサイトが存在すると材料の耐電圧が低下する。そこで、エッジサイトを介さない第二成分の担持法として、ピレンを介する方法を着想した。ピレンは π-π相互作用によりグラフェンベール面に強く固着することができる。POCとして単層グラフェン多孔体にピレンを介した Pd ナノ粒子の担持を行ったところ、高分散担持に成功し、この手法が有用であることを確認した(図10)。

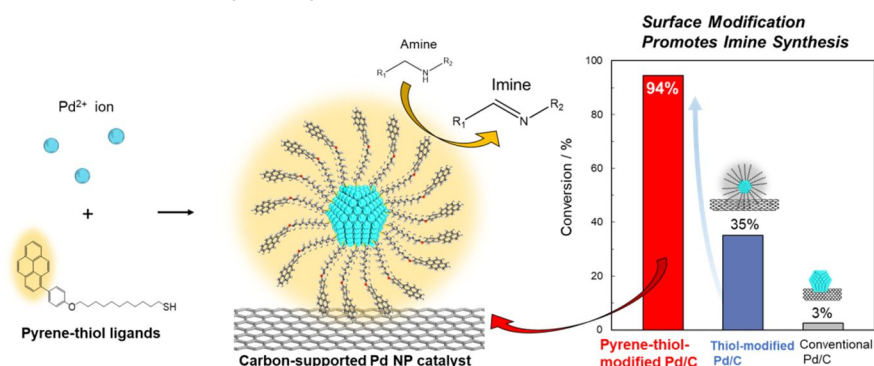


図10 ピレンを用いた単層グラフェン多孔体へのエッジサイトを介さない第2成分の担持

単層グラフェン多孔体のキャパシタ電極としての優位性を分子論的に明らかにするため、炭素の微細構造とキャパシタ電極の劣化挙動との関係性についても検討を行い、一般的な有機電解液の初期劣化に関して、キャパシタ正極においてはカーボンエッジサイトが原因となり、キャパシタ負極においてはベール面が原因となっていることが判明した。ベール面はあらゆるカーボン材料が有しているためそこでの劣化は不可避であるが、エッジサイトが原因となる劣化については、単層グラフェン多孔体で回避できることが明らかとなった。しかも、長期劣化に関しては正極側の影響の方が大きいため、単層グラフェン多孔体は他の材料に比べてキャパシタ電極として優れた耐久性を示すことがわかった。

単層グラフェン多孔体の特に正極側での高耐久性は、電気二重層キャパシタのみならず、他の電池デバイスにおいても極めて有用である。そこで、単層グラフェン多孔体の固体高分子形燃料電池カソード用 Pt 担体、ならびに全固体リチウム硫黄電池の正極硫黄担体としての挙動を調べたところ、従来のカーボン材料に対する明確な優位性を実証することに成功した。単層グラフェン多孔体は電気二重層キャパシタのみならず、様々な電池デバイスの電極材料としての応用が期待できる。そこで、実用化に向けた安価な量産技術の開発も行った。図2に示す調製スキームではアルミナを鋳型に用いるため、これをフッ化水素酸で溶解除去する工程が必要となり、製造コストが高くなってしまっていた。そこで鋳型材を酸化マグネシウムに切り替える手法を開発した。酸化マグネシウムは希塩酸で溶解除去可能であり、しかも生成した MgCl₂ はリサイクル可能であるため、量産時の生産コストを大幅に低減することができる。本研究で得られた成果を活用し、研究分担者が中心となり2022年2月22日には東北大学発ベンチャー企業、株式会社3DCを設立した。今後、単層グラフェン多孔体の電気二重層キャパシタを中心とした社会実装が進むと期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sunahiro Shogo, Nomura Keita, Goto Shunsuke, Kanamaru Kazuya, Tang Rui, Yamamoto Masanori, Yoshii Takeharu, N. Kondo Junko, Zhao Qi, Ghulam Nabi Azeem, Crespo-Otero Rachel, Di Tommaso Devis, Kyotani Takashi, Nishihara Hiroto	4. 巻 9
2. 論文標題 Synthesis of graphene mesosponge via catalytic methane decomposition on magnesium oxide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 14296 ~ 14308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ta02326h	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 該当する

1. 著者名 Yamamoto Masanori, Goto Shunsuke, Tang Rui, Nomura Keita, Hayasaka Yuichiro, Yoshioka Youichi, Ito Masashi, Morooka Masahiro, Nishihara Hiroto, Kyotani Takashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Nano-Confinement of Insulating Sulfur in the Cathode Composite of All-Solid-State Li/S Batteries Using Flexible Carbon Materials with Large Pore Volumes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 38613 ~ 38622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscami.1c10275	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 該当する

1. 著者名 Yamamoto Masanori, Zhao Qi, Goto Shunsuke, Gu Yu, Toriyama Takaaki, Yamamoto Tomokazu, Nishihara Hiroto, Aziz Alex, Crespo-Otero Rachel, Di Tommaso Devis, Tamura Masazumi, Tomishige Keiichi, Kyotani Takashi, Yamazaki Kaoru	4. 巻 13
2. 論文標題 Porous nanographene formation on γ -alumina nanoparticles via transition-metal-free methane activation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 3140 ~ 3146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1sc06578e	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 該当する

1. 著者名 京谷隆	4. 巻 2021
2. 論文標題 分子レベルにこだわった炭素研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 炭素	6. 最初と最後の頁 161 ~ 172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7209/tanso.2021.161	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 西原洋知	4. 巻 28
2. 論文標題 カーボン電極の劣化機構と高耐食性電極材料の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 キャパシタ技術	6. 最初と最後の頁 1~23
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 無
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 Jagiello Jacek, Kyotani Takashi, Nishihara Hiroto	4. 巻 169
2. 論文標題 Development of a simple NLDFT model for the analysis of adsorption isotherms on zeolite templated carbon (ZTC)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 205~213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2020.06.032	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 該当する

1. 著者名 Yoshii Takeharu, Umemoto Daiki, Yamamoto Masanori, Kuwahara Yasutaka, Nishihara Hiroto, Mori Kohsuke, Kyotani Takashi, Yamashita Hiromi	4. 巻 12
2. 論文標題 Pyrene Thiol modified Pd Nanoparticles on Carbon Support: Kinetic Control by Steric Hinderance and Improved Stability by the Catalyst Support Interaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 5880~5887
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cctc.202000987	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 Ohma Atsushi, Furuya Yoshihisa, Mashio Tetsuya, Ito Masashi, Nomura Keita, Nagao Tomohiko, Nishihara Hiroto, Jinnai Hiroshi, Kyotani Takashi	4. 巻 370
2. 論文標題 Elucidation of oxygen reduction reaction and nanostructure of platinum-loaded graphene mesosponge for polymer electrolyte fuel cell electrocatalyst	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 137705~137705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2020.137705	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 Hoshikawa Yasuto, Kawaguchi Rei, Nomura Keita, Akahane Hidenobu, Ishii Takafumi, Ando Mariko, Hoshino Norihisa, Akutagawa Tomoyuki, Yamada Hiroshi, Kyotani Takashi	4. 巻 173
2. 論文標題 Quantitative analysis of the formation mechanism of tightly bound rubber by using carbon-coated alumina nanoparticles as a model filler	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 870 ~ 879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2020.11.074	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 Gabe Atsushi, Ouzzine Mohammed, Taylor Erin E., Stadie Nicholas P., Uchiyama Naoki, Kanai Tomomi, Nishina Yuta, Tanaka Hideki, Pan Zheng-Ze, Kyotani Takashi, Nishihara Hiroto	4. 巻 9
2. 論文標題 High-density monolithic pellets of double-sided graphene fragments based on zeolite-templated carbon	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 7503 ~ 7507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ta11625d	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 該当する

1. 著者名 Boonyoung Pawan, Kasukabe Takatoshi, Hoshikawa Yasuto, Berenguer-Murcia Angel, Cazorla-Amoros Diego, Boekfa Bundet, Nishihara Hiroto, Kyotani Takashi, Nueangnoraj Khanin	4. 巻 6
2. 論文標題 A Simple "Nano-Templating" Method Using Zeolite Y Toward the Formation of Carbon Schwarzites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Materials	6. 最初と最後の頁 104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmats.2019.00104	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 該当する

1. 著者名 Tang Rui, Yamamoto Masanori, Nomura Keita, Morallon Emilia, Cazorla-Amoros Diego, Nishihara Hiroto, Kyotani Takashi	4. 巻 457
2. 論文標題 Effect of carbon surface on degradation of supercapacitors in a negative potential range	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 228042 ~ 228042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2020.228042	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 該当する

1. 著者名 野村啓太, 西原洋知, 京谷隆	4. 巻 4
2. 論文標題 カーボンナノチューブに勝る高耐久のEDLC電極カーボン材料	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ケミカルエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 246 ~ 251
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 無
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36件 (うち招待講演 18件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Hiromoto Nishihara
2. 発表標題 Atomically designed functional carbon materials
3. 学会等名 International Forum on Graphene in Shenzhen (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiromoto Nishihara
2. 発表標題 Atomically designed carbon materials for electrochemical applications
3. 学会等名 The 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原洋知
2. 発表標題 電池の性能を向上させるカーボン新素材
3. 学会等名 SuMi TRUST Innovation Pitch (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原洋知
2. 発表標題 電池の性能を向上させるカーボン新素材
3. 学会等名 電気化学会東北支部第34回東北若手の会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 京谷隆
2. 発表標題 鋳型法による炭素ナノ構造の次元制御
3. 学会等名 日本技術士会化学部会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 京谷隆
2. 発表標題 炭素材料のエッジサイトを分析することで何が分かるのか？
3. 学会等名 2021年度 第2回 C P C 研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原洋知
2. 発表標題 多孔性と耐久性を両立した新規電極カーボン材
3. 学会等名 イノベーション・ジャパン2021～大学見本市Online（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原洋知
2. 発表標題 電池性能を向上させるカーボン新素材「グラフェンメソスポンジ」
3. 学会等名 関西二次電池展（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原洋知
2. 発表標題 未来を拓くカーボン新素材 グラフェンメソスポンジ
3. 学会等名 ディープテックグランプリ（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原洋知
2. 発表標題 グラフェンを利用した機能性多孔体の調製と応用
3. 学会等名 新化学技術推進協会 エネルギー・資源技術部会 エネルギー分科会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原洋知
2. 発表標題 大学発新素材の社会実装への取り組み
3. 学会等名 第10回MaSC技術交流会“Real Exchange”（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原洋知
2. 発表標題 電池の性能を向上させるカーボン新素材
3. 学会等名 SuMi TRUST Innovation Pitch (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原洋知
2. 発表標題 金属酸化物上のコーク堆積を利用したカーボン材料の調製
3. 学会等名 2021年度ゼオライトフォーラム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原洋知
2. 発表標題 カーボン電極の劣化機構と高耐食性電極材料の開発
3. 学会等名 キャパシタ技術委員会 令和 3 年度第 1 回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rui Tang, Keita Nomura, Takashi Kyotani, Hiroto Nishihara
2. 発表標題 Enhancement of electric double-layer capacitance from the perspective of a three-dimensional graphene structure
3. 学会等名 72nd Annual ISE Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wei Yu, Takeharu Yoshii, Rui Tang, Zheng-Ze Pan, Hiroto Nishihara
2. 発表標題 Graphene Mesosponge Cathode with Few Edge Sites and High Surface Area for Lithium-Oxygen Battery
3. 学会等名 72nd Annual ISE Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rui Tang, Keita Nomura, Takashi Kyotani, Hiroto Nishihara
2. 発表標題 Areal capacitance of mesoporous carbons with a few-layer graphene walls
3. 学会等名 AtomDeC 1st International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pirabul Kritin, 潘 鄭澤, 唐 睿, 砂廣 昇吾, Hongyu Liu, 西原 洋知
2. 発表標題 Structural Variation of 3D Graphene Materials Templating Diverse Metal Oxides
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 唐 睿, 西川 銀河, 吉井 丈晴, 京谷 隆, 西原 洋知
2. 発表標題 Simultaneous enhancement of capacitance and electrochemical stability in 3D-graphene
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rui Tang, Yusuke Kawabe, Yasufumi Takahashi, Masanori Yamamoto, Hiroto Nishihara, Takashi Kyotani
2. 発表標題 Effect of Carbon Surface on Electrochemical Degradation of Organic Electrolyte-Based Supercapacitors
3. 学会等名 The 3rd Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shogo Sunahiro, Keita Nomura, Shunsuke Goto, Masanori Yamamoto, Rui Tang, Takeharu Yoshii, Junko Nomura Kondo, Takashi Kyotani, Hiroto Nishihara
2. 発表標題 Synthesis of graphene mesosponge using HCl-dissolvable materials as a template
3. 学会等名 Fossil & Renewable Energy (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rui Tang, Keita Nomura, Takashi Kyotani, Hiroto Nishihara
2. 発表標題 Electrochemical capacitance in graphene based model frameworks: the effect of defect amount and graphene stacking number
3. 学会等名 第20回東北大学多元物質科学研究所研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 京谷隆
2. 発表標題 炭素ナノ構造の分析と制御、応用
3. 学会等名 DOWA サーマテック (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村啓太, 西原洋知, 田中秀樹, 宮脇仁, 寺内正己, 大友季哉, 池田一貴, 京谷隆
2. 発表標題 グラフェンナノスポンジ形成における熱処理温度の影響の解明
3. 学会等名 第19回東北大学多元物質科学研究所研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村啓太, 西原洋知, 田中秀樹, 宮脇仁, 寺内正己, 大友季哉, 池田一貴, 京谷隆
2. 発表標題 熱処理によるグラフェンナノスポンジ形成機構の解明
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 唐睿, 山本雅納, 西原洋知, 京谷隆
2. 発表標題 電気二重層キャパシタの電極表面構造と劣化反応の関係
3. 学会等名 第33回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 砂廣昇吾, 野村啓太, 後藤駿輔, 山本雅納, 干川康人, 西原洋知, 京谷隆
2. 発表標題 塩酸に可溶性な鋳型と化学気相蒸着を用いたメソ多孔性炭素の開発
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 後藤駿輔, 野村啓太, 山本雅納, 西原洋知, 伊藤仁, 内村允宣, 京谷隆
2. 発表標題 アルミナナノ粒子を用いたグラフェンメソスポンジの作製および炭素成長機構の解明
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 後藤駿輔, 野村啓太, 山本雅納, 西原洋知, 伊藤仁, 内村允宣, 京谷隆
2. 発表標題 アルミナナノ粒子への化学気相蒸着によるカーボン堆積機構の検討
3. 学会等名 高分子・ハイブリッド材料研究センター 2019 PHyM シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rui Tang, Kaihsi Taguchi, Hiromoto Nishihara, Takafumi Ishii, Keita Nomura, Masanori Yamamoto, Emilia Morallon, Diego Cazorla-Amoros, Toshihiro Asada, Naoya Kobayashi, Takashi Kyotani
2. 発表標題 Understanding the effect of carbon structure on the degradation of organic electrolyte-based supercapacitors
3. 学会等名 学振第117委員会第330回委員会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shunsuke Goto, Keita Nomura, Masanori Yamamoto, Hiromoto Nishihara, Masashi Ito, Masanobu Uchimura, Takashi Kyotani
2. 発表標題 Template synthesis of graphene mesosponges using different types of alumina nanoparticles
3. 学会等名 2019年度 化学系学協会東北大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Kyotani
2. 発表標題 Template synthesis of graphene-based nanocarbons
3. 学会等名 Carbon2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirotomo Nishihara, Keita Nomura, Rui Tang, Takashi Kyotani
2. 発表標題 Challenge to overcome carbon corrosion in supercapacitors
3. 学会等名 Workshop on Catalytic Reactions with Ion Transfer through Interfaces (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Kyotani
2. 発表標題 What we can see and do for carbon materials through the analysis of edge sites
3. 学会等名 Cabot corporation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rui Tang, Hirotomo Nishihara, Keita Nomura, Masanori Yamamoto, Takashi Kyotani
2. 発表標題 Understanding the effect of carbon edge sites on the stability of supercapacitors in an organic electrolyte
3. 学会等名 The 17th Japan-China-Korea Joint Symposium on Carbon Saves the Earth (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiromoto Nishihara, Keita Nomura, Naoya Kobayashi, Toshihiro Asada, Takashi Kyotani
2. 発表標題 Mesoporous carbon sheets made of edge-free graphene walls for ultra-stable supercapacitors
3. 学会等名 Carbon2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 西原洋知, 野村啓太, 京谷隆 (分著)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 CPC研究会	5. 総ページ数 8
3. 書名 炭素材料の研究開発動向2019	

1. 著者名 吉井丈晴, 西原洋知	4. 発行年 2022年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 2
3. 書名 固体表面のキャラクタリゼーション	

1. 著者名 京谷隆	4. 発行年 2022年
2. 出版社 CPC研究会	5. 総ページ数 29
3. 書名 炭素材料の研究開発動向2022	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 多孔質炭素材料の製造方法	発明者 砂廣昇吾, 京谷隆, 西原洋知, 野村啓太	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-21257	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

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
研究分担者	西原 洋知 (Hirotomo Nishihara) (80400430)	東北大学・材料科学高等研究所・教授 (11301)	

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