

研究報告書

「応力で自在に変形する超空間をもつグラフェン系柔軟多孔性材料の調製と機能開拓」

研究タイプ: 通常(3年)型

研究期間: 平成25年10月～平成29年3月

研究者: 西原 洋知

1. 研究のねらい

ゼオライトや活性炭など従来の多孔体は固い骨格をもち、その細孔構造を変化させることはほぼ不可能であった。また、ある種の多孔性配位高分子(PCP)や金属有機構造体(MOF)は外部刺激により構造が変化するため、「柔軟な多孔体」もしくは「ソフト多孔体」などと呼ばれ注目されているが、これらは機械的に柔軟なわけでは無く、応力を印加しても数%程度しか変形させることはできない。一方で本研究者はこれまでに、連続構造をもつ単層グラフェンを骨格とした「ゼオライト鑄型炭素(ZTC)」が元の大きさの約 30%弾性変形させることが可能なマイクロ多孔体であることを見出しているすなわち、弾性変形によりその細孔も変形する。この原理を利用すれば、応力によって細孔径を連続的かつ可逆的に制御することができるため、吸着など細孔径に依存した物理化学的現象を応力で自在に操ることが可能になると期待できる。そこで本研究では、応力で可逆的に変形する細孔空間を「超空間」と捉え、この弾性変形する超空間に基づく新機能を創出すると共に、弾性多孔体‘群’の拡充をねらう。

まず ZTC において、弾性変形による水の強制的な吸脱着制御を試みる。吸着水を応力で絞り出すことができれば、水は気体となって放出される。すなわち、応力によって液体の水を気体に変換することができる。この際同時に気化熱が発生するので、応力で熱を操ることになる。これは物理化学的に新規の応力-熱転換の原理と言える。さらに、応力として加えるエネルギーに対して移動する熱量が十分大きければ、新型の熱交換器を構築できると期待される。また、吸着のみならず細孔のもつ様々な機能を弾性変形と組み合わせれば、さらに多くの新機能創出が期待できる。そこで本研究では、従来 ZTC に限定されていた弾性多孔体の拡充も目的の1つとする。ZTC と同じく、柔軟かつ強靱なグラフェンを利用し、メソ多孔体およびマクロ多孔体の調製を行う。さらに、PCP/MOF のように精密な分子設計に基づく機能化を目指し、有機合成的手法による弾性多孔体の合成も検討する。

2. 研究成果

(1) 概要

飽和蒸気圧以下の水蒸気と ZTC を接触させ水を吸着させた状態にした上で、ZTC に応力を印加して変形させることで、吸着水を水蒸気として脱着させることに成功した。また、応力を開放すると ZTC は復元し、再び水蒸気を吸着した。さらに、応力による水の強制脱着／再吸着の操作は繰り返し実施可能であった。水の脱着は吸熱過程、吸着は発熱過程であるため、圧縮すると冷却が生じ、膨張すると発熱が生じていることになる。ZTC の変形に必要なエネルギーに対し、発生する吸着／脱着熱は理論的には最大で約 50 倍であるため、この原理は新型の熱交換器構築に繋がると期待できる。

また、新規の弾性メソ多孔体として、単層グラフェンを細孔壁とする「グラフェンメソスポンジ (GMS)」を開発した。ZTC が元の大きさの約 30%の圧縮が可能であるのに対し、GMS は 88%の可逆的な圧縮が可能な超柔軟性多孔体であるため、応力により制御できる吸脱着量は ZTC を上回り、効率的な応力-熱変換が期待できる。さらに、単層グラフェンが細孔壁である GMS は高比表面積でありながら極めて耐食性が高く、電気二重層キャパシタの電極材料といった電極材料として極めて有望であることを見出した。

弾性変形するマクロ多孔体の調製も行った。TEMPO 酸化セルロースナノファイバー (CNF) の水分散液を一方向凍結すると、針葉樹の木部組織に似た微小なハニカムモノリスが得られることを既に見出していたので、ここに弾性多孔体の概念を融合させ、CNF を還元酸化グラフェンと複合化することで、弾性変形可能なハニカムモノリスを調製した。得られた材料は自動車のマフラーのように貫通孔を持つため低圧力損失で気体や液体を流通させることができる。応力変形に応じて圧力損失が増加することを利用し、新型の歪みセンサーを提案した。

さらに、有機合成的手法を利用した弾性多孔体の調製を目指し検討を行った結果、当初予想もしなかった革新的な結果が得られた。まず、環状ポルフィリン2量体から成る分子結晶を炭素化すると、約 1.4 nm の長周期規則構造をもつ構造規則性カーボンアロイが得られることを見出した。有機系結晶の規則性構造を保った炭素化は世界的にも過去に例が無い。さらに、フラーレンを小分子で架橋することで、比表面積が 500~700 m²/g に達するミクロ多孔質のポリマーの合成にも成功した。フラーレンを 50%以上含み、このように高比表面積なポリマーの合成は世界初である。

(2) 詳細

研究テーマ A「弾性変形する超空間に基づく新機能の創出」

炭素ナノ空間 (<2 nm) 内部には、その強いポテンシャル場により水蒸気が吸着する。吸着水の密度はほぼ液体の水と同じである。すなわち、吸着水は飽和蒸気圧以下の圧力の水蒸気 (気相) と平衡状態となる。従来、吸着水を脱着 (すなわち気化) させるには、系の温度を上昇させるか、気相の圧力を減少させ、平衡を移動させる必要があった。本研究では、水を吸着し平衡状態にある ZTC (図 1a) に応力を印加して細孔を微小化することで、吸着水を強制的にナノ細孔から絞り出せること、そしてさらに、絞り出された水は即座に気化することを見出した (図 1b,c)。また、ZTC に印加した応力を開放すると ZTC は元の大きさに復元し、再び気相の水蒸気を吸着することもわかった (図 1b,d)。なお、水の強制的な絞り出しと再吸着は繰り返し実施可能である。すなわち、応力によって水の気相/液相の相転移を自在に制御できる。相転移には潜熱の出入りが伴う為、この原理は応力による熱の移動を可能にする。ZTC の変形に必要なエネルギーに対し、発生する吸着/脱着熱は理論的には最大で約 50 倍であるため、この原理は新型の熱交換器構築に繋がると期待できる。なお、水のみならず、アルコールや有機溶媒など多くの物質にこの気相/液相の応力変換の原理は適用可能である。本研究に関連する成果は、成果リストの国際会議での招待講演 No. 5、国内での招待講演 No. 1, 3、受賞 No. 1, 4, 8 に繋がった。この現象をより正確に理解するため、計算科学的なアプローチによる検証も試みている。

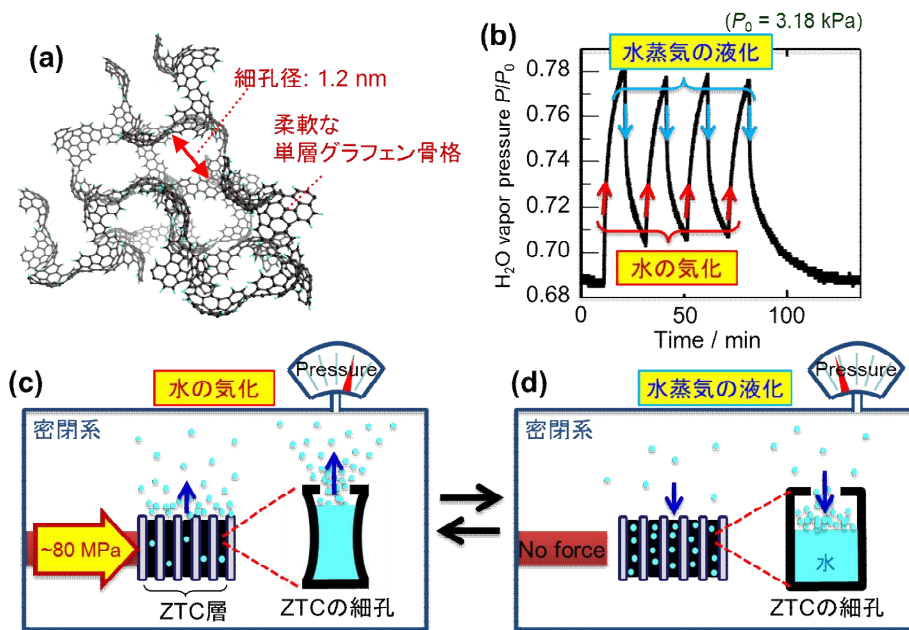


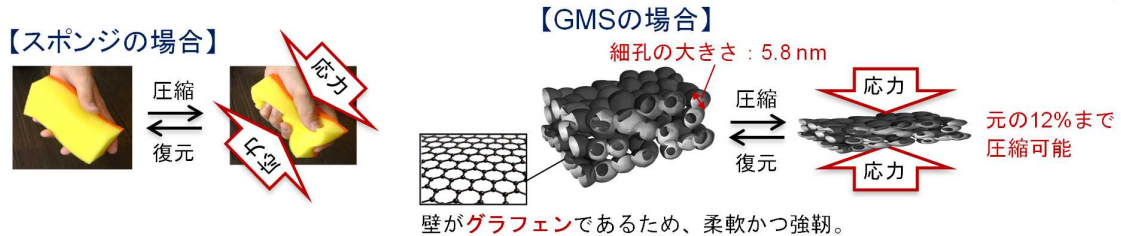
図 1 (a) ZTC の構造. (b) 密閉容器に封入した ZTC に P/P_0 が約 0.69 の水蒸気を吸着させた状態で、ZTC に応力を印加／解放した時の気相の水蒸気圧力の変化の様子. (c) ZTC を封入した密閉容器の内部の模式図. ZTC は約 5 wt% の PTFE と混ぜてシート状に成形して金属板で挟み数枚を積層し、ここに応力を印加した. 応力印加により、ZTC の細孔が縮小して内部の吸着水が細孔外部へ放出され、瞬時に気化するため、気相の圧力は上昇する(b). (d)は、(c)の状態から ZTC に印加した応力を解放した時の様子. ZTC の細孔が復元し、気相の水蒸気を吸着する(液体密度で取り込む)ため、この時気相の圧力は減少する(b).

研究テーマ B「弾性変形するメソ多孔体の調製」

近年、「グラフェン多孔体」と呼ばれる材料が数多く提案されている。しかし、積層の無い単層グラフェンから成り、グラフェンの端であるエッジサイトが無く、なおかつ数 nm 以下の微小な細孔をもつ材料は誰も合成できていなかった。本研究では鋳型法を利用することで、世界で初めてこれを実現した。得られた材料は単層グラフェンを細孔壁の主成分とし、約 5.8 nm のメソ孔を有し、まるでスポンジのように弾性変形できるため、「グラフェンメソスポンジ(GMS)」と名付けた(図 2)。GMS は応力印加に対し、元の 12%程度の大きさまで可逆的に弾性変形することができる超柔軟性メソ多孔体である(図 2)。ZTC と同様に GMS においても液体／気体の応力による変換が可能であり、なおかつ ZTC より変換量が大きいため、GMS も応力-熱変換デバイスへの利用が期待できる。

GMS はまた、図 2(下段)に示すように、従来の炭素材料に対して多くの利点を持つ。単層グラフェンを主成分とするため活性炭と同等の高比表面積(1940 m^2/g)を有し、なおかつグラフェンはエッジサイトを持たないため耐食性と導電性に優れる。こういった特徴は、耐食性の電極材料として極めて有望である。電気二重層キャパシタの電極として利用すれば、従来は 2.8 V に制限されていた作動電圧を約 4 V にまで拡張できるため、エネルギー密度を従来の 2 倍に引き上げることが可能となる。GMS はエッジサイトを持たないため、従来のエッジサイトを持つ活性炭の反応性を検討するにも都合が良く、エッジサイトの電気化学的反応性に関する知

見も多く得られた。本研究に関連した成果は、成果リストの論文 No. 2、特許 No. 3、国際会議での招待講演 No. 1~4、国内での招待講演 No. 1~5、受賞 No. 1, 7、プレスリリース No. 1, 2、新聞記事等 No. 1~6 に繋がった。



【従来の炭素材料との比較】

	黒鉛	カーボンブラック	活性炭	GMS
強度	◎	○	×	○
柔軟性	×	×	×	◎
耐食性	◎	△	×	○
導電性	◎	○	△	○
比表面積	×	△	◎	◎

図 2 スポンジと GMS に応力を加えたときの弾性変形の様子(上段)と、従来の炭素材料と GMS の比較(下段)。

研究テーマ C「弾性変形する微小ハニカムモノリスの調製」

ハニカムモノリスは高強度であり、流体を低圧力損失で流通させることができるため、自動車のマフラー等に広く利用されている。ハニカムモノリスの製法には数種類存在するが、最もチャンネルサイズを小さくできる押出成形を用いても、およそ 200 μm 以下のチャンネルサイズは実現できない。一方、針葉樹の木部組織は直径が数十 μm の規則正しいハニカム構造をした天然のモノリス体であるが、チャンネルは閉塞しており流体を流通させることはできない。本研究者は、シリカのハイドロゾルもしくはハイドロゲルを一方向凍結すれば、木部組織に似たシリカのハニカムモノリスが得られ、なおかつチャンネルは貫通していることを過去の研究で見出している(*Chem. Commun.* 2004, 874.)。さらに近年、TEMPO 酸化セルロースナノファイバー(CNF)分散液を一方向凍結しても、樹木の木部組織に似た貫通ハニカムモノリスが得られることを見出していた。ところが、こうして得られるハニカムモノリスには弾性が殆ど無く、応力によって塑性変形してしまう欠点があった。そこで ZTC や GMS での弾性多孔体としての成功を参考に、還元酸化グラフェンを CNF に複合化したところ、大きく弾性変形可能なハニカムモノリスの調製に成功した。ガスを流通させた状態で変形させると、変位に応じて圧力損失が変化するため、新しいタイプの歪みセンサーを構築可能であることを考案した。本研究に関連した成果は、成果リストの論文 No. 1 に繋がった。

研究テーマ D「有機化学的手法による新規弾性多孔体の調製」

細孔の機能は、細孔表面の化学的性質に大きく左右される。このため、MOF/PCP のように

精密な分子設計が可能な多孔体が近年目覚ましく発展している。そこで、応力変形と多様な細孔機能を組み合わせるため、有機化学的手法による新規弾性多孔体の調製にも挑戦した。

まず、Ni が配位した環状ポルフィリン二量体(Ni₂-CPD)の作る約 1 nm の規則性ナノ空間をもつ分子結晶に着目した。当初は有機結晶の弾性変形を期待して実験を進めていたが、この有機結晶を炭素化すると、規則的な骨格をもつカーボンアロイに転換できることを偶然にも見出した(図 3)。近年、MOF/PCP を炭素化することで炭素多孔体を調製する研究が極めて活発であるが、炭素化の過程で元の有機系結晶の構造は完全に失われ、非晶質かつ乱雑な骨格の炭素化物しか得ることはできない。今回発見した系は、従来の常識を覆し、有機結晶の構造を反映した炭素化物の合成を可能にするものである。本研究に関連した成果は、成果リストの受賞 No. 2, 5 に繋がった。有機系結晶であっても、前駆体の構造によっては元の構造が分子レベルで維持された炭素化物が得られることがわかったので、同領域の生越教授と共同で、ピラー[6]アーレーンの CT 錯体を炭素化したところ、元の分子のもつ細孔径を維持した炭素化物が得られることを見出した。本研究に関連した成果は、成果リストの論文 No. 3、特許 No. 2 に繋がった。さらに、ナノカーボンから成る新規多孔体として、多孔性フラーレン架橋ポリマーを着想した。水酸化フラーレンをテレフタル酸ジクロリドで架橋したところ、比表面積が 657 m²/g に達するマイクロ多孔質ポリマーの合成に成功した。また、得られたポリマーは多孔質炭素に比べて水素ラジカル吸着量に優れることがわかった。本研究に関連した成果は、成果リストの特許 No. 1 に繋がった。

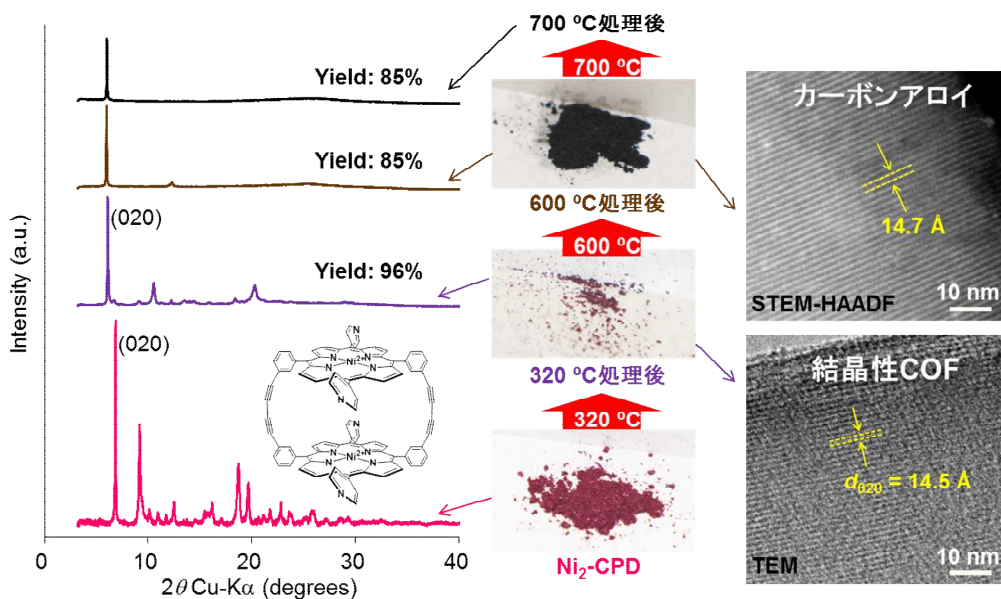


図 3 Ni₂-CPD の熱処理に伴う構造変化. 左のグラフは X 線回折パターンの変化、中央は各段階での試料の写真、右上は 600 °C 処理後の STEM-HAADF 像、右下は 320 °C 処理後の TEM 像.

3. 今後の展開

本研究では弾性変形する超空間の新機能として、応力による液体／気体の高効率変換を発見し、これを利用した新しい熱交換の原理を提案したが、今後は熱交換に興味を示す企業と共同し、実際に応力／熱変換デバイスを試作する予定である。将来的には、フロン系の冷媒を用いない、水で駆動するエアコンの開発に繋げる。また、弾性変形する超空間の新機能開拓も引き続き行う予定である。特に、電気化学的性質や触媒特性の弾性変形に伴う変化について検討を行う。

本研究で開発した弾性メソ多孔体である GMS は、高耐久性の電極材料や耐熱性の線膨張緩和層として応用が期待されている。電気二重層キャパシタ、固体高分子形燃料電池の Pt 担体、二次電池の導電助剤等への応用に関し、既に複数の企業と連携を開始しており、今後実用化も含めた検討を進める。また、GMS は粉末状のみならず成型体としても調製可能であるため、弾性変形する超空間の新機能開拓にも極めて有用である。今後、成型体の調製およびこれを利用した新機能開拓を進める。

弾性変形する微小ハニカム体は、現在のところ耐水性と導電性の向上が課題である。今後、これらの問題解決を進め、フロー電池等への応用展開に繋げる予定である。また、弾性変形可能な導電性担体としての利用が期待できるため、これを利用した二次電池活物質の開発も行う。

有機化学的手法による新規弾性多孔体調製(テーマ D)の検討により派生した構造規則性カーボンアロイの調製は、従来は「材料」であった炭素多孔体を「化学」的手法で精密に構築する道を拓く契機となる重要な成果であった。今後は有機化学的にデザインされた炭素多孔体の調製を一つの新しい分野とすべく更なる検討を進める予定である。また、同じくテーマ D から派生したフラレン多孔体も、高分子と炭素多孔体の中間的な材料であり興味深く、有機化学的に様々な材料デザインが可能であるため、今後は機能化も含め更なる検討を進める。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

本研究では、(1)弾性変形する超空間の機能開拓、(2)弾性変形する多孔体群の拡充、の 2 点を主要な目標に掲げていた。(1)に関しては、液体／気体の応力による高効率変換という新しい物理化学的現象に基づく機能を見出し、学会等の発表で複数の受賞に繋がるなど学術的価値が高く評価された他、企業からも共同研究の提案を受けるなど大きな反響を得ている。(2)に関しては、新しく開発した GMS が学術的に高く評価されており多くの研究者から共同研究の申し込みを受けている他、プレスリリースおよび複数の新聞報道に繋がり、非常に多くの企業から引き合いを受け、実用化に向けた検討も開始している。また、弾性変形する微小ハニカム材料に関しても、複数の企業から注目され、大きな反響を得ている。以上のように、本研究の目標は当初の想定を超えて達成することができ、科学技術及び社会・経済への波及効果も極めて高いものとなった。さらに、当さがけ領域において多くの先鋭の若手研究者と交流する中で、従来の方針である「炭素多孔体のグラフェン構造制御」をさらに一歩進め、「炭素多孔体の分子制御」の上位概念の着想に至り、これが規則性カーボンアロイの調製やフラレン

多孔体の開発に繋がった。特に前者は、今まで構造が複雑であり「材料」としてしか理解されていなかった炭素多孔体の骨格を有機化学的にデザインする道を拓くものであり、学術的価値は極めて高い。このような合成ルートは今後の革新的な材料開発に繋がるものと期待している。

また本さがけ期間中に、国際強化支援策としてスペインの Fernando Rey García 教授 (Instituto de Tecnología Química)、Diego Cazorla-Amoros 教授および Emilia Morallon 教授 (University of Alicante)、Juan M.D. Tascon 教授 (Instituto Nacional del Carbón, CSIC) の研究室を訪問した。なお、さがけ「超空間制御と革新的機能創成」研究領域の阪本康弘さがけ研究者 (科学技術推進機構)、野村淳子准教授 (東京工業大学)、藤森利彦准教授 (信州大学) らと行程を一部共にした。いずれの訪問先においても大変手厚い歓迎を受けた。我々さがけ研究者によるセミナーを開いて頂き、また先方からも最新の研究成果のプレゼンがあり、情報交換とディスカッションができ大変有意義であった。さらに、交流会では研究に関連した環境や国の制度からはじまり、お互いの文化に至るまで多くの会話ができ、大いに懇親を深めることができた。単に学会で会うよりも深くお互いを知ることができた点が、特に有意義であった。また、同行したさがけ領域生同士の懇親も深まったことも大きな収穫であった。実際、訪問中の議論がきっかけで、共同研究に繋がった。

(2) 研究総括評価 (本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った。)

(研究総括)

弾性変形する超空間にこだわり、各テーマにおける課題を一つ一つ自ら解決し、高いレベルで圧倒的な成果が得られました。また、研究目標の達成のみならず、炭素材料において、新しい概念 (例えば、冷凍機など) の展開につながりました。情報発信についても、国際学会での発表、国内外での招待講演、指導学生による多数のポスター賞受賞、総説の出版、新聞記事取材など、積極的に行き注目を浴びる研究となっています。

目標の立て方、研究費の使い方、研究の質、研究の広がり、共同研究、何れも申し分なく進めています。特に領域内外の研究者とのさまざまな共同研究、出口を絞った産業界との連携を上手に展開し、研究課題を進捗させました。引き続き、この進め方で更なる成果に繋がることを期待しています。

学術的な波及効果のみならず、その応用展開について検討が始まっています。GMSIはGMSIにしかできない材料としてとてもユニークな機能を有しており、複数の企業との連携を通して今後の社会実装が大いに期待されます。また社会実装に向けてはコストが大きな障壁になりますが、それは企業とのコラボレーション、或いは企業で行うべきと思います。また、基本特許出願、企業との戦略的特許出願についても検討が望まれます。

当初から目的意識と意欲が高い研究者でしたが、さがけの仕組みを十分活用し、大きく幅を広げ、目指す目標が一層高くなりました。「さがけ」で大きく飛躍した若手研究者だと思います。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Zheng-Ze Pan, Hirotomoto Nishihara, Shinichiroh Iwamura, Takafumi Sekiguchi, Akihiro Sato, Akira Isogai, Feiyu Kang, Takashi Kyotani, Quan-Hong Yang, "Cellulose Nanofiber as a Distinct Structure-Directing Agent for Xylem-Like Microhoneycomb Monoliths by Unidirectional Freeze-Drying", *ACS Nano*, 2016, **10**, 10689-10697.
2. Hirotomoto Nishihara, Tomoya Simura, Shunsuke Kobayashi, Keita Nomura, Raúl Berenguer, Masashi Ito, Masanobu Uchimura, Hiroshi Iden, Kazuki Arihara, Atsushi Ohma, Yuichiro Hayasaka, Takashi Kyotani, "Oxidation-Resistant and Elastic Mesoporous Carbon with Single-Layer Graphene Walls", *Advanced Functional Materials*, 2016, **26**, 6418-6427.
※同誌の most accessed in 7/2016 に選ばれる
3. Tomoki Ogoshi, Kumiko Yoshikoshi, Ryuta Sueto, Hirotomoto Nishihara, Tadaaki Yamagishi, "Porous Carbon Fibers Containing Pores with Sizes Controlled at the Ångstrom Level by the Cavity Size of Pillar[6]arene", *Angewandte Chemie International Edition*, 2015, **54**, 6466-6469.
※同領域の生越教授との共同研究
※Inside cover

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 3 件

1.

発 明 者: 生越友樹、吉越久美子、山岸忠明、西原洋知

発明の名称: 多孔質炭素材料およびその製造方法

出 願 人: 金沢大学、東北大学

出 願 日: 2015/3/6

出 願 番 号: 特願 2015-45093(公開 2016-164107)

2.

発 明 者: 伊藤仁、京谷隆、西原洋知、干川康人、小林俊介、野村啓太

発明の名称: 多孔質炭素材料およびその製造方法

出 願 人: 金沢大学、東北大学

出 願 日: 2014/9/12

出 願 番 号: 特願 2014-186672(特開 2015-164889)

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

・国際会議での招待講演

1. O.H. Nishihara, T. Kyotani "Graphene-based porous frameworks for supercapacitors", *5th International Conference from Nanoparticles and Nanomaterials to Nanodevices and Nanosystems (IC4N2016)*, Porto Heli, Greece (2016/6/26-30) 発表日 6/29
2. O.H. Nishihara, T. Kyotani "Graphene-based 3D frameworks for energy storage", *The International Conference on Small Science (ICSS 2016)*, Prague, Czech Republic

(2016/6/25-29) 発表日 6/26

3. ○ H. Nishihara “Zeolite-templated carbons for supercapacitors”, *GRAPHCHINA2015*, Qingdao, China (2015/10/28-30) 発表日 10/28
4. ○ H. Nishihara, T. Kyotani “Nanocarbons and composite materials for energy storage”, *Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON2015)*, Bangkok, Thailand (2015/1/21-1/23) 発表日 1/21
5. ○ H. Nishihara, T. Kyotani “Nanocarbons and composite materials for energy applications”, *XXIII International Materials Research Congress 2014*, Cancún, Mexico (2014/8/17-8/21) 発表日 8/19

・国内での招待講演・依頼講演

1. ○ 西原洋知, “新素材“グラフェンメソスポンジ”の開発とエネルギー変換デバイスへの展開”, 新化学技術推進協会 エネルギー分科会講演会, 東京, 2016/11/2 発表日 11/2(招待講演)
2. ○ 西原洋知, “グラフェン系多孔体電極”, 炭素材料学会 第12回スキルアップセミナー, 東京, 2016/9/2 発表日 9/2(招待講演)
3. ○ 西原洋知, “応力で弾性変形する超柔軟性グラフェン系多孔体”, 日本化学会第96春季年会, 京都, 2016/3/24~3/27 発表日 3/25(依頼講演)
4. ○ 西原洋知, “グラフェンから成る多孔体とその酸化特性”, 第4回酸化グラフェン研究会, 熊本, 2015/6/26 発表日 6/26(招待講演)
5. ○ Hiroto Nishihara, Takashi Kyotani, “Templated nanocarbons and carbon-coated materials for energy storage”, 第41回炭素材料学会年会, 福岡, 2014/12/8~12/10 発表日 12/8(Keynote lecture)

・受賞

1. 2016年11月10日 日本吸着学会奨励賞、「カーボン系材料のナノ空間制御と応用に関する研究」
2. 2015年12月3日 第42回炭素材料学会年会 ポスター賞、「ポルフィリン類の炭素化による新規カーボンアロイの調製」(指導する学生の受賞)
3. 2015年12月3日 第42回炭素材料学会年会 ポスター賞、「炭素材料の電気化学的耐性とエッジサイトの関係」(指導する学生の受賞)
4. 2015年11月19日 第29回日本吸着学会研究発表会 ポスター賞、「多孔体の弾性変形を利用した水蒸気吸脱着挙動の可逆的制御」(指導する学生の受賞)
5. 2015年8月10日 第53回炭素材料夏季セミナー ポスター賞、「1.5 nmの長周期規則構造を持つ新規カーボンアロイの調製」(指導する学生の受賞)
6. 2015年8月10日 第53回炭素材料夏季セミナー ポスター賞、「高比表面積キャパシタ電極炭素のエッジ構造」(指導する学生の受賞)
7. 2014年12月18日 第3回酸化グラフェンシンポジウム ポスター賞、「有機電解液におけるゼオライト鑄型炭素の疑似容量」
8. 2014年8月25日 第52回炭素材料夏季セミナー ポスター賞、「応力により弾性変形する

多孔性炭素の吸着挙動」

9. 2014年2月15日 BCSJ 賞、「Large Pseudocapacitance in Quinone-Functionalized Zeolite-Templated Carbon」

・著作物

1. 西原洋知, “応力で変形する柔軟多孔性材料”, Adsorption News, 2014, **28**, 9-13.
2. 西原洋知, 京谷隆, “ゼオライト鑄型炭素の合成, 特長, 応用”, ナノ空間材料ハンドブック, NTS 出版, 2016, pp. 296-310.

・プレスリリース

1. 2016年7月14日, “導電性・耐食性に優れた大表面積スポンジ状グラフェンの開発に成功～ナノ細孔が柔軟に変形～”, 東北大学/JST プレスリリース

・新聞記事等

1. 2016年7月19日, 日経テクノロジーonline, “スポンジ状グラフェン、電池材料などに応用可能”
2. 2016年7月20日, EETimes, “まるでスポンジのよう、ナノ細孔が柔軟に変形:新構造のグラフェン、優れた導電性・耐食性示す”
3. 2016年7月25日, 日経産業新聞 第8面, “スポンジ状グラフェン —エネルギー密度2倍—”
4. 2016年8月2日, 日刊工業新聞 科学技術大学面, “スポンジ状グラフェン開発”
5. 2016年8月22日, 新エネルギー新聞 第10面, “新たなグラフェン『GMS』開発”
6. 2016年8月25日, 新エネルギー新聞電子版, “東北大らが次世代電極期待の新素材を開発”