

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：16401
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2017～2020
課題番号：17H01904
研究課題名(和文) 完全な再生可能資源化を目指したリグニンからポリアセニックファイバーへの展開技術

研究課題名(英文) Conversion technology to polyacenic fiber that contributes to the complete recycling of lignin

研究代表者
森 勝伸 (Mori, Masanobu)

高知大学・教育研究部総合科学系複合領域科学部門・教授

研究者番号：70400786

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地球上で芳香族を最も多く含むリグニンの再資源を目指し、金属イオンを利用した有価な炭素材料に変換する方法の開発を試みた。樹皮から得られたリグニンに極微量のFe(II)やCo(II)等を担持し、1200℃で1時間熱処理すると、導電性に優れた単層グラフェンを創出することができた。これは、リグニンにキレート吸着した金属イオンが低酸素雰囲気下で金属触媒となり、炭素材料の成長に関わったと考えられる。4年間の研究期間では、計画の一部が実施できなかったが、バイオマスからグラフェンを簡単に生成できる方法を発見したことは、バイオマスリサイクルのブレークスルーテクノロジーに資するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、溶液化学に基づき、リグニンが多価金属イオンと安定に錯形成することに着目したことである。これにより、リグニンから単層グラフェンを含むシート状のナノカーボン材料を獲得できたことは、バイオマスの新たな再資源化技術を示し、工業的製法にも影響を及ぼす発見であったと言える。このように有用材料がバイオマスから安価で簡便に獲得できれば、持続的な低炭素化社会に貢献できるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study was to completely recycle lignin, which contains the most aromatics on the earth. Especially, we focused on the development of the method, which can convert lignin into valuable carbon materials using metal ions, based on a concept of the solution chemistry. First, lignin extracted from the bark was dispersed in a solution with a divalent metal ion such as Fe(II) and Co(II). Next, when the metal-supported lignin was heated at 1200 °C under a low oxygen atmosphere for 1 h, the monolayer graphene, which exhibits high-conductance property was successfully generated due to the catalytic effect of the supported metal. Our method that can produce valuable carbon material by the simple way will contribute to breakthrough technology in biomass recycling, while some of the plans could not be achieved during the four-year study period.

研究分野：無機分離科学

キーワード：リグニン 再資源化 金属触媒 熱処理

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

リグニンは多量の芳香族を含むフェノール性の高分子化合物であり、製紙、パルプ、バイオエタノール等の工程において分離され、燃料として用いられる、もしくは廃棄される。近年は、これをバイオエタノール、カーボンや複合材料等のリサイクル技術の研究開発が盛んに行われている [1]。しかし、リグニンをエネルギーに変換する場合にはススやタールの発生が、マテリアルに変換する場合には薬品処理や熱処理による低分子の有機酸や多環芳香族の発生が見られ、それらの処理のために煩雑な工程を伴うことがある。これまでも廃棄物バイオマスの主原料とするバイオベースポリマーが開発されている[2-4]が、複合材料のファイバーは石油等の化石資源を由来とするカーボンナノチューブ (CNT) やグラフェン等であった。申請者らは、廃材に含まれるリグニンを重金属固定化剤に利用するため、廃材を土壌から植物に重金属に移行させない土壌改質剤に変換し、最終的に土壌に同化できることを示した[5]。一方、分担研究者らは、リグニンに Co^{2+} を 1 wt% 担持させ水素雰囲気下での高温熱処理を行い、結晶性の高い炭素析出に成功している [6]。しかし、高結晶性炭素析出においては、 CO_2 やメタン等の炭素源も放出してしまい、炭素欠陥が生じやすい。したがって、この問題を解決することは、本研究を成功に導く重要なブレークスルーとなっていた。

2. 研究の目的

本研究では、廃棄物の再利用が非常に難しいとされているリグニンの高い芳香族性に注目し、ファイラーに変換する技術を提案することを目的とした。本稿では、リグニンからグラフェンが生成した経路とその考察について詳述する。

3. 研究の方法

東京化成工業株式会社から購入したリグニン (1.0g) を、 FeCl_2 溶液 (50mL) に所定の濃度で分散させ、溶液を 3 時間攪拌した。溶液中の Fe(II) の酸化と沈殿を防ぐため、塩化ヒドロキシルアンモニウムと酢酸を FeCl_2 溶液に添加した。鉄を担持したリグニン (Fe 担持リグニン) を、オープン乾燥または凍結乾燥によって得られた。鉄の担持量は 0.028 から 2.8mmol/g の範囲で調製された。 Fe 担持リグニンをアルゴン雰囲気中 1200 °C の温度で 1 時間熱処理して、炭化試料を得た。その後、蒸留水で十分に洗浄し、真空乾燥した。試料名は、 Fe の初期濃度 (X mmol/g) と試料の乾燥方法 (オープン乾燥 (OD)、凍結乾燥 (FD)) で区別した (例、L- FeX(OD))。炭化試料は、透過型電子顕微鏡 (TEM) を使用して観察し、炭素構造を調査した。表面積と細孔構造は、-196°C で窒素吸脱着測定を使用して評価した。試料の比表面積は Brunauer-Emmett-Teller (BET) 理論に基づいて計算された。メソ細孔の体積は、Barrett-Joyner-Halenda (BJH) 分析によって決定された。調製した炭素サンプルのラマンスペクトルは、532 nm Nd : YAG レーザーを使用したラマン分光法によって取得した。

炭化試料中のグラフェン層の周辺サイト (エッジサイト) は、温度プログラム脱離質量分析 (TPD-MS) を用い、エッジサイトで脱離する分子を測定することによって見積もられた。グラフェンシートの平均サイズは、エッジサイトの数から計算された[7]。

4. 研究成果

本研究で最もグラフェンが得られたリグニンは、水溶性のアルカリリグニン (水溶性リグニン) であり、これは酸素含有官能基が含まれており、水中の分散性が高かったのが特徴で

ある。また、水溶性リグニンは、乾燥方法によって大きく異なっており、Figure 1a と b は、それぞれオープン乾燥と凍結乾燥によって得られたものを示す。オープンで乾燥させたサンプルは、固体樹脂に似た状態の高密度粉末であったが、凍結乾燥のものは、ふわふわの粉末が得られた。さらに、Figure 1a 'および b'には、オープン乾燥および凍結乾燥したリグニン試料を、1200°C で熱処理して調製したものを示す。どちらの乾燥方法でも、熱処理後も熱処理前と同様の質感を維持した。これはリグニンが熱硬化性樹脂の特性を備えたポリマーであることが由来していると考えられる[8]。このような乾燥方法の違いによって得られた形態の違いは、後で説明するように、グラフェンの生成に強く関係していた。

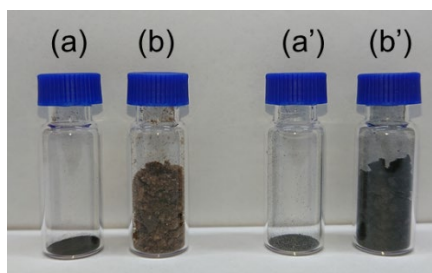


Figure 1. Photographs of (a, b) lignin samples and (a', b') carbonized lignin samples obtained by (a) oven drying and (b) freeze drying of lignin. Each sample was prepared from the same amount of lignin.

Figure 2 に炭化試料と市販のグラフェンのラマンスペクトルを示す。金属イオンの担持を行っている対照試料では、乾燥方法に関係なく、アモルファスカーボンの幅広いラマンスペクトルが確認された[9,10]。オープン乾燥した Fe 担持リグニンサンプル (L-Fe0.56 (OD)) は、金属を含まないサンプルと同様のラマンスペクトルを示したが、凍結乾燥した Fe 担持サンプル (L-Fe0.56 (FD)) は グラフェン特有の強い 2D バンド (2700cm^{-1}) を示した[11]。特に、L-Fe0.56 (FD) のラマンスペクトルは、市販のグラフェンのラマンスペクトルと非常に類似していた。Figure 3 に炭化試料の TEM 画像を示す。グラフェンのような炭素薄膜は L-Fe0.56 (FD) でのみに観察された。これは、Fe 担体と凍結乾燥の両方がリグニンからグラフェンを生成する上で主要な役割を果たしていることを示唆するものであった。

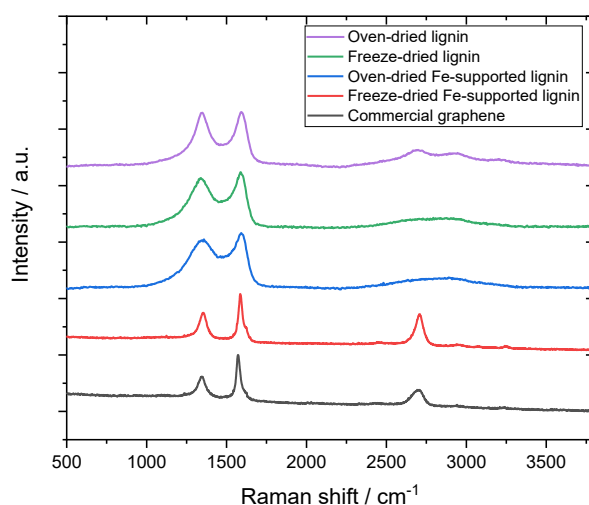


Figure 2. Effect of drying method and Fe support on Raman spectra of carbonized samples.

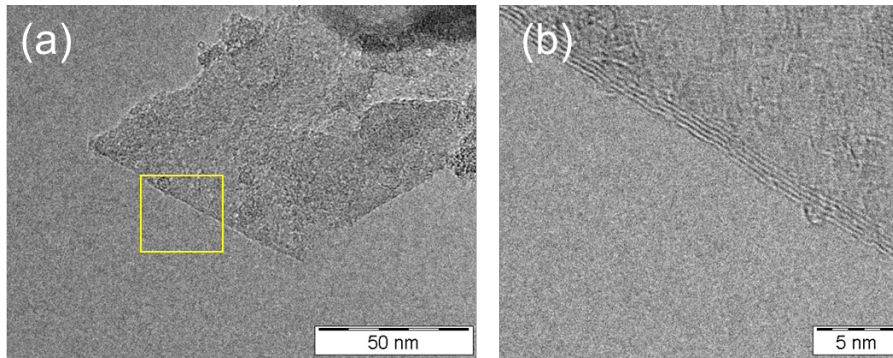


Figure 3. (a) TEM image of carbonized samples obtained from freeze-dried Fe-supported lignin (L-Fe0.56(FD)) and (b) magnified image of yellow square marked region of a.

Figure 4は、様々な鉄担持リグニンを凍結乾燥して得られた炭化試料のラマンスペクトルを示す。その結果、グラフェンの生成は鉄(II)約 0.56 mmol/g をリグニンに担持した試料を炭素化したときに確認された。さらに、鉄(II)の担持量を 2.8 mmol/g に増やすと、グラフェン固有の2Dバンドの強度が大幅に減少し、グラフェンが生成されなかったことが確認された。

次に、グラフェンの形成を定量的に議論するために、Dバンド (1350 cm^{-1}) と Gバンド (1590 cm^{-1}) の強度比 (I_D/I_G) および 2Dバンドと Gバンド (I_{2D}/I_G) から計算された。その結果は、 I_D/I_G の最小値と I_{2D}/I_G の最大値を得たときのリグニンへの Fe(II)の担持量は 0.28 ~ 1.4 mmol/g のときであった。一方、Fe(II)担持量が 2.8 mmol/g の場合、 I_D/I_G および I_{2D}/I_G 値は金属を含まない炭素化リグニンとほぼ同じであり、グラフェンの生成には、適度な Fe(II) 担持量に調製する必要があったものと考えられる。

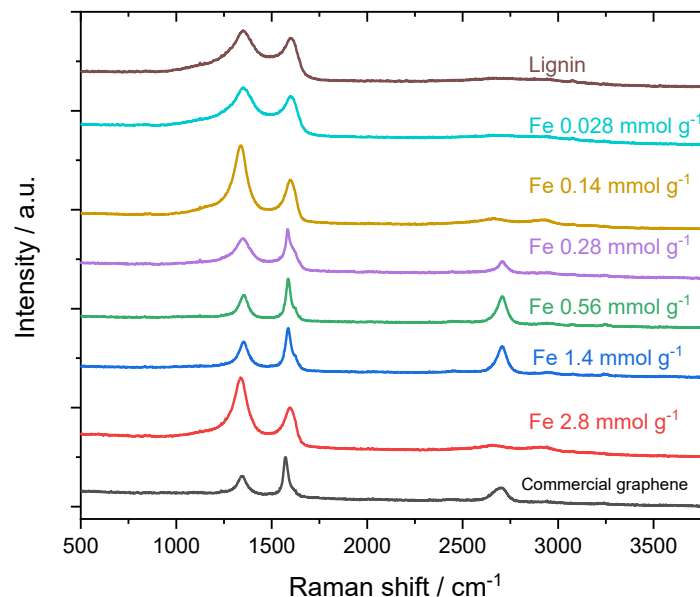


Figure 4. Raman spectra of carbonized lignin samples prepared from freeze-dried lignin with different Fe loadings.

次に Fe(II)担持リグニンからのグラフェン形成の原理を明らかにするために、炭化試料の詳細な構造解析を行った。Table 1は、TPD測定から計算されたグラフェンシートの平均サイズと各炭化試料の BET 比表面積およびメソ細孔容積をまとめた。これより、比表面積は L-Fe0.56(FD)が最も大きく、金属を担持していないものよりもメソ細孔容積が大きかった。さらに、L-Fe0.56(FD)のグラフェンシートの平均サイズも最も大きいことがわかった。

Table 1. Properties of carbonized lignin samples

Sample	BET specific surface area [†] (m ² g ⁻¹)	$V_{\text{meso}}^{\ddagger\dagger}$ (cm ³ g ⁻¹)	Total edge sites [§] (μmol g ⁻¹)	Average size of graphene sheets [§] (nm)
L(OD)	<1	N/A	698 ± 79	60 ± 6
L(FD)	312	0.019	853 ± 101	49 ± 5
L-Fe0.56(FD)	440	0.084	457 ± 124	97 ± 26
L-Fe2.8(FD)	330	0.085	721 ± 178	61 ± 15

[†]Determined by N₂ adsorption isotherm. [‡]Volume of mesopores. [§]Obtained from temperature-programmed desorption mass spectrometry (TPD-MS).

次に、熱処理温度を 1100 °C 以下に下げた場合、どのリグニン試料でもグラフェンの生成は認められなかった。これより、熱処理時の金属触媒と炭素との接触反応は、温度が上昇するにつれて促進されるものと考えられる。

これまでの報告では、鉄を触媒にした場合、接触反応は約 700 °C で開始するとされている[12]が、本研究では 1200°Cの非常に高い温度で接触反応が進行した。これは、バイオマスからグラフェンを得るためには、高温の熱処理が必要であることを意味すると共に、リグニンと金属触媒との接触反応を理解するためには、今後詳細な調査を行う必要がある。

いずれにしても、リグニンをグラフェンに直接変換することは、大量のグラフェンベースの材料を低コストで合成するための前例のない方法であり、リグニンを効果的に使用するための方法として優れていると結論する。

文献 [1] Watanabe et al., *Green Chem.* 17 (2015) 2780. [2] Luo et al., *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 4 (2016) 3465. [3] Ajjan et al., *J. Mater. Chem. A* 4 (2016) 1838. [4] Chowdhury, *Int. J. Biol. Macromol.* 65 (2014) 136. [5] Mori, Itabashi, et al., *Chemosphere*, 148 (2016) 487. [6] Kannari, Ozaki, et al., *Smart Grid and Renewable Energy*, 4 (2013) 10. [7] Ishii, Ozaki, et al., *Carbon*, 80 (2014) 135. [8] Kawamoto, *J. Wood Sci.*, 63, (2017) 117. [9] Jawhari, et al., *Carbon*, 33 (1995) 1561. [10] Schuepfer, et al., *Carbon*, 161 (2020) 359. [11] Malard, et al., *Phys. Rep.*, 473 (2009) 51. [12] Ozaki, et al., *Carbon*, 36 (1998) 131.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ishii Takafumi, Ozaki Jun-ichi	4. 巻 161
2. 論文標題 Understanding the chemical structure of carbon edge sites by using deuterium-labeled temperature-programmed desorption technique	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 343 ~ 349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2020.01.079	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 Ishii Takafumi, Horiuchi Akihiro, Ozaki Jun-ichi	4. 巻 6
2. 論文標題 An Ion-Sensitive Field Effect Transistor Using Metal-Coordinated Zeolite-Templated Carbons as a Three-Dimensional Graphene Nanoribbon Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Materials	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmats.2019.00129	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 Nakarai Kenichiro, Suzuki Yuji, Mori Masanobu, Ho Lanh Si, Arai Akira, Kobayashi Yusuke	4. 巻 235
2. 論文標題 Physicomechanical properties and durability of a new lightweight porous mortar utilizing woodchips	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Cleaner Production	6. 最初と最後の頁 158 ~ 165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jclepro.2019.06.244	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 Sun Xiaotong, Kobayashi Shizusa, Tokue Ai, Itabashi Hideyuki, Mori Masanobu	4. 巻 202
2. 論文標題 Enhanced radiocesium uptake by rice with fermented bark and ammonium salt amendments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Radioactivity	6. 最初と最後の頁 59 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jenvrad.2019.02.008	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 Sakura, MORI Masanobu, KOZAKI Daisuke, HOSOKAWA Takayuki, ITABASHI Hideyuki	4. 巻 35
2. 論文標題 Utilization of Anion-exchange Guard Column as an Ion Chromatographic Column of Anions Including Application to Simultaneous Separation of Anions and Cations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 1117 ~ 1122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19P146	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 ZHAO Meichao, SHINOZAKI Haruka, ITABASHI Hideyuki, KOZAKI Daisuke, MORI Masanobu	4. 巻 35
2. 論文標題 Dynamic Four-step Sequential Extraction Procedure Using a Four-channel Circulating Flow System for Extracting Cd, Cu, Pb, and Zn from Solid Environmental Samples	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 1089 ~ 1096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19P077	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 Xiaotong Sun, Shizusa Kobayashi, Ai Tokutome, Hideyuki Itabashi, Masanobu Mori	4. 巻 202
2. 論文標題 Enhanced radiocesium uptake by rice with fermented bark and ammonium salt amendments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Radioactivity	6. 最初と最後の頁 59-65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jenvrad.2019.02.008	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 Xiaotong Suna, Huijiao Moa, Ken-ichi Hatanoa, Hideyuki Itabashia, Masanobu Mori	4. 巻 14
2. 論文標題 Simultaneous suppression of magnetic nanoscale powder and fermented bark amendment for arsenic and cadmium uptake by radish sprouts grown in agar medium	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Science and Pollution Research	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11356-019-04756-4	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 該当する

1. 著者名 MORI Masanobu, SUGITA Tsuyoshi, FUJII Kengo, YAMAZAKI Taiki, ISAKA Mayu, KOBAYASHI Kentaro, IWAMOTO Shinji, ITABASHI Hideyuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Evaluation of Photocatalytic Abilities by Variation of Conductivity and Dimethyl Sulfoxide: Photocatalytically Active TiO ₂ -coated Wire Mesh Prepared via a Double-layer Coating Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 1449 ~ 1453
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.18N012	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 Meichao ZHAO, Nobuhiko WADA, Haruka SHINOZAKI, Noriaki SEKO, Masanobu MORI, Hideyuki ITABASHI	4. 巻 34
2. 論文標題 Monitoring of Palladium Concentration in River Water and Sediment at an Acidic Hot Spring Spa Area in the Gunma Prefecture	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 1357-1364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.18P211	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 Tsukasa Ito, Katsuyuki Okabe, Masanobu Mori	4. 巻 162
2. 論文標題 Growth reduction of Microcystis aeruginosa by clay ball elution solution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Clay Science	6. 最初と最後の頁 223-229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.clay.2018.06.018	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 Shin-Ichi Ohira, Kyosuke Kaneda, Toru Matsuzaki, Shuta Mori, Masanobu Mori, Kei Toda	4. 巻 90
2. 論文標題 Universal HPLC detector for hydrophilic organic compounds by means of total organic carbon detection	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 6461-6467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.7b04849	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 Tsuyoshi Sugita, Ken-ichi Kobayashi, Kentaro Kobayashi, Taiki Yamazaki, Kengo Fujii, Hideyuki Itabashi, Masanobu Mori	4. 巻 356
2. 論文標題 Enhanced aqueous adsorption and photodecomposition of anionic organic target by amino group-modified TiO ₂ as anionic adsorptive photocatalyst	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 71 ~ 80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2017.12.025	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 Kyuma Suzuki, Yumi Onozeki (Yuasa), Shun Watanabe, Yasunori Yamashita, Hajime Arai, Hideki Tanaka, Toshihiro Kuge, Masanobu Mori, Shoichi Aizawa, Seiichi Nohara, Yuichi Iwasaki, Yoshitaka Minai, Yukiko Okada, Seiya Nagao, Kin-ichi Tsunoda	4. 巻 622-623
2. 論文標題 Radiocesium dynamics in the aquatic ecosystem of Lake Onuma on Mt. Akagi following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 1153 ~ 1164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2017.12.017	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 森 勝伸, 寺澤侑哉, 板橋英之	4. 巻 645
2. 論文標題 逐次抽出法による焼却灰中の重金属の溶出特性評価	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 工業用水	6. 最初と最後の頁 48-57
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 相澤 省一, 森 勝伸, 小池 優子, 角田 欣一	4. 巻 66
2. 論文標題 福島第一原子力発電所事故により赤城大沼一帯に降下した放射性セシウム	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 分析化学	6. 最初と最後の頁 271 ~ 279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunseki.kagaku.66.271	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 1. Dustin Banham, Takeaki Kishimoto, Yingjie Zhou, Tetsutaro Sato, Kyoung Bai, Jun-ichi Ozaki, Yasuo Imashiro, Siyu Ye	4. 巻 4
2. 論文標題 Critical advancements in achieving high power and stable nonprecious metal catalyst-based MEAs for real-world proton exchange membrane fuel cell applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 7180 ~ 7180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aar7180	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 2. T. Ishii, Y. Kaburagi, A. Yoshida, Y. Hishiyama, H. Oka, N. Setoyama, J. Ozaki, T. Kyotani	4. 巻 125
2. 論文標題 Analyses of trace amounts of edge sites in natural graphite, synthetic graphite and high-temperature treated coke for the understanding of their carbon molecular structures	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 146 ~ 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2017.09.049	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 T. Ishii, T. Maie, N. Kimura, Y. Kobori, Y. Imashiro, J. Ozaki	4. 巻 42
2. 論文標題 Enhanced catalytic activity of nanoshell carbon co-doped with boron and nitrogen in the oxygen reduction reaction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 15489 ~ 15496
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2017.05.003	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 H. Itoi, H. Nishihara, S. Kobayashi, S. Ittisanronnachai, T. Ishii, R. Berenguer, M. Ito, D. Matsumura, T. Kyotani	4. 巻 121
2. 論文標題 Fine Dispersion of Pt4-5 Subnanoclusters and Pt Single Atoms over Porous Carbon Supports and Their Structural Analyses with X-ray Absorption Spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 7892 ~ 7902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b00422	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

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 10件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 田村隆典, 森みかる, 久安駿弘磨, 生田雄己, 石井孝文, 尾崎純一, 小崎大輔, 森勝伸
2. 発表標題 リグニンからカーボン材料を生成するためのFe(II)担時リグニンの調製と熱処理前後の物性評価
3. 学会等名 日本分析化学会中国四国支部 第25回中国四国支部分析化学若手セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井坂菜由, 杉田剛, 山崎太樹, 板橋英之, 樋山みやび, 森勝伸
2. 発表標題 光触媒酸化反応とクロマトグラフィーをオンライン化したフローシステムによる二酸化チタン光触媒固定化材料の評価
3. 学会等名 第36回イオンクロマトグラフィー討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 生田雄己, 森みかる, 田村隆典, 久安駿弘磨, 小崎大輔, 石井孝文, 森勝伸
2. 発表標題 リグニン由来のグラフェン生成の機構解明に対するクロマトグラフィーの利用
3. 学会等名 第36回イオンクロマトグラフィー討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 勝伸
2. 発表標題 分離科学を応用した化学研究
3. 学会等名 基礎科学招待セミナー/国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森 勝伸
2. 発表標題 分析化学を医療と環境にどのように生かしてきたか
3. 学会等名 第10回高知県産学官民連携セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masanobu Mori
2. 発表標題 EXAFS analysis of cesium in the sediment at the Lake Akagi Onuma
3. 学会等名 The 17 international Conference on X-ray Absorption Fine Structure in Krakow, Poland（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masanobu Mori
2. 発表標題 Separation of Arsenite and Arsenate by Electrodialytic Ion Isolation Dvice
3. 学会等名 2018 CJK Symposium on Analytical Chemistry in China（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森 勝伸
2. 発表標題 廃材を利用した重金属の吸着と安全な米作りへの応用
3. 学会等名 第78回分析化学討論会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎太樹, 小林健太郎, 井坂茉由, 杉田 剛, 森 勝伸, 板橋英之
2. 発表標題 陰イオン吸着性光触媒の合成とクロマトグラフィーを用いた水質浄化性能評価
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森 勝伸, 杉田 剛
2. 発表標題 光触媒の水質浄化性能試験に関わる流れ分析の利用
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jun-ichi Ozaki, Naokatsu Kannari, Kumi Nariduka, Takuya Maie, Koji Takasu, Takafumi Ishii, Machiko Takigami
2. 発表標題 Corrugated graphitic layers catalysing oxygen reduction reaction
3. 学会等名 Carbon2017, Melbourne Australia (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Takigami, T. Maie, K. Nariduka, K. Takasu, N. Kannari, T. Ishii, J. Ozaki
2. 発表標題 Formation and catalytic activity for oxygen-reduction-reaction of fullerene-sootderived onion-like carbons
3. 学会等名 Carbon2017, Melbourne Australia (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Ishii, T. Maie, K. Nariduka, N. Kannari, M. Takigami, J. Ozaki
2. 発表標題 Investigation of chemical states of nitrogen introduced to fullerene-soot-derived onion-like-carbons and its property toward oxygen reduction reaction
3. 学会等名 Carbon2017, Melbourne Australia (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katusya Sagara, Masanobu Mori, Shin-ichi Ohira, Hideyuki Itabashi
2. 発表標題 Speciation of inorganic arsenic by an electro-dialytic ion isolation devise
3. 学会等名 The 9th Asia-Pacific Symposium on Ion Analysis, Shaoxing, China (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Meichao Zhao, Nobuhiko Wada, Haruka Shinozaki, Noriaki Seko, Masanobu Mori, Hideyuki Itabashi
2. 発表標題 Speciation of palladium in river water and sediment samples in Kusatsu Hot Spring Area and Shinaki Dam-Lake in Gunma Prefecture of Japan using sequential extraction
3. 学会等名 The 9th Asia-Pacific Symposium on Ion Analysis, Shaoxing, China (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sakura Yoshii, Masanobu Mori, Hideyuki Itabashi
2. 発表標題 Ion chromatography of anions and cations by a series connection of anion-exchange and cation-exchange columns with acidic eluent
3. 学会等名 The 9th Asia-Pacific Symposium on Ion Analysis, Shaoxing, China (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Xiaotong Sun, Huijiao Mo, Ken-ichi Hatano, Hideyuki Itabashi, Masanobu Mori
2. 発表標題 Suppression of inorganic arsenic uptake into radish by a mixture of magnetic nanoscale powder and fermented bark amendment
3. 学会等名 The 9th Asia-Pacific Symposium on Ion Analysis, Shaoxing, China (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森 勝伸
2. 発表標題 廃材を用いた環境修復と土壌中の重金属の分析技術特別講演
3. 学会等名 第22回 徳島地区分析技術セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森 勝伸
2. 発表標題 分離科学に関するこれまでの歩み
3. 学会等名 平成29年度高知分析技術懇談会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masanobu Mori, Katusya Sagara, Shin-ichi Ohira
2. 発表標題 Ion-exclusion chromatography of silicate and borate ions with an electro dialytic salt remover
3. 学会等名 The 9th Asia-Pacific Symposium on Ion Analysis, Shaoxing, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森 勝伸
2. 発表標題 ジルコニア固定相を用いるイオンクロマトグラフィー
3. 学会等名 日本分析化学第66年会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masanobu Mori
2. 発表標題 Analysis of weak acid by combination of an electro-dialytic salt removal and ion-exclusion chromatography with corona charged aerosol detection
3. 学会等名 2017 Asia / CJK symposium on Analytical Sciences, Tokyo（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 石井孝文, 神成尚克, 小林理江子, 尾崎純一	4. 発行年 2017年
2. 出版社 (株) R & D 支援センター	5. 総ページ数 386
3. 書名 カーボンブラックを上手に使用する処方箋 (第2節)	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 分離装置、分離方法、RI分離精製システムおよびRI分離精製方法	発明者 森 勝伸、大平慎一、戸田 敬、須郷由美、渡辺茂樹、石	権利者 高知大学、熊本大学、国立研究開発法人量子科
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-080635	出願年 2018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	尾崎 純一 (Ozaki Jun-ichi) (30214125)	群馬大学・大学院理工学府・教授 (12301)	
研究分担者	板橋 英之 (Itabashi Hideyuki) (40232384)	群馬大学・大学院理工学府・教授 (12301)	
研究分担者	石井 孝文 (Ishii Takafumi) (50750155)	群馬大学・大学院理工学府・助教 (12301)	

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