

令和元年6月21日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05866

研究課題名(和文)木質系バイオマスを出発物質とした高CO<sub>2</sub>吸蔵機能を持つ炭素材料の開発研究課題名(英文) Development of carbon material with high CO<sub>2</sub> storage function from woody biomass as starting material

研究代表者

畑 俊充 (HATA, TOSHIMITSU)

京都大学・生存圏研究所・講師

研究者番号：10243099

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：大気圧下でCO<sub>2</sub>を吸蔵・回収することによって、地球温暖化問題の解決に資する木質活性炭を開発することを目標とする。その基礎的データを集める目的で、鉄錯体、賦活剤の混合比やCNFのフェノール樹脂への添加率を変えたフェノール樹脂の賦活処理により活性炭を作成し、ガス吸着測定と透過電子顕微鏡(TEM)観察結果からその微細空隙構造を解析し、CO<sub>2</sub>吸着量に対する影響を調べ、賦活剤の添加量に最適値が存在することがわかった。TEM像の画像解析とガス吸着測定から、CO<sub>2</sub>を効率的に吸着するためにはウルトラミクロ孔まで到達するまでの移動経路を確保することが重要であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、炭素の空隙構造を制御することによりなぜCO<sub>2</sub>吸収能が上がるのかを解明する点で、学術的意義が高い。従来品と比較して圧倒的低コストで製造可能なCO<sub>2</sub>吸着材を開発することが、地球温暖化問題を解決する糸口になるからである。本研究によって得られる基礎的データは、科学技術イノベーションに寄与し、地球温暖化対策で利用されそこから卓越した成果が期待される。IPCC京都総会で土壌へのバイオ炭投入量が炭素貯留量へ貢献することとなり世界のCO<sub>2</sub>排出量削減につながる点で、本研究の社会的意義は極めて高いといえる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to develop a wood-based carbon material contributing to the solution of global warming problem by adsorbing and storing CO<sub>2</sub> under atmospheric pressure. Activated carbon was made by changing the amount of Fe ion, mixing ratio of CNF, phenolic resin and activators in order to obtain the basic data for that purpose. The micropore structures were analyzed with CO<sub>2</sub> adsorption measurement and transmission electron microscopy (TEM). An optimum condition was found for the amount of activators. Image analysis of TEM images and gas adsorption measurements revealed that it is important to secure the migration path to reach ultramicropores in the activated carbon in order to adsorb CO<sub>2</sub> efficiently.

研究分野：木質炭素材料学

キーワード：木質系バイオマス CO<sub>2</sub>吸蔵 木質活性炭 透過電子顕微鏡 ガス吸着測定 地球温暖化問題 画像解析

## 1. 研究開始当初の背景

化石燃料の使用はますます増加しており、大気に排出される CO<sub>2</sub> 濃度も増加傾向にある。温室効果ガスの中で CO<sub>2</sub> ガスは、地球温暖化に最も影響を与えているといわれている。地球温暖化防止の観点から、CO<sub>2</sub> 吸着材料の開発が急務である。

CO<sub>2</sub> の排出を抑えるために様々な検討が政策面と技術面の両方から行われている。火力発電所などの大規模な発生源では、二酸化炭素を人為的に集め地中や水中に封じ込める貯留が注目されている。貯留する方法には、アミン吸収法、活性炭法、分離膜法、フレキシブル金属有機構造体などがあげられる。これらいずれの方法においても、二酸化炭素の吸収能力や効率、およびコストといった大きな壁がある。例えば、アミン吸収法が火力発電からの大規模な二酸化炭素排出の回収に用いられている。しかしながら、アミン溶液を回収し再生する際に大きなエネルギーを必要とする。また、アミン溶液を長期間何度も使用することができない。分離膜法は CO<sub>2</sub> 回収率および耐久性が低い。また分離膜そのものが高価であるといった問題がある。一方、セメント・ガラス工場といった中小規模の工場や家庭などの中小規模発生源では、上記の方法による CO<sub>2</sub> 回収はコストの点で実用性が乏しい。そのため、安価で耐久性と安全性を兼ね備え、効率的な CO<sub>2</sub> の貯留法が開発が求められる。研究代表者はこれまで様々な木質系炭素同素体を合成し、それらの機能についての検討を行ってきた。そこで本研究では、これらの知見を元に、カーボンニュートラルである木質系バイオマスとフェノール樹脂から、CO<sub>2</sub> 吸着材を穏和な条件で安価に合成するための方法について基礎的データを集めることとした。

本研究の基盤技術は「マルチフラーレン状構造」に由来する。マルチフラーレン状構造は、スギの炭素化合物中にて申請者が世界に先駆けて見出した。電子顕微鏡による詳細な組織観察から、球殻状に閉じた炭素六角網面が、何層か同心円状に積み重なってできた構造的特徴を有することが明らかとなっている。更には、トドマツを用いて、Fe<sup>2+</sup>共存下で通電加熱処理を行なったところ、マルチフラーレン状構造炭素を意図的に作製することに成功した。(畑俊充,第 65 回日本木材学会大会発表要旨集, p.117, 2015)。このように、マルチフラーレン状構造は、金属触媒を添加した木質系バイオマス粉末を低温加熱した炭素前駆体を加熱して得られる。さらにこのマルチフラーレン状構造にフェノール樹脂炭化層をコーティングすることにより、炭素表面に分子篩性を付与される可能性がある。

フェノール樹脂を炭素前駆体に用いた炭素材料についてのこれまでの経験から、フェノール樹脂は炭素化収率が高く、また高純度であるといった特徴を有しており、CO<sub>2</sub> 吸着材への利用に有利な点が多い。一方、バイオマスの一つであるセルロースナノファイバー (CNF) は、フェノール樹脂と比較すると低温で熱分解が生じる、多孔質化しやすい、およびカーボンニュートラルである木材から作られる、といった特徴がある。木質は大気中の CO<sub>2</sub> を用いた光合成により組織構造体を作る。木材を燃やすと CO<sub>2</sub> に分解するが、バイオ炭として土に埋めると、微生物に分解されずに CO<sub>2</sub> が固定される。地中に埋められたバイオ炭へ CO<sub>2</sub> を注入し吸着させることにより、持続的なエネルギー資源再生と地球温暖化防止の両立が可能となる。CO<sub>2</sub> 吸着にはミクロ孔が寄与するので、ミクロ孔を多く含む木質炭素化合物は CO<sub>2</sub> 吸着をするための理想的な材料といえる。研究代表者は、フェノール樹脂と CNF を複合化することで炭素化収率が高く、多孔質複合材料からなる吸着剤の開発を目指してきた。フェノール樹脂・CNF 複合炭素前駆体中に水酸化カリウムを添加して賦活処理を行った。さらに、空隙構造に直接的に影響する KOH と K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> の混合比率を変えフェノール樹脂の賦活処理により活性炭を作成した。CO<sub>2</sub> 吸着測定と透過電子顕微鏡(TEM)観察結果からその微細空隙構造を解析し、CO<sub>2</sub> 吸着量に対する影響を調べた。さらにセルロースナノファイバーとフェノール樹脂という異なるミクロ空隙の組み合わせによって、得られた炭素化合物の CO<sub>2</sub> 吸着量がどのように変化するかを調べた。

## 2. 研究の目的

本研究は、大気圧下で CO<sub>2</sub> を吸蔵することにより、地球温暖化問題の解決に資する木質活性炭を開発することを目標とする。この目標のための基礎データを集めるために、金属錯体、セルロースナノファイバー(CNF)、および二種類の賦活剤などを炭素前駆体に加え、触媒作用により多層球状体、マルチフラーレン状構造をもつ木質活性炭を合成する。得られた炭素材料の CO<sub>2</sub> 吸着能を向上させる合成条件を求め、木質活性炭の空隙構造を透過電子顕微鏡(TEM)観察と分光法により明らかにし、その解析結果を CO<sub>2</sub> 吸着材の合成法にフィードバックする。木質活性炭には次のような木質ならではの特徴が存在する:1)カーボンニュートラルである、2)大規模な装置を必要とせず繰り返し使用が可能で、低コストで利活用できる、3)ミクロ孔が均一に分散している。

## 3. 研究の方法

### (1) Fe 錯体が木質活性炭の空隙構造に及ぼす影響

トドマツ材(*Abies sachalinensis*)木粉を空気雰囲気下において 300°Cの加熱処理により炭素前駆体を調製した。炭素前駆体を 0.5N 酢酸鉄水溶液に 48hr 浸せき後、濾別、水洗、そして乾燥により、Fe を導入した。炭素賦活を行う場合は、得られたサンプルと KOH とを質量比 1:1 で混合し

た炭素前駆体を調製した。真空雰囲気下において昇温速度  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 、及び  $800^{\circ}\text{C}$  で熱処理を行った。得られた木質活性炭の微細空隙が Fe 添加によってどのような影響があるか調べるために、木質活性炭による  $\text{CO}_2$  吸着測定、および TEM による観察を行った。さらに TEM 像に対し画像解析を施し、微細空隙構造を解析した。

TEM 像に対し行った画像解析について説明する(押田 京一 (2017) 顕微鏡観察と画像処理による炭素材料の組織・構造解析. 炭素 2017 (278):91-102.)。TEM に接続された PC モニター上で、観察している像中の処理した部位を抽出し、デジタル化してから PC に取り込み用いた。画像解析は、空間周波数解析と計測処理の二つの処理からなる。空間周波数解析で行ったのは、2 次元高速フーリエ変換(2D-FFT)である。2D-FFT によって得たパワースペクトルはその中心点について点対称である。中心が画像全体の明るさを表す直流成分で、中央から離れるに従い高い空間周波数成分を表す。パワースペクトルをその中心点について同心円状を回転方向に積分するとグラフが得られる。

#### (2) フェノール樹脂と CNF の複合化が木質活性炭の空隙構造に及ぼす影響

フェノール、92%パラホルムアルデヒド、およびヘキサメチレンテトラミンをそれぞれ所定量測り、反応容器に仕込んだ。攪拌しながら 60 分かけて内温  $85^{\circ}\text{C}$  に昇温し、その後  $85\pm 2^{\circ}\text{C}$  で 1 時間反応させた。減圧しながら脱液した後、フェノール樹脂を得た。次に、CNF と 50%KOH 水溶液を混合し、フェノール樹脂に加えた。 $120^{\circ}\text{C}$  で 15 時間乾燥することにより、KOH を含んだフェノール樹脂・CNF 複合材の炭素前駆体を得た。得られた炭素前駆体を還元雰囲気下、昇温速度  $10^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 、熱処理温度  $800^{\circ}\text{C}$  で 1 時間保持することにより、フェノール樹脂・CNF 複合炭素化物を得た。TEM を用いてフェノール樹脂・CNF 複合炭素化物の微細構造を観察した。

#### (3) KOH と $\text{K}_2\text{CO}_3$ の混合比率が木質活性炭の空隙構造に及ぼす影響

KOH と  $\text{K}_2\text{CO}_3$  の混合比率を変えフェノール樹脂の賦活処理により活性炭を作成した。フェノール、92%パラホルムアルデヒド、及びヘキサメチレンテトラミンをそれぞれ所定量測り取り反応容器に仕込んだ。攪拌しながら 60 分かけて内温  $85^{\circ}\text{C}$  に昇温し、その後  $85\pm 2^{\circ}\text{C}$  で 1 時間反応させた。減圧しながら脱液処理を行った後、蒸留水を加えて粘度を調節し、ゲル状フェノール樹脂を得た。3 g の CNF と 10 g の KOH はミキサーを用いて 250rpm で 10 分間分散させ、続いて 10 g のフェノール樹脂と CNF-KOH の混合物をミキサーにより 250rpm で 10 分間分散させた。 $120^{\circ}\text{C}$  で 15 時間乾燥することで炭素前駆体を得た。炭素前駆体を昇温速度  $10^{\circ}\text{C}/\text{分}$  で  $800^{\circ}\text{C}$  まで昇温し、1 時間保持した。得られた炭素化物、48%KOH 水溶液、そして  $\text{K}_2\text{CO}_3$  を種々の質量比で混合し、 $120^{\circ}\text{C}$  で 15 時間乾燥した。昇温速度  $10^{\circ}\text{C}/\text{分}$  で  $800^{\circ}\text{C}$  まで昇温し、1 時間保持した。得られた試料を塩酸で中和してから蒸留水で 5 回洗浄し、 $120^{\circ}\text{C}$  で 15 時間乾燥することにより活性炭を得た。

$\text{CO}_2$  吸着測定と TEM 観察結果からその微細空隙構造を解析し、 $\text{CO}_2$  吸着量に対する影響を調べた。さらに CNF とフェノール樹脂という異なるマイクロ空隙の組み合わせにより得られた炭素化物の  $\text{CO}_2$  吸着量を調べ合成法の最適化を試みた。

## 4. 研究成果

### (1) Fe 錯体が木質活性炭の空隙構造に及ぼす影響

Fe 錯体を用いずに  $800^{\circ}\text{C}$  で KOH 賦活を行ったサンプル(To800KOH)を TEM で観察し、TEM 像を得た。TEM 像から大きさのそろった数 nm の空隙(マイクロ孔)が多数存在していることがわかった。マイクロ孔とは IUPAC の分類で細孔径 2nm 以下の細孔をいう。一般に炭素材料のマイクロ孔は大変小さいグラファイト状構造をもつ細孔壁間のスリット型空間であることが多い。マイクロ孔内部は相対する細胞壁との相互作用によって強調された強い分子吸着場のため、多量のガスを極めて低圧あるいは低濃度から吸着できる。一方、活性炭のマイクロ孔は疎水性を示すために、水は蒸気状態であっても吸着等温線は V 型を示し、水分子はマイクロ孔に吸着されにくい。こういったマイクロ孔の性質を利用して、地中での木質活性炭によって、水は吸着せずに  $\text{CO}_2$  のみを選択的に吸着することが期待できる。

木質活性炭が Fe 錯体によりどのような影響を受けるかを調べるために、木質活性炭を TEM で観察し、画像解析を施し微細構造を解析した。画像解析の結果から、Fe と熱処理による触媒効果により、木質活性炭の空隙構造に生じた変化がわかった。解析結果のグラフにピークが現れたが、これはそのピークが現れた位置の大きさとほぼ同じ径の孔が、木質活性炭中に多数存在していることを意味する。解析結果を比較すると、Fe 触媒有(ToFe800KOH)では 3 つの明確なピークが現れた。 $\text{CO}_2$  の吸着サイトであるウルトラマイクロ孔への経路が複数あることを示しており、アクセスが Fe 触媒有の方が容易であると予測された。

非黒鉛質炭素に Fe のような金属粒子を添加して熱処理すると、非黒鉛質炭素が鉄粒子中に溶解し、金属粒子径の大きさによって、黒鉛質炭素、あるいは乱層構造炭素として析出するという、溶解-析出機構が知られている。ここでは金属粒子が微細なために粒経効果によって乱層構造炭素が析出し、3 つの明確なピークの表出につながったと思われる。

窒素吸着測定から算出した比表面積及び全細孔容積を測定したところ、Fe 触媒無の To800KOH は Fe 触媒有の ToFe800KOH と比較して比表面積および空孔容積が増加する傾向が見られた。一方、 $\text{CO}_2$  ガスを用いた吸着測定の結果、To800KOH および ToFe800KOH とともに大気圧下で同程度の吸着量で、低圧から大気圧付近までは ToFe800KOH の  $\text{CO}_2$  吸着量が大きくなる傾向にあった。

これは、ToFe800KOH において Fe 導入により空孔径に変化が見られたことから、サンプル内の空孔径分布の影響によると思われる。つまり Fe を加えることによって三種類の径をもつ細孔となり、CO<sub>2</sub> の吸着点であるウルトラマイクロ孔までの通り道ができたためと思われる。Fe の有無に関わらず大気圧下において全サンプル中最大の CO<sub>2</sub> 吸着量を示した。

CO<sub>2</sub> 吸着測定で得られたデータを Horvath-Kawazoe 法 (HK 法) によって解析したところ、化学処理方法に関わらず空隙直径のピークは約 0.65nm であった。HR(高解像度)TEM を用いて観察したところ、アルカリ処理以外のサンプルにおいてタマネギ状炭素粒体が観察され、Fe<sup>2+</sup>と Fe<sup>3+</sup> 錯体から得られたサンプルのタマネギ状炭素粒体は大きさがそろっていた。Fe<sup>2+</sup>錯体を炭化したトドマツにおいて、最も高い CO<sub>2</sub> 吸着量 (100kPa において 5.6mmol/g) を得た。CO<sub>2</sub> 吸着量が大きい順に、Fe<sup>3+</sup>錯体を炭化したトドマツ、化学処理なしのトドマツ炭化物、の順となった。上記のような結果になったのは、炭素前駆体中の錯体金属や化学処理の違いにより多孔質炭素の空隙構造が変化したためと考えられる。

#### (2) フェノール樹脂と CNF の複合化が木質活性炭の空隙構造に及ぼす影響

フェノール樹脂・CNF 複合炭素化物の TEM 像を観察し、CNF 炭素化物、およびフェノール樹脂炭素化物の TEM 像を確認した。TEM 像中のフェノール樹脂の領域では、メソ孔に相当する比較的大きな細孔が発達していた。CNF の領域では、繊維が凝集しており、主としてマイクロ孔からなる空隙が存在していた。これらの空隙は、フェノール樹脂領域における空隙と比較して、より小さな細孔が分布していると推定される。これらの結果より、同じ賦活剤を用いてもフェノール樹脂の領域と CNF の領域とでは発達する細孔径分布が異なるため、材料のガス吸着性能に影響を与えたと思われる。TEM 像の画像解析からフェノール樹脂・CNF 複合炭素化物中に、ウルトラマイクロ孔に相当する大きさの空隙が生じていることがわかった。

N<sub>2</sub>および CO<sub>2</sub> 吸着測定を行い、各条件におけるフェノール樹脂・CNF 複合炭素化物の物性値が得られた。フェノール樹脂・CNF 複合炭素化物(PFCNF-A)において、文献値に匹敵する高い CO<sub>2</sub> 吸着量が得られた。

#### (3) KOH と K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> の混合比率が木質活性炭の空隙構造に及ぼす影響

いずれのサンプルも 4.5-5mmol/g という比較的高い CO<sub>2</sub> 吸着量を示した。K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> が多くても少なくとも CO<sub>2</sub> 吸着量が低下したことから、K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> の添加量に最適値が存在することがわかった。CNF:KOH:K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> を 10:7:3 の比率で混合して得られた活性炭の炭素六角網面の間隔の強度分布を調べた。炭素六角網面の間隔は 0.4-1nm の範囲にあり、CO<sub>2</sub> 吸着等温線の DFT 解析結果で得られた空孔径分布のピークと比較して若干大きいものの、両者は類似の傾向を示した。TEM による画像解析では炭素結晶の格子面と空隙の濃淡差で分布を示すため、このような差となったと考えられる。これらの結果から、TEM 像の画像解析によって CO<sub>2</sub> 吸着量の予測が可能であると思われる。

木質活性炭には CO<sub>2</sub> 吸着に必要なマイクロ孔が多数存在している。そのため、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度を減らす用途への利用が可能である。透過電子顕微鏡図の画像解析により木質活性炭の微細空隙構造のキャラクタリゼーションを行った。木質活性炭への Fe 添加により微細空隙構造を変化させ、低圧から大気圧付近までの CO<sub>2</sub> 吸着を改善することができた。解析の結果、CO<sub>2</sub> を効率的に吸着するためにウルトラマイクロ孔への移動経路を確保することが重要であることがわかった。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① S. Honma, T. Hata, Y. Ohashi, J. Sulisty, T. Watanabe, T. Yoshimura, Simultaneous production of aromatic chemicals and ammonia adsorbent by pulse-current pyrolysis of woody biomass, 査読有, 92(3), 2016, 522-529  
DOI: 10.1002/jctb.5027

[学会発表] (計 21 件)

- ① 本間 千晶、畑 俊充、木質バイオオマスの急速熱分解による液化物と Char の同時生産の試みー熱分解生成物の組成と Char のアンモニ吸着能に及ぼす反応管材質の影響 ー、第 17 回木質炭化学会研究発表会、2019
- ② 大西慶和、畑 俊充、Subyakto、井出勇、鈴木伸一郎、齊藤丈靖、セルロースナノファイバー複合化固体フェノール樹脂を電極とした電気二重層キャパシタの開発、第 16 回木質炭化学会研究発表会、2018
- ③ 畑 俊充、大西慶和、井出 勇、熱硬化フェノール樹脂と木質由来炭素化物の複合化による CO<sub>2</sub> 吸蔵能の向上、第 16 回木質炭化学会研究発表会、2018
- ④ T. Hata, S. Honma, Y. Onishi, I. Ide, S. Bonnamy, P. Bronsveld, H. Tanaka, CARBON2018, 2018
- ⑤ 畑 俊充、大西慶和、井出 勇、本間千晶、田中秀樹、押田京一、セルロースナノファイバー複合フェノール樹脂炭素化物の CO<sub>2</sub> 吸蔵量の向上、第 45 回炭素材料学会、2018
- ⑥ 畑 俊充、大西慶和、井出 勇、本間千晶、田中秀樹、押田京一、セルロースナノファイバー複合フェノール樹脂炭素化物の微細空隙構造が CO<sub>2</sub> 吸着量に及ぼす影響、第 69 回日本木材

学会大会、2018

- ⑦ T. Hata, Y. Onishi, I. Ide, Subyakto, Joko Sulisty, Yeyen Nurhamiyah, Nanik Indayaningsih and T. Saito, Development of energy storage device from biomass, The 6th JASTIP Symposium, 2018
- ⑧ 大西慶和, 畑 俊充, 井出 勇, 齋藤丈靖, Subyakto, Yusup Amin, フェノール樹脂とセルロースナノファイバーの複合炭素材料の充放電特性に及ぼす凍結乾燥処理の影響、第 68 回日本木材学会大会、2018
- ⑨ 畑 俊充, 本間千晶, 大西慶和, 井出 勇, Fe 含有木質炭素化物の CO<sub>2</sub> 吸着量の向上、第 68 回日本木材学会大会、2018
- ⑩ 大西慶和, 畑 俊充, 井出 勇, 齋藤丈靖, Subyakto, Yusup Amin, セルロースナノファイバーを添加したフェノール樹脂炭素化物の電気化学特性、第 44 回炭素材料学会年会、2017
- ⑪ 畑 俊充, 本間千晶, 大西慶和, 井出 勇, CO<sub>2</sub> 吸蔵のための木質炭素化物の微細構造解析、第 44 回炭素材料学会年会、2017
- ⑫ T. Hata, S Honma, Y. Onishi, I. Ide, S. Bonnamy, Synthesis of carbonized wood for CO<sub>2</sub> capture, 7th International Conference on Carbon for Energy Storage and Environment Protection (CESEP'17), 2017
- ⑬ T. Hata, S. Honma, Y. Onishi, I. Ide, S. Bonnamy, P. Bronsveld, Microstructure analysis of carbonized wood for CO<sub>2</sub> capture, The World Conference on Carbon 2017 (CARBON2017), 2017
- ⑭ 大西慶和, 井出 勇, 畑 俊充, Subyakto, Yusup Amin, フェノール樹脂・セルロースナノファイバー複合炭素化物の微細構造、第 15 回木質炭化学会研究発表会、2017
- ⑮ 大西慶和、井出勇、畑 俊充、Subyakto, Yusup Amin、熱硬化フェノール樹脂とセルロースナノファイバーを原料とする複合炭素材料の調製、第 67 回日本木材学会大会、2017
- ⑯ Y. Onishi, T. Hata, I. Ide, Subyakto, Yusup Amin, Preparation and characterization of carbon composite of thermosetting phenol resin and biomass, Asia research node symposium on humanosphere science, 2017
- ⑰ 畑 俊充、本間千晶、大西慶和、井出勇、木質からの CO<sub>2</sub> 吸蔵多孔質炭素の調製、第 4 3 回炭素材料学会年会、2016
- ⑱ 大西慶和、畑 俊充、井出勇、Subyakto, Yusup Amin、熱硬化球状樹脂多孔質炭素化物の調製及び特性、第 4 3 回炭素材料学会年会、2016
- ⑲ T. Hata, S. Honma, Y. Onishi, I. Ide, S. Bonnamy, and P. Bronsveld, Reparation and characterization of carbonized wood with metal ions for CO<sub>2</sub> capture, CARBON2016, 2016
- ⑳ 大西慶和、畑 俊充、井出勇、熱硬化球状樹脂炭素化物の CO<sub>2</sub> 吸蔵能と細孔構造との関係、第 14 回木質炭化学会研究発表会、2016
- ㉑ 畑 俊充、本間千晶、大西慶和、井出勇、二酸化炭素吸蔵のための木質炭素化物における微細構造制御、第 14 回木質炭化学会研究発表会、2016

[その他]

ホームページ等

[http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/lih/?page\\_id=72](http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/lih/?page_id=72)

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/mission/mission4/>

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/L/hata/>

## 6. 研究組織

### (2) 研究協力者

- ① 研究協力者氏名：本間千晶  
ローマ字氏名：Sensho Honma
- ② 研究協力者氏名：Sylvie Bonnamy
- ③ 研究協力者氏名：Joko Sulisty

※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、研究者個人に帰属されます。