

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 8月23日現在

機関番号：10106
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21380106
 研究課題名（和文） 鉄触媒炭化二段法によるウッドリファイナリーの構築とナノ炭素から
 の高機能材料の開発
 研究課題名（英文） Construction of wood refinery through two-step iron-catalyzed
 carbonization and development of highly functional materials from the woody nano carbon
 研究代表者
 鈴木勉（Suzuki Tsutomu）
 北見工業大学・工学部・教授
 研究者番号：20125389

研究成果の概要（和文）：針葉樹、広葉樹に Fe 原料塩を水溶液含浸で金属として 3wt% 添加し、850°C・1h 炭化を行った。500°C 以下で生成する軽質タールとこの温度以上で発生する可燃ガスの燃料品質及び結晶性メソ孔炭素の導電性フィラーと高分子液相吸着性能を詳しく調査した。先行する 900°C・1h のニッケル炭化と比較した結果、この Fe 触媒炭化法の機能性炭素と流体燃料を併産するウッドリファイナリー法としての実操業有望性が実証された。このことに関係して、Fe 原料塩として硝酸塩より酢酸塩が環境負荷の点から適当であると判定された。さらに、500°C の Fe 一次炭の新しい用途として電気二重層キャパシタ電極炭素としての適性が 700-900°C の KOH 賦活を行って調査された。量子ドットとして存在する木炭中の Fe 超微粒子は KOH 賦活中にメソ孔を効果的に発達させるので、この目的の市販活性炭より高い電極性能を発揮した。従って、この Fe 木炭由来電極は実用性が高いと判定された。

研究成果の概要（英文）：Powdered softwood and hardwood loaded with 3 wt % iron by aqueous impregnation were carbonized at 850°C for 1 h to in detail examine both fuel properties of light tar distilled off at below 500°C and gaseous components evolved at above 500°C and the quality and capacity of crystallized mesoporous carbon as electro-conductive filler and liquid phase adsorbent for macromolecules. Comparison with earlier developed nickel-catalyzed carbonization at 900°C for 1 h was adequate for demonstrating the promising commercial operation of the above iron-catalyzed carbonization as wood refinery process for coproduction of fluid fuels and functional carbon. In this connection, not iron nitrate but iron acetate was recommended as the catalyst precursor in terms of environmental load. Furthermore, the aptitude of Fe-char prepared at 500°C for electrode carbon of electric double layer capacitor as a new application was checked after activation with KOH at 700-900°C. Because ultrafine iron particles existed as quantum dot in this char made mesoporosity develop effectively, the activated Fe-char exceeded commercial carbon in the performance. Thus, this Fe char-derived electrode was considered to be practical.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2010年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：バイオマス、再生可能エネルギー、ナノ材料

1. 研究開始当初の背景

CO₂排出に伴う地球温暖化が深刻化し、石油資源の枯渇が逼迫する中で再生可能でカーボンニュートラルな木質系バイオマス（以下、木材に代表させる）の熱化学的エネルギー変換利用が世界規模で検討されている。我が国でもバイオマス・ニッポンの再策定以来燃料油やガス製造の試みが活発化している。しかし、現行の欧米型油化、ガス化方式は、原料の確保や操業コスト等の面から商用運転は困難である。水熱法液化、ガス化、超臨界や亜臨界法は有望な新技術であるが、まだラボ試験の域を脱していない。このような閉塞的状况の下で最近のプロセスはバイオリアファイナリーという総合技術体系の中で組み直しされている。この構想は(1)流体燃料生産に固執しない点でより合理的ではあるが、このことが実操業を保証する訳ではない。プロセス実用化の基本要件は(2)低操業費（装置が安価で運転操作が簡易）と(3)小規模運転（高付加価値植物の高効率生産）であり、(4)原料の集荷・搬送性の改善はそれ以上に重大な課題である。

(1)、(2)、(3)の観点から、鈴木（研究代表者）は木炭の高付加価値化に重点をおいたニッケル触媒炭化法を開発し、Ni2%添加カラマツ材の900°C炭化では優れた導電性（電磁波遮蔽能）と高分子液相吸着能を備えた結晶性メソ孔炭素（CMC と略記）が効率良く生成すると共にタール分（油）の脱酸素促進による発熱量増加と水素リッチガスの顕著な増産が起こることを明示した。このような機能性木炭と品質向上した流体燃料の同時生産は水溶液含浸添加により木材細胞壁に高分散担持したニッケルが熱分解温度全域（300-900°C）で望ましい効果を発揮することで達成され、この巧みなアプローチは高い評価を受けながら実用レベルに近づいてきた。即ち、上記900°CNi炭を粉砕・酸洗浄すると結晶性とメソ孔がさらに発達し、Niがほぼ完全回収されることは高価値炭素材の低コスト生産を確約し、実証試験も行われた。より強調すべきは(4)であり、500°C炭化の後900°Cで炭化すると上記Ni炭（一段炭）と同性状のCMCが得られることから、500°Cを前段、900°Cを後段とする二段炭化法の採用を提唱するに至った。より具体的には、500°C炭化を既存の複数小規模工場で前処理として行い（タール+原料炭の製造）、木材よりハンドリング性、搬送性等が向上したこの原料炭を900°C炭化工場へ運んで処理する（CMC+高濃度水素の生産）というこのシステムは、通常の900°C一段炭化に比べて全体としての原料の集荷・搬送費が低減し、タール非発生の二次炭化は操作がより簡易化して生産規模が増大する。利用困難とされる

一段目の留出タールは粉炭成形用バインダーとして大量利用され、高性能ガス分離膜の製造という画期的な高付加価値化法も開発された。操業経済性に優れた二段炭化法を実操業の基本形と定めた現在では、900°CNi二次炭の用途拡大に向けて電極用素材への転換等を検討中である。

他方(2)を追求してより安価な触媒を探求し、最近Fe3%添加の850°C炭化は上述の900°Cニッケル炭化より導電性の高いCMCをより高収率で与え、その後酸洗浄するとケッチェンブラック（石油由来の代表的な高導電性カーボン）と同等以上の性能を与えることを明らかにした。これは850°CFe炭が900°CNi炭よりマトリックスを構成するナノ粒子サイズが小さく（それぞれ30-40nm、約50nm）メソ孔が多いためと推断され、メソ孔の多さは高分子液相吸着能でも優ることの説明となった。従って、油の改質や水素の発生促進の点ではニッケルに劣るもののCMCの生産では鉄の使用が有利であり、目下の主眼は鉄触媒二段炭化（一段目500°C、二段目850°C）に移っている。ただし、鉄850°C二次炭化とニッケル900°C炭化を組み合わせるとCMCの導電性、吸着性能がさらに向上するなど、炭素結晶化の効果に優るニッケルの効果は依然として有用である。なお、CMC生成に関する科学的な興味は、Ni炭結晶部がグラファイト積層から成り、Fe炭でも同じ形状・形態のナノ炭素結晶が観測されることから、メソ孔発達との密接なかわり合いが確認されたことである。この特異な形態・形状はNi、Fe両木炭の結晶化（乱層構造炭素=T成分の生成）挙動として観測されているが、メソ孔発達との関係を含めてT成分の生成機構はまだ不明な点が多い。

2. 研究の目的

上記の成果、結果は大部分がカラマツ（針葉樹）について得られ、広葉樹が全く同じ様相を呈するという確証はない。また、カラマツの鉄触媒850°C二段炭化では、一段目の500°C炭化における生成物の分布やその性状等は詳しく調査していない。そこで本研究では、鉄触媒二段炭化法をウッドリアファイナリープロセスとすることの合理性、妥当性を証明することを第一目的とし、図2-1を基本プロセスとして①針・広両樹木の鉄触媒500°C炭化で生成する液状成分が同じ方法、工程で工業的に魅力ある製品、例えば軽質燃料油に転換される、②得られる両樹木500°C炭の850°C炭化では共にタール非発生で水素リッチガスの発生が顕著に促進される、③両樹木Ni900°C二次炭と比較して②で得られるFe850°C二次炭はどちらもより優れた導電性と高分子液相吸着能を有するCMCである

ことを検証する。なお、鉄触媒 850°C 炭化プロセスの実用化に際しては、一段法、二段法にかかわらず、鉄触媒原料塩を回収・再生の容易さ、環境負荷等の観点から特定する必要がある。そこで、現時点の鉄原料塩候補者である④硝酸塩 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ と塩基性酢酸塩 $\text{Fe}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2$ のどちらが有利、有望かについても議論する。さらに、第二目的のナノ炭素からの高機能性材料開発では、⑤両樹種の 850°C 二次炭をより高機能・高性能化する方法及び実用電極用炭素に転換するための方法論開発を目指す。これは鉄 850°C 二次炭化で得られる CMC の炭素素材としての価値や有用性を証明することが、鉄触媒炭化二段プロセス操業実現の鍵と考えるからである。以上の①～⑤のまとめとして⑥学問的科学的な見地から、得られた CMC について T 成分 (乱層構造炭素) の生成をメソ孔の出現、発達と関連づけて解明する。この視点は、いわゆる「Ni, Fe による触媒黒鉛化」の未知部分を新たな側面から探るので、得られる情報、知見は炭素の結晶化に関する理解を深め、木材を含む炭素質からの新規な機能性材料を創製する手掛かりを与える。

なお、Fe 炭の新たな用途開発に向けて⑦電気二重層キャパシタ (EDLC) 電極炭素の製造を試みた。この目的には 500°C 炭化一次炭も使用し、その適性等を調査した。EDLC 電極をターゲットとした事情、理由は、今後の普及拡大が期待される環境に優しい蓄電デバイスだからであり、安価な木材から低コストで高性能材料を開発することは時代のニーズに応えることでもある。

3. 研究の方法

3.1 試料と触媒原料の添加

針葉樹としてカラマツ (L)、広葉樹としてダケカンバ (B) の 0.50-1.40mm 粒径木粉を用いた。両木粉に鉄塩として酢酸鉄 $\text{Fe}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (Fe-Ace と略) もしくは硝酸鉄 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Fe-Nit) を金属として 3wt% 含まれるように添加した。比較のニッケル塩には $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Ni-Ace)、 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Ni-Nit) を用い、添加量は金属として 2wt% とした。これらの金属塩添加は、通常の水溶液含浸法で行った。

3.2 炭化と KOH 賦活

3.2.1 一段炭化

ダウンフロー型として N_2 気流中で 850 もしくは 900°C に昇温し、1 時間保持した。生成物分析を目的とする場合は、Ar をキャリアーとして用いた。炭化はバッチ型固定床気体流通系装置で行い、加熱中に生成した液状成分は氷-水トラップに捕集し、一方気体成分はキャリアーと共に 100-300、300-500、500-700、700-900、900°C 保持の 5 区間それぞれでガスバックに捕集した。比較のために無添

加 L、B についても同様の炭化を行った。

3.2.2 500°C 炭化と KOH 賦活

EDLC 電極用炭素の製造では、L 由来の Fe-Nit850°C 炭と 500°C 炭を原料として用いた。500°C 炭は Fe 添加量を変えてこの温度の 1h 保持で調製し、他の条件は 3.2.1 と同じとした。その後 850°C と 500°C Fe 炭は、4 倍量の KOH を含む水溶液に浸漬して練り混ぜ、50°C で減圧乾燥した後窒素気流中 700、800、900°C で 1h 処理した。この賦活処理後、水洗して残留 KOH を除去した。

3.3 生成物の性状、後処理と機能、性能

3.3.1 液体、気体生成物の性状分析

3.2.1 の一段炭化で得られた液体成分は、全重量測定後脱水、クロロホルム (Ch) 抽出し、Ch 可溶部を油分、全量と油分との差を水分とした。油分は、GC-MS クロマトグラム、 $^1\text{H-NMR}$ スペクトル、CHON 割合、粘度、密度を測定した。気体成分は、各区間で捕集したガスの全容積を測定後 TCD・ガスクロマトグラフィーで H_2 、CO、 CH_4 、 CO_2 の濃度を調べ、各区間と 500°C 以上の累積発生量を求め、低位発熱量を算出した。

3.3.2 一段炭化固体生成物 (炭化物) とその後処理

生成物分布調査を目的とした 3.3.1 に対応する固体生成物 (炭化物) については、金属含有量を測定して無水無触媒基準 (dam-f) の収率を計算した。金属含有量は、得られた炭化物の 800°C 燃焼残渣を王水に溶解し、その溶解物中の Fe もしくは Ni を原子吸光法で測定して算出した。

炭化物の導電性 (フィラー性能) と液相高分子吸着能の調査では、後処理として酸洗浄、粉碎、空気酸化、水蒸気エッチング、 CO_2 エッチングを行った。

3.3.3 一段炭化炭化物の性状と機能

後処理前後の炭化物炭素の結晶性を X 線回折により調べた。同じ目的で、レーザーラマン分光による R 値の計算も行った。細孔構造は、-196°C の窒素吸脱着等温線測定により調査した。熱化学的安定性は、合成空気中の熱重量曲線を調べて判定した。炭素の表面状態や形状等は FESEM、微細構造は HRTEM 観察で調べた。

機能としての導電性 (フィラー性能) は、遊星ボールミルで適量の各種マトリックスと共に微粉化した後ステンレス容器中で熱圧成形して得た円板について体積抵抗率を 4 端子プローブで測定し、その値から評価した。もう 1 つ機能である高分子液相吸着能については、3 種の染料 (メチレンブルー、アシッドブルー 45 と 121) と分子量の異なる 3 種のデキストランを吸着物として選び、それらの所定濃度水溶液を用いて規格した工程に基づいて室温の吸着試験を行い、性能を評価した。

3.3.4 KOH 賦活物の性状と EDLC 性能

未粉碎非酸洗浄、未粉碎酸洗浄、遊星型ボールミル粉碎酸洗浄後の KOH 賦活炭について X 線回折による炭素の結晶性と -196°C の窒素吸脱着等温線測定による細孔構造を調べた。EDLC 性能は、常法に従って作成した薄膜を作成して白金電極に装着し、1M 硫酸と 1M $(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{NBF}_4$ をそれぞれ無機電解液、有機電解液として二極式のセルを組み立て、定電流充電法により充放電曲線を測定し、重量基準と容積基準の容量それぞれ C_g と C_v を求めた。これらの容量は、得られた充放電曲線から常法に従って算出した。

4. 研究成果

4.1 鉄触媒炭化中に副生する液体、気体成分の燃料品質

油分の性状、品質に関しては L、B 共に Fe-Ace2% 添加効果は Ni3% 添加効果と大差はなく、Fe-Nit2% とも同等であった。また、 500°C 以上で発生するガス分については、Fe、Ni の存在は水素量と発熱量を効果的に増大させたが、樹木や添加金属の重大な差異は認められなかった。従って、触媒原料鉄塩としては、回収・再使用の観点から、Fe-Ace が適当と判定された。なお、これら触媒炭化で得られる改質油は、単独ではなくバイオエタノール配合油等としての利用が現実的と考えられた。

4.2 導電性と高分子液相吸着能

導電性は、L、B 共に 850°C Fe-CMC が 900°C CNi-CMC より優れていた。これは結晶部を構成するグラファイトナノシエルチェーン (GNSC) がより細長く屈曲し (図 1)、炭素組織の可撓性が高いためである。また、細胞壁に生成する GNSCs がルーメン非晶炭素に被覆されているという CMC 特有の構造的特徴を考慮して空気酸化による非晶炭素の選択的除去を行ったところ、導電性が著しく向上して市販の最高級導電性炭素ケッチェンブラックに匹敵するファイラー性能を示した。また、B は L より炭素マトリックスが分離、粉碎し易く、導電性に優った。

粉碎・酸洗浄すると Ni-CMC の染料やデキストラン吸着能は市販のメソ孔活性炭と同等以上となった。これは GNSC が露出して吸着物に対するアクセシビリティが増大するためである。Fe-CMC の高分子吸着性能は

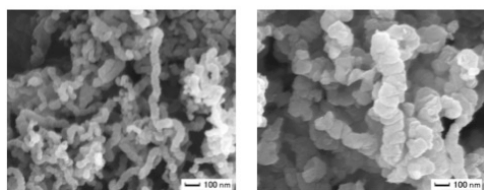


図 1 Fe-CMC (左) と Ni-CMC (右) で観察される GNSC

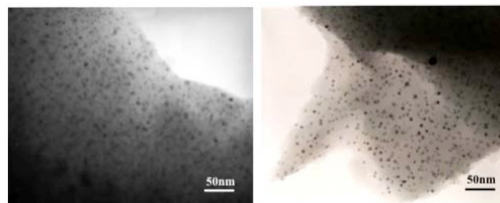


図 2 カラマツの Fe3%500°C 炭 (左) と Ni2%500°C 炭 (右) の TEM 像 (黒点が量子ドットに対応)

メソ孔がより発達しているため Ni-CMC に優ることが確認された。また、後処理としては、穏やかに選択的に非晶炭素を除去する水蒸気や CO_2 によるエッチングの効果が粉碎酸洗浄に優ることも明らかとなった。

4.3 Fe-CMC のナノ炭素としての構造的特徴

Ni-CMC と並行して Fe-CMC の GNSC の高分解能 SEM、TEM 観察が行われ、両金属の GNSC の詳細な形状、形態の違いが明らかにされた。GNSC 生成は 500°C 炭細胞壁に金属超粒子が高分散担持 (量子ドットとして存在、図 2) することに端を発し、木材の化学的、構造的不均一性が機能性炭素製造に不都合ではないことが確認された。

4.4 EDLC 電極炭素の製造

Fe 850°C 炭の KOH 賦活では細孔構造が発達しなかったが、 500°C 炭では BET 表面積が $2,000\text{m}^2/\text{g}$ 以上に達し、メソ孔 (孔径 2-50 nm) の表面積 (S_{mes}) と体積 (V_{mes}) も大きく増加して無機、有機両電解質液中の性能は市販活性炭を大きく上回った。無添加木炭の性能も市販活性炭より優れていた。種々の賦活条件や粉碎酸洗浄後処理の影響調査から、量子ドットがメソ孔発達に寄与することが判明し、木材細胞壁の階層構造が電極適性の向上に関与をすることが示唆された。

4.5 まとめ

4.1~4.4 から、流体燃料と機能性炭素の併産を目的とする鉄触媒二段炭化法のバイオリファイナリーとしての合理性、実操業有望性が実証され、また新たな高機能ナノ炭素開発へ道が発見された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

① 鈴木京子、鈴木 勉、斎藤幸恵、喜多英敏、佐藤和久、今野豊彦、 900°C ニッケル触媒炭素化で調製した木質炭素化合物の導電性とナノ構造、炭素、査読有、No.239、2009、169-171

② T. Suzuki, T. Masaki, Y. Umezawa, H. Monobe, T. Noma, Steam-gasification reactivity of iron-loaded eucalyptus char prepared by carbonization at 500°C , Proc. Renewable Energy 2010、査読有、2010、

O-Bm-8-10

- ③ 鈴木 勉、川上大輔、鈴木京子、服部和幸、木質バイオマスの鉄触媒炭化による流体燃料と機能性炭素の併産、日本エネルギー学会誌、査読有、90巻4号、2011、541-546
- ④ T. Suzuki、T. Shinomoto、H. Matsuzaki、K. Suzuki、N. Okazaki、Y. Saito、H. Kita、H. Tamai、Production of Functional Carbon by Iron-Catalyzed Carbonization of Biomass-Effect of Washing with Acid Followed by Atmospheric Oxidation on the Electroconductivity of Crystallized Mesoporous Wood Carbon、Trans. MRS-J、査読有、2011、36巻3号、417-420
- ⑤ Y. Saito、K. Kuwata、K. Suzuki、T. Suzuki、Sulfuric Acid Intercalation and Exfoliation of Nano Shell Carbon from Ni-catalyzed Wood Char、Trans. MRS-J、査読有、2011、36巻3号、425-428
- ⑥ Y. Kodama、K. Sato、K. Suzuki、Y. Saito、T. Suzuki、T. J. Konno、Electron microscope study of the formation of graphitic nanostructures in nickel-loaded wood char、Carbon、査読有、2012、50巻、3486-3496
- ⑦ T. Suzuki、K. Suzuki、K. Hattori、N. Okazaki、Y. Saito、H. Kita、H. Tamai、Liquid phase adsorption of macromolecules by crystallized mesoporous wood carbon obtained by nickel-catalyzed carbonization of larch at 900°C、Wood Carbonization Research、査読有、2012、9巻1号、印刷中
- ⑧ T. Suzuki、M. Kikuchi、R. Watanabe、D. Kawakami、K. Suzuki、N. Okazaki、Y. Saito、H. Kita、H. Tamai、Electroconductivity of Softwood and Hardwood Carbons Prepared by Nickel- and Iron-Catalyzed Carbonizations、Trans. MRS-J、査読有、2012、37巻3号、印刷中
[学会発表] (計 23 件)
- ① Y. Saito、K. Kuwata、K. Suzuki、T. Suzuki、Sulfuric acid intercalation of wood char with developed turbostratic structure、Carbon 2009、Biarritz、France、June 14-19、2009
- ② 生田敬雅、古賀智子、田中一宏、喜多英敏、鈴木 勉、木タールを前駆体とした炭素膜の浸透気化分離性能、化学工学会第 41 回秋季大会、広島、2009 年 9 月
- ③ T. Suzuki、K. Suzuki、Two Steps Nickel- or Iron-Catalyzed Carbonization for Wood Refinery、The 6th Biomass-Asia Workshop、Hiroshima、Japan、November 18-20、2009
- ④ 鈴木京子、鈴木 勉、斎藤幸恵、喜多英敏、佐藤和久、今野豊彦、鉄系金属触媒炭化で得られる木質炭素化合物のユニークなナノ構造、第 36 回炭素材料学会年会、仙台、2009 年 12 月

- ⑤ T. Suzuki、M. Kikuchi、K. Suzuki、N. Okazaki、Y. Saito、H. Kita、Higher Electroconductivity of Hardwood Char Obtained by Iron-Catalyzed Carbonization Compared to the Corresponding Softwood Char、第 19 回日本 MRS 学術シンポジウム、横浜、2009 年 12 月
- ⑥ 菊地貴志、正木壮宙、鈴木京子、鈴木 勉、玉井久司、鉄触媒炭化木炭からの高機能性炭素材料の開発-電気二重層キャパシタ電極としての応用、第 5 回バイオマス科学会議、東京、2010 年 1 月
- ⑦ T. Suzuki、Production of Functional Wood Carbon by Nickel- or Iron-Catalyzed Carbonization、Workshop of Brazil-Japan Biomass-Biotechnology、*Invited Lecture*、Rio de Janeiro、Brazil、March 15-17、2010
- ⑧ K. Sato、T. J. Konno、K. Suzuki、T. Suzuki、Nanostructure and morphology of Wood Carbon Observed by Low Voltage Electron Microscopy、Recent Trends in Charged Particle Optics and Surface Physics Instrumentation、12th Seminar、Skalsky dvur、Czech Republic、May 31-June 4、2010
- ⑨ T. Suzuki、T. Masaki、Y. Umezawa、H. Monobe、T. Noma、Steam-gasification reactivity of iron-loaded eucalyptus char prepared by carbonization at 500°C、Renewable Energy 2010、Area VI Biomass、Yokohama、Japan、June 27-July 2、2010
- ⑩ 鈴木京子、鈴木 勉、斎藤幸恵、喜多英敏、佐藤和久、今野豊彦、グラファイトシエル構造を持つ鉄触媒木質炭素化合物の電顕観察とその性質、第 37 回炭素材料学会年会、姫路、2010 年 12 月
- ⑪ T. Suzuki、Production of Functional Carbon by Iron-Catalyzed Carbonization of Biomass、第 20 回日本 MRS 学術シンポジウム、招待講演、横浜、2010 年 12 月
- ⑫ T. Shinomoto、H. Matsuzaki、K. Suzuki、T. Suzuki、Application of Wood Carbon Obtained by Iron-Catalyzed Carbonization at 850°C As an Electroconductive Filler、第 20 回日本 MRS 学術シンポジウム、横浜、2010 年 12 月
- ⑬ 竹田龍真、前田洋介、鈴木京子、鈴木 勉、鉄触媒炭化木炭の高分子液相吸着性能に及ぼす水蒸気エッチング処理の効果、第 6 回バイオマス科学会議、大阪、2011 年 1 月
- ⑭ 鈴木 勉、鈴木京子、岡崎文保、玉井久司、喜多英敏、斎藤幸恵、鉄触媒二段炭化によるウッドリファイナリー、第 61 回日本木材学会大会、京都、2011 年 3 月
- ⑮ 小泉祐太、坂下修也、鈴木京子、鈴木 勉、玉井久司、鉄触媒炭化木炭からの電気二重層キャパシタ用電極の開発、第 61 回日本木材

学会大会、京都、2011年3月

⑩ 前田洋介、竹田龍真、鈴木京子、鈴木 勉、広葉樹 850°C 炭化鉄炭の水蒸気エッチングによる高分子液相吸着能の向上、第9回木質炭化学会、秋田、2011年6月

⑪ T. Suzuki, K. Suzuki, N. Okazaki, Y. Saito, H. Kita, H. Tamai, Production of functional carbon by iron-catalyzed carbonization of woody biomass – effect of washing with acid followed by atmospheric oxidation as post-treatments on the electroconductivity of crystallized mesoporous wood carbon、International Symposium on Provide Energy Potential Biomass, *Invited Lecture*, Nantou, Taiwan, July 9-10, 2011

⑫ 鈴木 勉、木質バイオマスの鉄系触媒炭化による流体燃料と機能性炭素の共生産、第68回触媒討論会、招待講演、北見、2011年9月

⑬ 鈴木京子、竹田龍真、鈴木 勉、カーボンシエルクエーションを持つ木炭の高分子吸着特性、第38回炭素材料学会年会、名古屋、2011年11月

⑭ T. Suzuki、Electroconductivity of Softwood and Hardwood Carbons Prepared by Nickel- and Iron-Catalyzed Carbonizations、第21回日本MRS学術シンポジウム、横浜、2011年12月

⑮ Y. Koizumi, S. Sakashita, K. Suzuki, T. Suzuki, H. Tamai, EDLC Characteristics of Iron-loaded Wood Char Activated with KOH、第21回日本MRS学術シンポジウム、横浜、2011年12月

⑯ 竹田龍真、河井卓也、鈴木京子、鈴木 勉、鉄触媒炭化木炭の高分子液相吸着性能に及ぼすCO₂エッチング処理の効果、第7回バイオマス科学会議、盛岡、2012年1月

⑰ 鈴木京子、小泉祐太、金子明俊、坂下修也、鈴木 勉、量子ドットを利用したスーパーキャパシタ用木質炭素材料の開発-鉄およびニッケル量子ドットの作用、第62回日本木材学会大会、札幌、2012年3月

〔図書〕(計1件)

① バイオマスハンドブック第2版(分担執筆)、日本エネルギー学会編、オーム社、2009年12月、pp. 120-128

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称：水素製造方法、水素製造用木炭の製造方法及び水素製造用木炭

発明者：鈴木 勉、鈴木京子

権利者：鈴木 勉、北見工業大学

種類：特許願

番号：2012-076648

出願年月日：平成24年3月29日

国内外の別：国内

○取得状況(計1件)

名称：有機物のガス化装置

発明者：八田昭道、國井大蔵、鈴木 勉

権利者：八田昭道

種類：特許

番号：第4547244号

取得年月日：平成22(2010)年7月9日

国内外の別：国内

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 勉(北見工業大学・工学部・教授)

研究者番号：20125389

(2)研究分担者

・玉井久司(広島大学・工学研究科・准教授)

研究者番号：40106802

・喜多英敏(山口大学・理工学研究科・教授)

研究者番号：10177826

・田中一宏(山口大学・理工学研究科・准教授)

研究者番号：30188289

・岡崎文保(北見工業大学・工学部・准教授)

研究者番号：10213927

・斎藤幸恵(東京大学・農学生命科学研究科・准教授)

研究者番号：30301120

(3)連携研究者

なし