

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03643

研究課題名（和文）三級アルコールをリグニン縮合抑制剤に用いる木材糖化法の確立

研究課題名（英文）Establishment of wood saccharification method using tertiary alcohol as lignin condensation inhibitor

研究代表者

野中 寛 (Nonaka, Hiroshi)

三重大学・生物資源学研究所・教授

研究者番号：90422881

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：脱炭素社会実現、林業再生等の観点から、地球上最大量の木材主成分、セルロース、ヘミセルロース、リグニンを素材やケミカルとして有効に使えるプロセス開発が急がれる。本研究では、木材の濃硫酸糖化法に、三級アルコールであるtert-ブタノールを添加し、単糖および熱可塑性・有機溶媒可溶性リグニンの高収率回収を実現する反応条件を見出した。また従来実験の125倍スケールの反応ノウハウを確立した。高度NMR解析やモデル化合物を用いた分析により、リグニン芳香環の一部にtert-ブチル基が確かに導入されていることを初めて見いだした。またリグニンの低温焼成により安価でグリーンに炭素膜を創製する技術の目途もたてた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年のバイオマス成分分離のプロジェクトは、セルロースの利用に焦点がおかれた木材糖化あるいは木材パルプ化プロセスがほとんどで、副生リグニンの利用が課題となっている。一方リグニン利用を中心に据えたプロジェクトでは、逆に副生されるパルプの利用が課題となりがちである。研究成果は、濃硫酸木材糖化法において課題であったリグニンの有効利用を克服し、社会実装の道筋を示した意味でおおいに社会的意義がある。tert-ブタノールとリグニンを反応させたのは研究代表者が世界初であり、本研究において、tert-ブチル基がリグニンに確かに導入されることを明らかにした点は極めて学術的意義が高い。一方で不明点も残されている。

研究成果の概要（英文）：From the viewpoint of realizing a decarbonized society and activating forestry industry, there is an urgent need to develop a process that can effectively use cellulose, hemicellulose, and lignin, the largest wood constituents on earth, as materials and chemicals. In this study, tert-butanol, a tertiary alcohol, was added to the concentrated sulfuric acid saccharification of wood, and reaction conditions were found to achieve high yield recovery of monosaccharides and thermoplastic and organic solvent-soluble lignin. We also established reaction know-how on a scale 125 times larger than that of conventional experiments. Advanced NMR analysis and analysis of model compounds revealed for the first time that tert-butyl groups are indeed introduced into some of the aromatic rings of lignin. We have also established a low-temperature sintering process for the production of green carbon films at low cost.

研究分野：バイオマス科学

キーワード：バイオリファイナリー 木材糖化 リグニン 炭素膜 脱炭素社会

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

脱炭素社会実現，林業再生等の観点から，地球上最大量の木材主成分，セルロース，ヘミセルロース，リグニンを素材やケミカルとして有効に使えるプロセス開発が急がれる。近年のバイオマス成分分離のプロジェクトは，セルロースの利用に焦点がおかれた木材糖化あるいは木材パルプ化プロセスがほとんど（目的生産物：バイオエタノール，セルロースナノファイバーなど）で，副生されるリグニンの利用が課題となっている。一方，リグニン利用を中心に据えたプロジェクトでは，逆に副生されるパルプの利用が課題となりがちである。これに対して研究代表者は，濃硫酸を用いた木材糖化法に *tert*-ブタノールを添加し，単糖と機能性リグニンを生産できる画期的プロセス「三級アルコール添加木材糖化法」を発見した。しかしながら，*tert*-ブタノールによるリグニン縮合抑制メカニズムが未だ不明であり，また得られるリグニンの分子構造も未解明のため，本プロセスの実用化やリグニンの利活用については，基盤的研究が必要である。

### 2. 研究の目的

濃硫酸を用いた木材糖化法は，セルロースの完全加水分解が可能で単糖を高収率で回収できるが，リグニンは激しく縮合し燃料程度の用途しかない。そこで本研究では，酸触媒下カルボカチオンを生じやすい三級アルコール (*tert*-ブタノール) を添加することにより，単糖収率は維持したまま，リグニンの縮合反応を抑制し，有機溶媒への溶解性，熱可塑性に優れたリグニンを高収率で回収する。得られるリグニンの詳細構造解析，モデル化合物を用いた反応実験を通して，三級アルコールによるリグニン縮合抑制メカニズムを解明し，反応環境設計に生かすとともに，リグニンを原料とした水素分離に応用可能な高付加価値ナノ多孔質炭素膜を創出し，木材全成分が真に有効利用可能な木材糖化法を確立する。

### 3. 研究の方法

#### [1] 三級アルコール添加木材糖化法で得られるリグニン分子構造解明

*tert*-ブタノール (*tert*-BuOH) 処理によって生じるリグニンの化学構造変化，および，*tert*-ブチル基のリグニンへの導入の有無を調べることを目的に，三重大学にて標準的に合成した *tert*-BuOH 処理リグニンを重 DMSO または重アセトン溶媒に溶かし，各種 NMR 測定 ( $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ , DEPT135, QUAT, HSQC, HMQC) を行った。また，ピリジンおよび無水酢酸を用いてアセチル誘導体化した *tert*-BuOH 処理リグニンについて，重クロロホルム中で HSQC 測定を行った。

#### [2] モデル化合物を用いた酸触媒下 *tert*-BuOH とリグニン間の反応解明

常温の濃硫酸環境下で *tert*-BuOH から生成する *tert*-ブチルカチオンが，針葉樹リグニン芳香核へどのように結合するか，モデル化合物を用いて検証する。モデル化合物としては主にメチルグアイアコールを用いて，生成物を GC-MS 分析，GC 分析，HPLC 分析により定性定量し，*tert*-BuOH とリグニン間の反応性に関して調査した。

#### [3] 三級アルコール添加木材糖化法の反応条件新規デザイン

木材全成分の総合利用をふまえたとき，木材中のセルロースが高効率で膨潤加水分解されて単糖がほぼ定量的に得られ，リグニンはリグニンの縮合が抑制されて，十分な溶媒溶解性と熱可塑性を有し，*tert*-BuOH の使用量が少なくなるような条件を探索する。すなわち木粉重量に対して必要な *tert*-BuOH 量，必要硫酸濃度に目途をつける。用途開発にはサンプル量を要するため，実験室レベルで 100 g の木粉を変換する場合の条件検討を行う。

#### [4] リグニンを用いた機能性ナノ多孔質炭素膜の創製

リグニン等の高分子前駆体を有機溶媒に溶かし，セラミックス多孔体に塗布，風乾後，窒素雰囲気下 400~700 の条件で炭化する。SEM 観察によりナノ多孔膜の製膜性を確認し，必要に応じて前駆体溶液の濃度や塗布条件を調整する。製膜した多孔膜を用いて，無機ガスの透過性試験を圧力や温度を変えて行う。研究分担者・熊切は，リグニンを主体としたコート液に金属を分散させておくことで，低温焼成により従来の 10 倍近い高い透過性と高温焼成時と同等の高い選択性が得られることを見出している。そこで添加する金属の種類や量，焼成条件（温度，昇温・降温速度，焼成雰囲気など）を変えて製膜し，Pd 合金膜や多孔質シリカ膜などを凌駕する高性能な炭素膜の開発を目指す。得られた炭素膜は，SEM，TEM による構造分析に加え，XPS による表面置換基の解析などから膜の微細構造を明らかにする。

### 4. 研究成果

#### [1] 三級アルコール添加木材糖化法で得られるリグニン分子構造解明

*tert*-BuOH 処理リグニンの HSQC 測定 ( $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ -二次元 NMR) を行ったところリグニンの側鎖領域に相関ピークが多数観測された。その中で、シグナル強度が比較的弱い二つ相関ピークが、フェニルクマラン構造 (  $\beta$ -5 結合 ) の位と位に帰属された ( 図 1 )。その他のピークは単離リグニンにみられる既存の部分構造 { アリールグリセロール - アリールエーテル構造 (  $\beta$ -O-4 結合 ), レジノール構造 (  $\beta$ - $\beta$  結合 ), ジベンゾジオキソシン構造 ( 5-5/  $\beta$ -O-4 結合 ) } の化学シフト値と一致しないことから、リグニンの大部分の構造は、*tert*-BuOH 処理により何らかの構造変化を受けていると推察された。また、位水酸基のアセチル誘導体化による位水素の化学シフト効果を狙って、*tert*-BuOH 処理リグニンをアセチル化した後に、HSQC 測定を行った。単離リグニンにおいて、位水酸基を有する  $\beta$ -O-4 構造の場合には、位プロトンの化学シフト値はアセチル化された水酸基の影響を受けて、アセチル化前後に約 1 ppm の低磁場シフトがみられるのに対し ( 図 1 の右側 ), *tert*-BuOH 処理リグニンには、そのような化学シフトの影響を顕著に受けるピークは見当たらなかった ( 図 1 の左側 )。このことから、 $\beta$ -O-4 構造は、*tert*-BuOH 処理によって位水酸基の消失を伴うような構造変化を受けている可能性が示唆された。

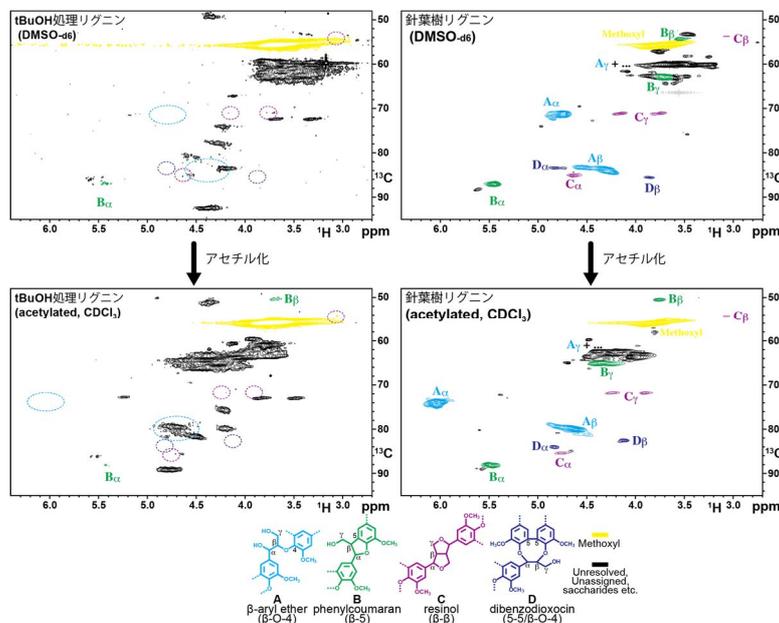


図 1 *tert*-BuOH 処理リグニン、および針葉樹の単離リグニンの HSQC ( $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ -二次元 NMR) スペクトル

*tert*-BuOH 処理によってリグニンの *tert*-ブチル基が導入されたか否かを明らかにすることを目的に NMR 実験を行った。はじめに  $^{13}\text{C}$ -NMR 実験 ( $^{13}\text{C}$ , DEPT135, QUAT) に供して *tert*-ブチル基または芳香核の 4 級炭素に由来するシグナルを特定した。次に、これを基に、HMBC 実験で得られた二次元スペクトル上の相関シグナルを帰属した。その結果、*tert*-ブチル基のメチルプロトン 1.35 ppm との相関シグナルが、隣接メチル基炭素 ( 29.9 ppm,  $^{13}\text{C}$  ) および *tert*-ブチル基 4 級炭素 ( 35.3 ppm,  $^{13}\text{C}$  ) との間に見られたのに加え、*tert*-ブチル基と芳香核が結合したことを示すシグナルとして、同プロトンと芳香核の 4 級炭素の相関シグナル ( 1.35/135.9 ppm,  $^1\text{H}/^{13}\text{C}$  ) が観測された。この結果から、*tert*-BuOH 処理によってリグニンの芳香核に *tert*-ブチル基が導入されたことが強く示唆された。

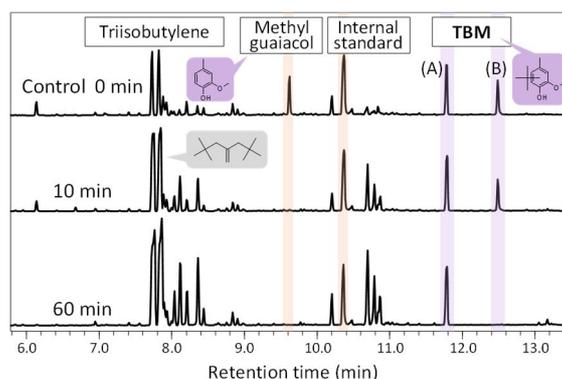


図 2 GC-MS クロマトグラム : 濃硫酸環境下メチルグアイアコールと *tert*-BuOH を反応させたときの生成物

[2] モデル化合物を用いた酸触媒下 *tert*-BuOH とリグニン間の反応解明  
濃硫酸環境下、メチルグアイアコール (モデル化合物) と *tert*-BuOH を反応させたときに得られる生成物の GC-MS 分析結果を示す ( 図 2 )。メチルグアイアコールに *tert*-ブチル基が導入された構造 ( *tert*-butyl methyl guaiacol, TBM ) と考えられるピークが (A), (B) に観測された。また、TBM (B) の量は反応時間の増加に伴って減少し、TBM (A) は増加後に一定にな

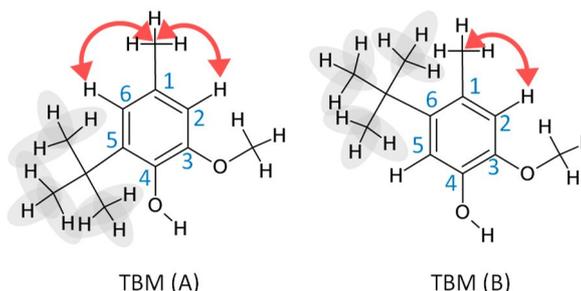


図 3 NMR 分析で決定した TBM (A) (B) の分子構造

ることが示された。これらの生成物を分離精製するため、HPLCを用いて分取を行った。分離条件は、溶離液：メタノール/蒸留水=80/20 (v/v)，流量：15 mL/min，カラム：5CD-C18 (250 × 20mm, Cadenza)とした。得られた画分をさらに分液抽出して、GC-MS分析を行い、ピーク(A)，(B)に相当する化合物を精製できたことを確認した。これらの化合物を、一次元  $^1\text{H}$ ， $^{13}\text{C}$  NMR および二次元 HSQC，HMBC NMR (JNM-ECZ500R，日本電子株式会社)により分析した。TBM (A)は、C1 メチル基 C と水素の相関が 2 つ (C2，C6 の水素)である一方、TBM (B)はその相関が 1 つ (C2 の水素のみ)みられた。よって、TBM (A)は C5 に *tert*-ブチル基が導入した構造、TBM (B)は C6 に *tert*-ブチル基が導入した構造であることが示された (図 3)。リグニン分子内、分子間の縮合は C6 位を介すると考えられている。これに対して本研究では、濃硫酸環境下 60 分経過後も安定に存在する TBM(A)は、C5 位に *tert*-ブチル基が導入したものであった。これは当初想定とは異なる結果であり、C5 位に導入されることによる立体障害により、リグニンの縮合が抑制されているものと推定された。

### [3] 三級アルコール添加木材糖化法の反応条件新規デザイン

本項目では、木粉 0.8 g を原料として、硫酸濃度を 72，80，84 %と変化させ、また *tert*-BuOH 添加量も 0，2，4，6，8 g と変化させて、単糖収率や得られるリグニンの特性を分析した (図 4)。72 %硫酸を用いた場合、*tert*-BuOH 添加量が 4 g 以上では *tert*-BuOH による硫酸の希釈の影響で膨潤加水分解が進行しなくなった。*tert*-BuOH 添加量 2 g の時は、72 %硫酸加水分解と同程度の単糖収率が得られたが、リグニンは熱可塑性に乏しく、THF への溶解性も低かった。80 %硫酸を用いた場合、*tert*-BuOH 添加量が 6 g 以上で膨潤加水分解が進行しなかった。単糖収率は *tert*-BuOH 添加量 2 g よりも 4 g の方が高く、硫酸濃度が高いほど単糖が過分解しやすいことが示唆された。リグニンの熱可塑性は *tert*-BuOH 4 g の方が高く、*tert*-BuOH 添加量が多いほど *tert*-ブチル基の導入による自己縮合の抑制が生じやすいと考えられる。84 %硫酸を用いた場合、*tert*-BuOH 添加量が 8 g の時に膨潤加水分解が進行しなくなった。単糖収率は *tert*-BuOH 0 g で特に低く、84 %硫酸を使用する場合は糖の過分解が大きな問題となる。また希酸加水分解後ろ過する際、ガラスフィルターを詰まらせる傾向があった。得られたリグニンは、いずれも熱可塑性、溶媒溶解性が高く、分子量分布では 80 %硫酸を使用して合成したリグニンよりも特に高分子領域が少なかった。以上より、80 %硫酸を使用した場合は、適量の *tert*-BuOH を添加してリグニンの自己縮合を抑制しやすく、単糖収率も高い水準であることから、80 %硫酸を用いてスケールアップを検討することとした。

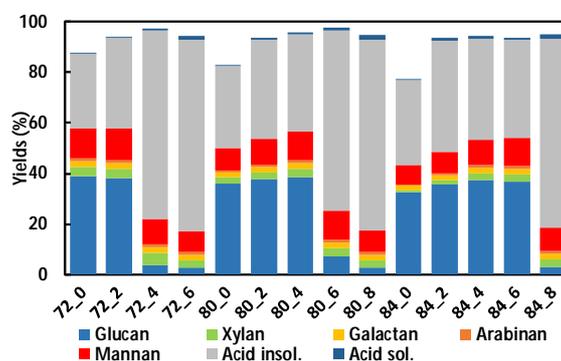


図 4 硫酸濃度と *tert*-BuOH 量を変えたときの生成物収率。Acid insol.は酸不溶性画分を示し、これが過大なものは、セルロースの加水分解不十分を示している。単糖は多糖に換算。72\_2 は、72 %硫酸、*tert*-BuOH 2 g をさす。

木粉を 0.8 g から 100 g として 125 倍規模で合成したリグニンは、収率が 46.8 %とやや高くなった。ヘキサンによる洗浄の結果、収率は 39.0 %となり、従来の木粉 0.8 g 規模で合成したリグニンの収率 39.3 %とほぼ等しくなった。ヘキサン洗浄により、スケールアップの影響で混入したイソブチレンオリゴマーが除去可能であることが明らかとなり、木粉 0.8 g 規模と変わらない収率で熱可塑性および溶媒溶解性に優れたリグニンを合成するノウハウを確立できた。

### [4] リグニンを用いた機能性ナノ多孔質炭素膜の創製

これまでに、オルガノソルブリグニンやフェノール樹脂を用いて、多層セラミックファイバー上に高速焼成(100 /min)で炭素膜を合成してきた。この際、高分子前駆体液に水酸化酢酸鉄を添加して用いると、水素の透過性を損なわずに選択性だけを向上できることを見出した。そこで、製膜の大型化が容易な汎用的な電気炉を用いた低速昇温(4 /min)での鉄添加の影響を検討した。また、溶媒を THF から、よりグリーンなアセトンに変更した。加えて、支持体を多層セラミックファイバーから、単層のムライト管に変更した。まず、鉄を含まない場合で前駆体溶液の濃度や支持体への塗

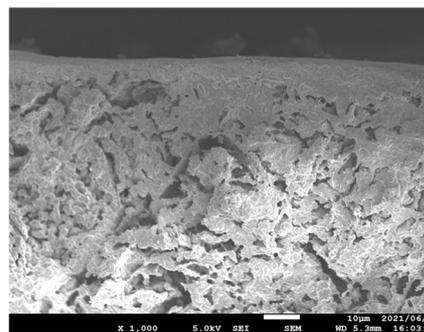


図 5 支持体上に作成した炭素薄膜

布条件を変更する等の合成条件の調整を行い、次に、同様の条件で鉄を添加した合成を行った。また、製膜条件の選定に多くの前駆体を必要とするので市販の合成高分子（フェノール樹脂）を用いた。

合成条件を調整することで多孔質セラミック管状支持体外表面に、約2 μmの炭素膜を得た(図5)。500 焼成後でヘリウム/窒素の理想分離係数約 10、ヘリウム透過率  $1.5 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$  の膜が得られた。なお本試験では水素（動的分子径 0.289 nm）の代わりにヘリウム（動的分子径 0.260 nm）を用いた。この膜は図6（左）に示すように小さなガスほど透過量が大きい分子ふるい能と、透過温度が高いほど透過量が大きくなる活性化拡散を示した。焼成温度を上げると、前駆体の分解が進むため、ヘリウム透過性が増加した（図6（中））。

前駆体に水酸化酢酸鉄を 0.5 wt%添加すると、~700 の重量減少が鉄を含まない場合よりも大きく、前駆体の分解が進むことがTG分析からわかった（図7）。例えば鉄を含まない前駆体の 550 での重量減少率は、鉄添加した前駆体の 500 での重量減少率とほぼ等しかった。一方、鉄を含む前駆体を用いて 500 焼成により製膜した膜のヘリウムの透過性や活性化エネルギーは、鉄を含まない前駆体の 500 焼成とほぼ同じであった（図6右）。これらから鉄の添加は前駆体の分解促進だけでなく緻密化を促進していると考えられる。

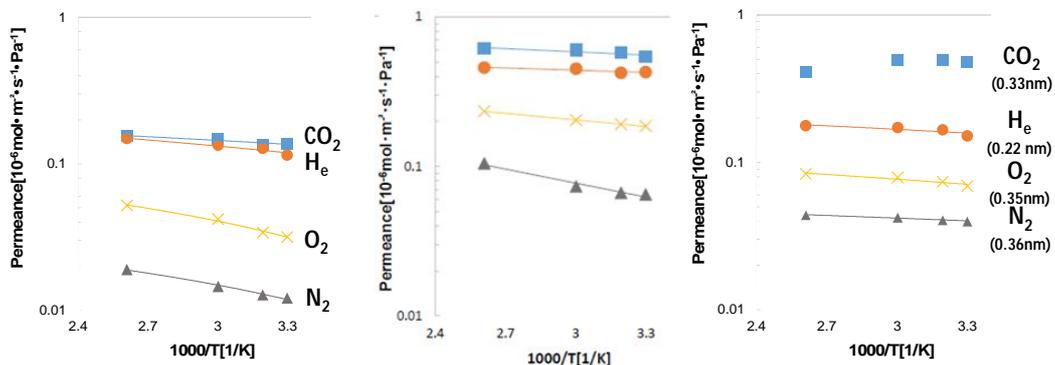


図6 炭素膜のガス透過量と温度の関係  
（左：鉄無-500 焼成，中：鉄無-500 焼成，右：鉄あり-500 焼成）

前駆体への鉄添加がヘリウム透過性に影響を与えない結果は高速焼成と同じ傾向であった。一方、低温焼成では窒素の透過性は鉄添加により増加、活性化エネルギーは低下し、孔の拡大を示唆した。透過量から NKP モデルを用いて細孔径を類推したところ、鉄無の場合は細孔径が 0.51 nm（高速昇温）、0.53 nm（低速昇温）とほぼ同じ結果を得たが、鉄添加した膜の場合は 0.41 nm（高速昇温）、0.99 nm（低速昇温）と鉄添加による細孔径変化に大きな違いがみられた。低速昇温では鉄が凝集している可能性が考えられたが、TEM 観察では鉄粒子は見られなかった。XRD からグラファイト層間隔に起因すると考えられているピーク位置が鉄添加により 25° から 22° にシフトし、層間隔が大きくなったと推測された。低速昇温では加熱時間が長いのでグラファイト層が発達し、グラファイト塊の隙間構造が大きくなり窒素等が透過しやすくなった可能性がある。細孔径の拡大は水素選択性を損なう一方で、吸着性ガスの透過を促進し、鉄添加膜は二酸化炭素の特異的に速い透過を示した（図6右）。二酸化炭素の透過性は高温ほど低下し透過に吸着の影響が大きいことを示している。

汎用的な電気炉での製膜条件が選定できたので、リグニンを用いた製膜も行った。大きな欠陥がない炭素膜が得られたが、ガス透過性はフェノール樹脂由来の炭素膜に比べて 1/10 程度と小さかった。一方、水の透過性はフェノール樹脂由来の炭素膜の 2 倍以上大きかった。リグニンを前駆体として用い、低温焼成で製膜すると、リグニン由来の置換基が炭素膜中に残存し吸着性による透過の寄与が大きくなる可能性が考えられた。

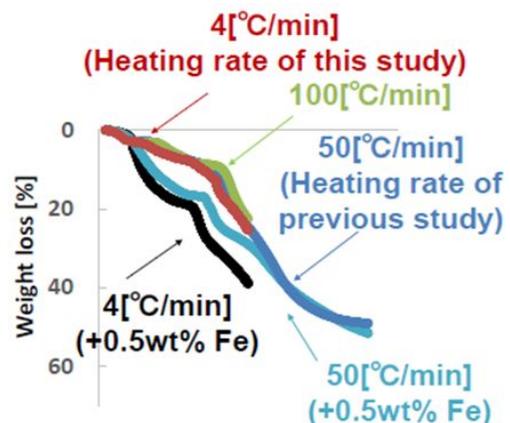


図7 前駆体分解に与える鉄の影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>野中 寛                                |
| 2. 発表標題<br>木質バイオマスリファイナリープロセス                  |
| 3. 学会等名<br>一般社団法人 石炭・炭素資源有効利用研究会 第11回研究会（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2023年                                |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>石山涼太郎, 徳永有希, 野中 寛                              |
| 2. 発表標題<br>木材の tert-ブチルアルコール/濃硫酸加水分解系から得られたリグニンと熱可塑性樹脂の複合 |
| 3. 学会等名<br>第68回リグニン討論会（リグニン学会第5回年次大会）                     |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>野中 寛                        |
| 2. 発表標題<br>リグニンも使えるバイオリファイナリープロセスの開発   |
| 3. 学会等名<br>第54回中部化学関係学協会支部連合秋季大会（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2023年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kazuhisa Ninomiya, Hiroshi Nonaka, Izumi Kumakiri   |
| 2. 発表標題<br>Improvement of CO <sub>2</sub> permselectivity by adding iron acetate salt to the precursor of carbon molecular sieve membranes |
| 3. 学会等名<br>13th International Congress on Membranes and Membrane Processes (ICOM2023) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>二宮 和久, 西 大翔, 熊切 泉, 野中 寛 |
| 2. 発表標題<br>Fe添加による炭素膜のCO2透過性能の向上   |
| 3. 学会等名<br>化学工学会第54回秋季大会           |
| 4. 発表年<br>2023年                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kazuhisa Ninomiya, Hiroshi Nonaka, Izumi Kumakiri   |
| 2. 発表標題<br>Development of CO2-selective carbon molecular sieve membranes using lignin-modified Materials |
| 3. 学会等名<br>The 20th Young Scientist Seminar (YSS2023) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>二宮和久、野中 寛、熊切 泉                 |
| 2. 発表標題<br>分子ふるい炭素膜のガス透過性能の経時変化           |
| 3. 学会等名<br>日本膜学会「第45年会」・「膜シンポジウム2023」合同大会 |
| 4. 発表年<br>2023年                           |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>二宮和久, 熊切 泉, 野中 寛                    |
| 2. 発表標題<br>炭素膜ガス透過性能に与えるFe <sup>3+</sup> 添加の影響 |
| 3. 学会等名<br>日本膜学会第44回年会                         |
| 4. 発表年<br>2022年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>石山涼太郎、徳永有希、野中寛                        |
| 2. 発表標題<br>木材の tert-ブチルアルコール/濃硫酸加水分解系の大規模化に向けた検討 |
| 3. 学会等名<br>第18回バイオマス科学会議                         |
| 4. 発表年<br>2022年                                  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>村田遥香、徳永有希、野中寛                        |
| 2. 発表標題<br>木材の濃硫酸/tert-ブチルアルコール処理で得られるリグニンの構造解析 |
| 3. 学会等名<br>第18回バイオマス科学会議                        |
| 4. 発表年<br>2022年                                 |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>村田遥香、徳永有希、野中寛                                  |
| 2. 発表標題<br>木材の濃硫酸/tert-ブチルアルコール処理で得られるリグニンのモデル化合物を用いた構造解析 |
| 3. 学会等名<br>第73回日本木材学会大会                                   |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kazuhisa Ninomiya, Izumi Kumakiri   |
| 2. 発表標題<br>Utilization of lignin in carbon molecular sieve membranes for gas permeation  |
| 3. 学会等名<br>The 19th Young Scientist Seminar “ Establishment of International Research Network for Bioresources and Their Utilization ”<br>( 国際学会 ) |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>村田 遥香, 野中 寛                             |
| 2. 発表標題<br>針葉樹の濃硫酸/tert-ブタノール処理で得られるリグニンのニトロベンゼン酸化 |
| 3. 学会等名<br>第66回リグニン討論会                             |
| 4. 発表年<br>2021年                                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>村田 遥香, 野中 寛                    |
| 2. 発表標題<br>濃硫酸中でのtert-ブタノールとリグニンモデル化合物の反応 |
| 3. 学会等名<br>2021年度日本木材学会中部支部大会             |
| 4. 発表年<br>2021年                           |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>石山涼太郎, 野中 寛                              |
| 2. 発表標題<br>tert-ブタノールを少量添加した木材濃硫酸加水分解系から得られるリグニンの特性 |
| 3. 学会等名<br>2021年度日本木材学会中部支部大会                       |
| 4. 発表年<br>2021年                                     |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>二宮 和久, 矢野 達士, 野中 寛, 熊切 泉 |
| 2. 発表標題<br>リグニンを前駆体とした炭素膜の開発        |
| 3. 学会等名<br>第24回化学工学会学生発表会           |
| 4. 発表年<br>2022年                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>石山涼太郎, 野中 寛                         |
| 2. 発表標題<br>木材のtert-ブチルアルコール/濃硫酸加水分解における新たな反応方法 |
| 3. 学会等名<br>第72回日本木材学会大会                        |
| 4. 発表年<br>2022年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>村田 遥香, 野中 寛                     |
| 2. 発表標題<br>メチルグアイアコールと濃硫酸/tert-ブチルアルコールの反応 |
| 3. 学会等名<br>第72回日本木材学会大会                    |
| 4. 発表年<br>2022年                            |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                       | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                         | 備考 |
|-------|---|---|----|
| 研究分担者 | 熊切 泉<br><br>(Kumakiri Izumi)<br><br>(20618805)  | 山口大学・大学院創成科学研究科・教授<br><br><br>(15501)         |    |
| 研究分担者 | 秋山 拓也<br><br>(Akiyama Takuya)<br><br>(50553723) | 東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・准教授<br><br><br>(12601) |    |
| 研究分担者 | 徳永 有希<br><br>(Tokunaga Yuki)<br><br>(00963282)  | 三重大学・生物資源学研究科・助教<br><br><br>(14101)           |    |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|