

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25249109

研究課題名(和文)新規熱化学プロセスによる木質バイオマスからの各種モノマーの選択的製造

研究課題名(英文) Selective production of resin material monomers from lignocellulosic biomass via thermochemical conversion

研究代表者

前 一 廣 (Mae, Kazuhiro)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70192325

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,200,000円

研究成果の概要(和文)：木質バイオマス各種構成成分の順次転換・改質による完全化学原料化を検討した。キシランの油相添加希硫酸処理により150℃で38.3%のフルフラールを高選択率で得た。スギの25vol%蟻酸による直接酸糖化では150℃で理論収率46.4%の糖を得た。また、糖を原料とし160℃の油相添加処理により53.2 mol%でHMFを製造可能かつ再利用可能な固体酸触媒を製造した。更に蟻酸処理後残渣に295℃の高温30wt%アセトン処理を施すことで0.8 g/g-Ligninの収率で高性能リグニン樹脂原料が製造可能であることを見出した。

研究成果の概要(英文)：Xylan was selectively converted into furfural at the yield of 38.3% at 150℃ using 2-sec butylphenol as an extraction agent. Cedar was treated with 25vol% formic acid at 150℃, which resulted in saccharide yield of 46.4%. Then, saccharide was converted into HMF at the yield of 53.2 mol% using prepared reusable solid acid catalyst with an extraction agent. Furthermore, lignin-rich residue via formic acidic saccharification was treated with 30wt% acetone at 295℃, which resulted in 0.8 g/g-lignin yield of high functional lignin resin material.

研究分野：反応工学

キーワード：木質バイオマス バイオマスリファイナリー 熱化学変換 樹脂製造

## 1. 研究開始当初の背景

脱化石資源社会への転換に向けて、バイオマス資源が一つの解決策となる可能性をもち、近年注目を浴びている。バイオマスはその燃焼などによって発生する CO<sub>2</sub> の量が、生物の生長過程で光合成により大気中から吸収・固定化した CO<sub>2</sub> の量に等しく、持続的な使用をおこなえば大気中の CO<sub>2</sub> の増加を招かない、カーボンニュートラルな資源である。そのためバイオマスの利活用を図ることは化石資源由来のエネルギーや製品の代替につながり、化石資源由来の CO<sub>2</sub> の発生を抑制できることから地球温暖化の防止に役立つことになり、その推進が重要となっている。また、近代社会のスパンから見ると化石燃料が一方通行的な使い捨て資源であるのに対して、バイオマスは水や太陽などの自然の恵みによって持続的に再生可能であり、循環型社会形成に向けて重要な役割を担う資源である。

また、バイオマスの利活用は前述のような利点を有するのみならず、その発生が地域分散型であるという欠点を逆に利点と捉えることで、地域活性化の主要な柱として掲げられ鋭意推進が試みられている。しかし実情は、未だその利活用は思ったほど進んでおらず、逆に種々の課題が顕在化している。一方、ここ数年、非可食バイオマスからのバイオエタノール生産の開発も進捗しているが、出口が世の中で最も安価である燃料という価格の問題と量的バランスに無理がある点に課題を有している。今後のバイオマス利用での重要な視点の一つは、これまで外国依存の石油から国内資源にシフトした(原料費を第一次産業へ支払える)付加価値の高い製品を生み出す化学産業を創出する点にあると考える。この観点に立てば、バイオマスを単に発酵してエタノールまでの C<sub>2</sub> 化合物にするのではなく、C<sub>2</sub>~C<sub>6</sub> の化成品(ポリマーなど)の基本化合物群を選択的に製造するプラットフォームを構築することが必要となる。現在のアクリル系、フェノール系、アミド系ポリマーの生産量から考えると、エネルギー利用と異なり、バイオマス賦存量は十分に付加価値も大きく増加できる。この C<sub>2</sub>~C<sub>6</sub> 化成品製造のプラットフォームを構築するには、これまでの主流であるバイオ変換だけでは難しく、C<sub>3</sub>~C<sub>6</sub> の製造をターゲットにした熱化学変換も適宜組み込んでいく必要がある。また、非可食バイオマスを対象とする場合、何らかの熱化学的な前処理も必要であり、前処理~コア化合物までをトータルで合理的に変換する方法を考えていく必要がある。

そこで本研究ではポリマー原料のための化成品への熱化学的変換に着目し、バイオマスからのリファイナリースキームを構築するため、バイオマス各成分あるいは木質バイオマスから有用化学物質・高付加価値物質を高選択率で製造する手法の開発を検討した。

## 2. 研究の目的

バイオマスを構成する主成分(セルロース、ヘミセルロース、リグニン)の元素構成から、合理的なパスで高付加価値化成品へと展開できる主要な鍵成分としてフルフラール(テトラヒドロフラン原料)、レブリン酸(-カプロラクタム、ブタジエン原料)、ヒドロキシメチルフルフラール(HMF)(医薬品原料)、低分子リグニン溶液(フェノール代替原料)を設定した。これらの成分は生物学的変換では困難なものばかりで、熱化学的変換による製造を要する。また、選択率の低い酸化反応が不可欠である石油由来(エチレン由来)のリファイナリーとは異なり、理論上は選択性の高い脱水・還元ルートでの製造が可能である。しかしながら、リグノセルロースからの各成分の高効率分離及び熱化学変換の欠点である選択性の低さという点に課題が残り、これらを克服する新製造プロセスを開発する必要がある。この課題を解決するポイントは、「リグノセルロースから必要な成分だけを順次取り出していく前処理法の開発」と「目的生成物の構造を考慮して、各成分を *in situ* 改質して中間体を作りながら選択的に加水分解、脱水する新手法の開発」の2点に整理できる。この観点にたつて、本研究では、木質系バイオマスの各成分から付加価値の高い各種樹脂の原料を合理的に順次分離・選択製造する手法として「(1)過熱水処理によるフルフラールの選択的回収」「(2)処理後残渣からの高温高压水による直接酸糖化」「(3)回収オリゴ糖からの HMF、レブリン酸の選択的製造」「(4)リグニン残渣の亜臨界水分解によるリグニン樹脂製造」という一連のプロセスを提案し、それぞれの操作に関して以下のように技術開発を実施する。

(1) 過熱水処理によるフルフラールの選択的回収：木質バイオマスの主要成分の中でもヘミセルロースは主に五炭糖であるキシロースが重合したキシランにより構成され、最も分解が容易である。本項目ではキシランを常圧、200 程度の過熱蒸気で処理し、キシランへの吸着/凝縮水でヘミセルロースを加水分解/脱水させてフルフラールを生成し、直ちに水蒸気蒸留で気相へと追い出すことでフルフラールの過分解を抑制し、選択率を高めることを検討した。また、液相反応時に有機溶媒を添加することで、フルフラールの油相への親和性を利用した液-液抽出による過分解抑制効果を検討した。

(2) 処理後残渣からの高温高压水による直接酸糖化：木質バイオマス中のセルロースを糖化する際は、濃硫酸など強酸性度かつ高濃度の無機酸の利用が効果的である。一方、このような処理ではリグニンが高度に縮合し、その分解・利用が著しく困難となる。本項目ではバイオマス中セルロースの糖化に際して、有機酸を添加した高温高压水の利用を検討した。本法のポイントは、高温高压水の pKa 値を温度及び有機酸添加量により調節し、リ

グニンの溶出・変性を抑制しつつ糖化を進める点にある。有機酸としては木質バイオマス由来で製造可能な蟻酸、酢酸を用いた。また、前処理としてセルロースを固体酸とともに昇温することで構造緩和を図り、蟻酸処理時の糖化効率に与える影響を検討した。

(3) 回収オリゴ糖からの HMF、レブリン酸の選択的製造：六炭糖を酸存在下で水熱分解すると HMF、レブリン酸が生成するが、その収率を最大化するには迅速な反応下での厳密な酸性度制御が必要で、任意に両者の選択率を制御することは困難である。本項目では糖～レブリン酸の反応における各経路に有効に作用する酸種に着目し、各種酸機能を適したバランスで作用させることでその選択率の制御を試みた。その際、回収の容易な固体触媒を利用することで触媒の再利用についても検討した。

(4) リグニン残渣の亜臨界水分解によるリグニン樹脂製造：リグニンの有望な利用用途の一つとして樹脂原料が挙げられる。リグニン樹脂化には架橋活性点の増加と溶解性の向上がポイントであり、それらを達成するにはリグニンの低分子化が鍵となる。通常リグニンの低分子化には高温高压下での処理が必要であり、木質バイオマスを直接処理する際は同時に樹脂化阻害となるセルロース由来糖類が生成するが、本提案プロセスにおいては項目(2)において樹脂化阻害糖類の有価物としての回収が期待される。本項目では木質バイオマス原料に蟻酸処理を施し、得られた高リグニン含有物に対して高温高压有機溶媒処理を施すことでリグニンの分解・抽出を試みた。

### 3. 研究の方法

(1) ヘミセルロースのモデル化合物として市販のキシランを用いて各種実験を行った。水蒸気によるキシランの加水分解は、ガス流通式反応器で実施した。0.1, 1 mol/L の硫酸 1 mL を含浸させたキシラン 0.5g を石英反応管内シリカウール上に配置し、マイクロフィーダーで純水を 100  $\mu$ L/min で蒸発器に送液し水蒸気を発生させ、50 mL/min の窒素同伴の下、175~225 の温度条件下で 1 h 反応させた。生成物を固液分離した後、水溶性成分は HPLC を用いて定量し、固体成分は一昼夜真空乾燥後、重量測定、元素分析を行った。

液相での加水分解では、回分反応器(BR)にキシラン 0.3 g と純水あるいは 0.01, 0.1 mol/L の硫酸水溶液を 10 mL 投入し、125~225 の温度条件下で油浴にて 1 h 反応させた。反応後 BR を冷水で冷却し、生成物に対しては気相雰囲気化での反応と同様の処置・分析を行った。また、フルフラール生成直後に過分解を防ぐため反応場より隔離することを目的に、抽出剤として 2-sec butylphenol (SBP) を 10 mL 加えた実験も行った。反応後 SBP を回収し、新たに SBP を 10 mL 添加して同様の反応を繰り返した。

(2) スギまたはユーカリを木質バイオマス原料とし、原料 0.5 g、25, 50vol% に調製した蟻酸または酢酸 20 mL を BR に投入し、100~200 で 2~6 h 反応させた。反応後 BR を冷水で冷却し、生成物を固液分離した。水溶性成分については HPLC により生成した糖類、有機酸を定量し、固体成分は一昼夜真空乾燥後、重量測定、元素分析を行った。

また、セルロースの固体酸処理による構造緩和の影響を検討した。前処理としてセルロース 0.5 g を酸化ニオブ 0.05 g またはグリコール酸、シュウ酸二水和物のいずれか 0.5 g とともに窒素雰囲気下、昇温速度 10 /min で 150~270 まで加熱し、所望の温度到達後 30 min 保持した。冷却後、得られた試料 0.1 g と 50wt%蟻酸 1 mL を BR に仕込み、120~175 で 2 h 反応の後、反応溶液中に含まれる成分を HPLC により分析した。

(3) 1 mol/L の金属イオン溶液 50 mL に市販のイオン交換樹脂 (Brønsted 酸触媒) である Amberlyst-15 を 10 g 投入し、室温で 24 h 含浸、イオン交換することで両酸の機能を有する固体酸触媒を作製した。金属イオンとしては Cu, Zn, Al, Ni, Co, Cr, Sn, Ti を用いた。グルコース 0.1 g を作製した触媒 0.1~5 g、純水 9.9 g と共に BR に仕込み、160 の油浴中で 1 h の反応を行った。溶液中のグルコース残率、フルクトース、HMF 及びレブリン酸収率を HPLC により分析した。高い効果を示した触媒 1 g を用いてリン酸緩衝液 (PBS) 9.9 mL 中でグルコース 0.1 g を 140~200 の油浴中で 2~360 min 反応させた。その際、反応器内に SBP を 9.9 mL 添加した。反応後の溶液を HPLC 分析することで HMF、レブリン酸の収率を算出した。また、グルコース 0.2 g を種々の Zeolite 0.1~1 g を触媒として使い、メタノール 10 mL 中で 80~160、1~4 h で反応することも検討した。

(4) 1 g のスギまたはユーカリと 50~90wt% の蟻酸 10 g を BR に仕込み、175 で 2 h 処理した。反応物を濾過することで得られた残渣を 60 で 24 h 真空乾燥した。乾燥残渣に対して 10 倍重量の 30~50wt% アセトンとともに BR に仕込み、油浴中で 295、1 h で分解抽出処理を行った。反応物の濾過により得られた溶液に含まれるアセトン可溶成分を 80 の熱板上でアセトンを揮発することで回収した。回収リグニン成分は HPLC による分子量分布測定後、硬化剤であるヘキサメチレンテトラミン (ヘキサミン) と混合し、示差熱分析 (DTA) によりその硬化反応性を測定した。

### 4. 研究成果

(1) 過熱水処理によるフルフラールの選択的回収

蒸気による加水分解では、キシラン反応率は 65~85% であったもののフルフラール収率は概ね 10% 以下と低く、最高収率は 0.1 mol/L 硫酸使用時の 200 での反応で 10.2% であっ

た。これはフルフラールが効率的に蒸気に伴われず、過分解したためと考えられる。

液相の蒸留水による水熱処理ではオリゴ糖以上の多糖、硫酸添加条件ではキシロースが主生成物であることが明らかになった。Fig.1 に各液相反応条件におけるオリゴ糖、キシロース、フルフラールの収率を示す。フルフラール収率が最大を示したのは 0.1 mol/L 硫酸、175 で処理した際の 36.4%であった。一方、0.1 mol/L 硫酸、150 で処理した場合はオリゴ糖、キシロース（共にフルフラール前駆体）及びフルフラールの合計収率が 95.1%であり、フルフラールのみを選択的に抽出できれば収率 27.7%から大きく向上する可能性が考えられる。

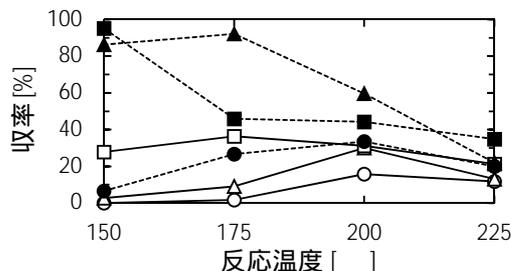


Fig.1 キシランの水熱分解による各種生成物収率 (反応時間: 1 h) (硫酸濃度[mol/L] - : : = 0:0.01:0.1、白抜き:フルフラール収率、黒:フルフラール+キシロース+オリゴ糖合計収率)

上記の推察に基づき 150、1 h の 0.1 mol/L 硫酸処理に対して SBP によるフルフラールの抽出を試みた。結果、2 度の反応・抽出処理によりフルフラール前駆体を合計 39.2%残存し、かつフルフラール収率は 38.3%に到達した。これは抽出なしでの最大収率 36.4%(175)を上回っており、更には反応温度の低下、前駆体の残存率を考慮すると、抽出操作は有効な処理であると判断できる。

## (2) 処理後残渣からの高温高压水による直接酸糖化

スギを蟻酸または酢酸で処理した際、蟻酸を用いた方がより効果的に糖化が進行することが確認された。Fig.2 に蟻酸処理時の炭素転換率を示す。酢酸を用いた際との糖化・溶解率以外の大きな違いは、高温蟻酸処理によるレブリン酸の生成が確認された点である。本処理ではリグニンの溶解・縮合を抑制しながらのセルロース糖化が望ましく、50vol%の蟻酸による処理はリグニンの溶解率の高さから適した処理ではないと判断できる。一方、25vol%の蟻酸を用いた場合は、特に 150 付近の処理においてリグニンの溶解を抑制しながらも糖化が進行している様子が窺える。25vol%蟻酸、150 処理による糖類の収率は 25.4%(糖含有量基準:46.4%)で、その際のリグニン溶出率は 6.3%(リグニン含有量基準:13.8%)であった。

ユーカリを原料とした場合は有機酸種、濃

度による炭素転換率への影響は小さく、反応温度の影響が大きいことが確認された。スギで良好な結果を示した 25vol%蟻酸による 150 の処理では、糖類の収率は 31.2%(糖含有量基準:49.6%)で、その際のリグニン溶出率は 12.0%(リグニン含有量基準:32.2%)であった。

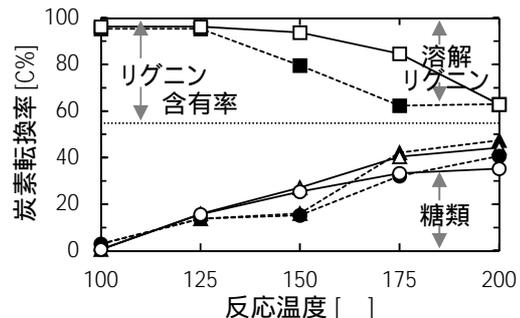


Fig.2 スギの蟻酸処理による各成分への炭素転換率 (反応時間: 2 h) (蟻酸濃度 - 白抜き:25vol%、黒:50vol%、- : 糖類、- : HMF & レブリン酸、- : 固体残渣、- : 溶解リグニン)

また、セルロースの固体酸を用いた前処理による構造緩和が蟻酸糖化に与える影響を検討した。検討した固体酸前処理において、グリコール酸を添加した際に前処理後の固体成分収率が投入セルロース量を上回ったことから、両物質の間に相互作用が形成されていたと推察される。続いて得られた固体成分を蟻酸処理した際の糖収率を Fig.3 に示す。加熱処理するのみでは収率の向上は見込めないものの、固体酸と共に加熱処理した場合は実施した全ての条件において糖収率が向上した。中でもグリコール酸と共に 250 で加熱した際は収率の大幅な向上が見られ、前処理なしの濾紙セルロースではほぼ糖化しない 140 という条件において単位セルロース当たり 0.32 g の糖収率が得られた。

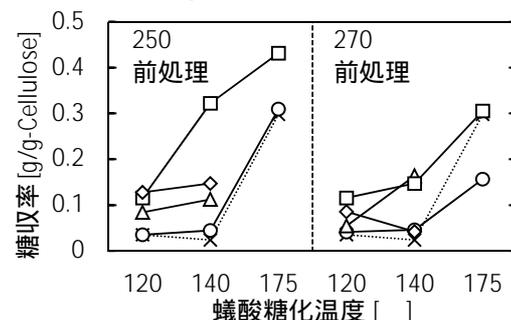


Fig.3 原料セルロース基準糖収率 (50wt%蟻酸、2 h、x:未処理セルロース、:加熱のみ、:酸化ニオブ、:グリコール酸、:シュウ酸二水和物)

## (3) 回収オリゴ糖からの HMF、レブリン酸の選択的製造

種々の金属を担持した Amberlyst-15 を固体酸触媒として利用した際、HMF の製造に関して最も良い性能を示したものは Sn を金属

種として担持させた触媒であった。これは作製触媒の FT-IR スペクトルからも判断可能であり、Sn を担持させた触媒が最も Lewis 酸のピークを示していた。また溶液 pH が収率に与える影響を検討するため様々な pH に調製した PBS 中でグルコースの分解を実施した。結果、HMF の収率は pH に大きく依存することが判明し、pH = 2.0 の PBS を使用することで最大 HMF 収率 42.4 mol% (選択率 53.1%) を記録した。続いて、作製した Sn 担持触媒を pH = 2.0 の PBS 中で用いることを検討した。ここでは更なる収率向上を図るため、HMF の水和反応を抑制する手法として HMF の有機溶媒への高い親和性を利用すべく反応場に抽出相として SBP の添加を試みた。結果を Fig.4 に示す。本手法により HMF 収率は大幅に向上し、最大で 170、60 min の処理によって 53.2 mol% の収率で HMF が得られた。固体酸触媒については吸引濾過により容易に回収可能であり、再利用しても全く性能に劣化なく同様の HMF 収率が得られることを確認した。

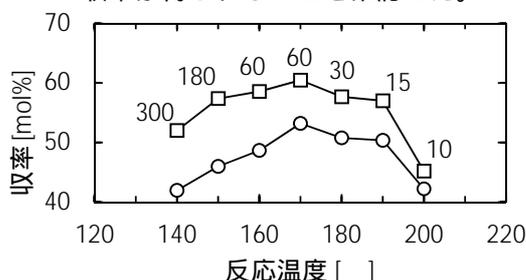


Fig. 4 グルコースの二相系接触分解での HMF 及びレブリン酸収率 (数値: 各最大収率を示した反応時間 [min], - : HMF、- : レブリン酸)

続いて、固体触媒として Zeolite を使用したグルコースからのレブリン酸の製造を検討した。ここでは溶媒をメタノールとすることによりグルコースの水酸基をメチル化し、本反応の選択率低下要因となる固体副生物であるフミン質の抑制を試みた。メタノール中での反応により得られるレブリン酸メチルは加水分解することで容易にレブリン酸へと転換される。種々の Zeolite を使用し反応を実施した結果、HS-320 (Y 型、Cation type: H) 0.5 g を 120 で使用した際に反応率 54 mol%、収率 42 mol% でフルクトースへの異性化反応が進行した。これはグルコース - フルクトースの平衡収率に近く、HS-320 は異性化性能に優れた触媒であることが判明した。本異性化反応には Lewis 酸が作用し、Zeolite の Lewis 酸点は Si-Al 結合の切断によって発現することから SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比が 1 に近い程 Lewis 酸性能が高くなると推察される。各種 Zeolite での実験結果を比較すると SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比とフルクトース収率の間には推察通りの相関が見られた。レブリン酸メチルの製造に関しては最も高い性能を示した Zeolite は HS-341 (Y 型、Cation type: NH<sub>3</sub>) であり、触媒 0.5 g、160、4 h での反応に

より最大収率 55 mol% が得られた。以上の結果を基に、レブリン酸メチルのさらなる収率向上を目的に複数の Zeolite を使用しての反応を実施した。グルコースからフルクトースへの異性化とフルクトースからレブリン酸への転換を分断して実施する [交換使用 (HS-320 0.1 g、120、1 h の反応から HS-341 0.5 g、160 での反応へ移行)] と 2 種の Zeolite を同時に使用する [混合使用 (HS-320 0.1 g + HS-341 0.4 g、160 での反応)] の 2 プロセスを検討した。結果、[交換使用] では HS-341 のみを使用した際の収率を下回った。これは異性化反応時の原料損失の影響によるものと考えられる。一方、[混合使用] では 4 h の反応で最高収率 58 mol% に達し、HS-341 のみでの使用と比較して収率が增大することが確認できた。

#### (4) リグニン残渣の亜臨界水分解によるリグニン樹脂製造

スギからの蟻酸処理、アセトン分解抽出処理によって得られたアセトン可溶分の収率を Fig.5(a) にスギ中のリグニン含有 (33.2wt%) 基準で示す。50wt% と 75wt% の蟻酸で前処理 (糖化処理) した場合はスギから糖類を抽出し、その後の残渣からアセトン可溶分を高収率で得られていることがわかる。一方、90wt% の蟻酸糖化後では収率が低下しており、糖化工程において大幅に縮合が進行し、アセトン可溶分が減少したと判断できる。またアセトン濃度の減少に伴いアセトン可溶分収率の低下傾向がみられることから、溶解度の変化による被抽出成分に選択性があると推察される。加えて、本項目における結果を項目 (2) の結果 (Fig.2) と比較することで、蟻酸糖化における固液比の影響は多大であると判断できる (液/固比は項目 (2) : 項目 (4) で 40 : 10)。

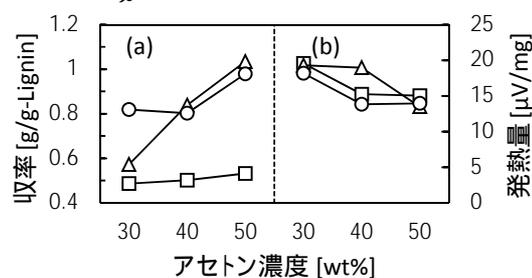


Fig.5 スギの蟻酸糖化及びアセトン処理後抽出物の (a) 収率、(b) 硬化反応時発熱量 (蟻酸処理: 175、2 h、蟻酸濃度 [wt%] - : 50、: 75、: 90、アセトン処理: 295、1 h)

Fig.5(b) には得られたアセトン可溶分を硬化剤であるヘキサミンと共に加熱した際の単位質量あたりの発熱量を示す。低濃度のアセトンで処理することで、より硬化反応性の高い樹脂原料が選択的に抽出できることが窺える。これらのアセトン可溶分の分子量分布は各試料においてほぼ同等であり、アセ

トン濃度が低い場合に硬化反応に必要な架橋点を多く持つ高活性な樹脂原料が得られたと判断できる。また、蟻酸糖化を経ずに直接アセトン水処理して得られたアセトン可溶分に硬化反応を施した際には、Fig.5(b)のいずれをも下回る発熱量を示した。以上の結果よりアセトン可溶分の収率、硬化反応性という点を総合的に評価すると、スギを 50wt% 蟻酸で処理し多糖類を糖化した後、得られた残渣を 30wt%アセトンで処理しアセトン可溶分を抽出するというプロセスがリグニンの樹脂原料化に適していることが明らかとなった。また、ユーカリに対して同様のプロセスでの処理を施したところリグニン収率、硬化反応性ともに同様の傾向を示した。これより本樹脂原料化手法は針葉樹、広葉樹の両方に対して有用であることを明らかにした。

以上、木質バイオマス各主成分の構造や特性に立脚した有価物製造手法を考案し、Fig.6 に示すような新規のリファイナリースキームを開発した。本スキームにより木質バイオマスを起点とした樹脂製造への展開が期待される

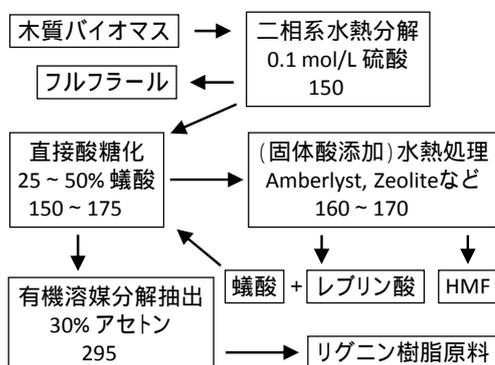


Fig.6 木質バイオマス各主成分からの有価物(樹脂原料)製造リファイナリースキーム

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

Yosuke Muranaka, Ryuichi Murata, Isao Hasegawa, Kazuhiro Mae, Production of depolymerized lignin resin material from lignocellulosic biomass using acetone-water binary solution, Chemical Engineering Journal, 査読有、2015、274、265-273、DOI: 10.1016/j.cej.2015.04.009

Yosuke Muranaka, Tatsuya Suzuki, Hiroyuki Sawanishi, Isao Hasegawa, Kazuhiro Mae, Effective Production of Levulinic Acid from Biomass through Pretreatment Using Phosphoric Acid, Hydrochloric Acid, or Ionic Liquid, Industrial & Engineering Chemistry Research, 査読有、2014、53、11611-11621、DOI: 10.1021/ie501811x

Yosuke Muranaka, Akira Iwai, Isao Hasegawa, Kazuhiro Mae, Selective production of valuable chemicals from

biomass by two-step conversion combining pre-oxidation and hydrothermal degradation, Chemical Engineering Journal, 査読有、2013、234、189-194、DOI: 10.1016/j.cej.2013.08.055

〔学会発表〕(計6件)

Yosuke Muranaka, Junji Hosokawa, Junya Ikuta, Ryuichi Murata, Isao Hasegawa, Kazuhiro Mae, APCCHE 2015 Congress, Production of lignin resin material from lignocellulosic biomass combining acidic saccharification and acetone treatment, 査読有、2015年10月01日、オーストラリア Melbourne

村中 陽介、信太 祐介、長谷川 功、牧 泰輔、前一 廣、固体酸触媒を利用した糖類からのレブリン酸メチルの合成、化学工学会 第47回秋季大会、2015年09月11日、札幌市 北海道大学

村中 陽介、藤井 裕大、長谷川 功、前一 廣、アルカリ条件下におけるバイオマスからの有機酸生成、化学工学会 第80年会、2015年03月20日、江東区 芝浦工業大学

Yosuke Muranaka, Yusuke Nobuta, Yoshitaka Kubota, Isao Hasegawa, Kazuhiro Mae, 248th American Chemical Society National Meeting, Catalytic conversion of saccharide into 5-hydroxymethylfurfural using cation exchanged resin, 2014年08月12日、米国 San Francisco

Yosuke Muranaka, Tatsuya Suzuki, Isao Hasegawa, Kazuhiro Mae, 2014 AIChE Spring Meeting, Effective Acidic Hydrothermal Degradation of Cellulose to Levulinic Acid through Pretreatment, 2014年04月01日、米国 New Orleans

窪田 圭剛、信太 祐介、村中 陽介、長谷川 功、前一 廣、金属担持イオン交換樹脂を触媒とした糖類からのHMF製造、化学工学会 第79年会、2014年03月18日、岐阜市 岐阜大学

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/8koza/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

前一 廣 (MAE KAZUHIRO)  
京都大学・工学研究科・教授  
研究者番号：70192325

### (2) 研究分担者

長谷川 功 (HASEGAWA ISAO)  
京都大学・工学研究科・助教  
研究者番号：20346092

### (3) 研究分担者

村中 陽介 (MURANAKA YOSUKE)  
京都大学・工学研究科・助教  
研究者番号：40756243