

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 4 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25281048

研究課題名(和文) リグノセルロース系バイオマスからの高付加価値・環境低負荷製品の生産プロセスの開発

研究課題名(英文) Development of production process of high value-added and environmentally friendly products from lignocellulosic biomass

研究代表者

中村 嘉利 (Nakamura, Yoshitoshi)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：20172455

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,000,000円

研究成果の概要(和文)：リグノセルロース系バイオマスからバイオフェューエルやバイオマテリアルを効率的に生産するためのプロセスの開発を行った。水蒸気爆砕スギからのバイオエタノール生産のために無毒化同時糖化発酵SSDFが行われた。SSDFの流加培養は阻害物質分解微生物による解毒作用によりエタノール濃度を増加できるので大変効果的であった。次に、リグノセルロース系バイオマスの構成成分の有効利用のために有用バイオマス由来製品への変換についても研究した。ホロセルロース、水可溶性成分やオルガノソルブリグニンそれぞれセルロースナノファイバー、抗酸化活性物質やリグニンエポキシ樹脂に変換された。

研究成果の概要(英文)：In this study, we attempted to develop the efficient production process of not only biofuels but also biobased materials from lignocellulosic biomass using a high activity steam treatment. The simultaneous saccharification, fermentation and detoxification SSDF process of steam-exploded cedar using Meicelase, *Saccharomyces cerevisiae* BA11, and a detoxification microorganism, *Ureibacillus thermosphaericus* A1 was carried out for bioethanol production. A fed batch SSDF culture, in which *U. thermosphaericus* A1 was used to maintain low concentrations of inhibitory materials, was effective for increasing the ethanol concentration. The conversion of lignocellulosic biomass into useful biobased materials was also studied for the effective utilization of its components. The holocellulose, water soluble material, and organosolv lignin could be converted into useful materials, i.e. cellulose nanofiber, antioxidant material, and lignin epoxy resin, respectively.

研究分野：バイオマス

キーワード：リグノセルロース系バイオマス

1. 研究開始当初の背景

近年、二酸化炭素濃度の急激な増加に伴う地球温暖化が懸念されているが、森林は二酸化炭素を吸収し、地球温暖化の防止に大きく貢献している。我国の森林は国土の約70%を占め、その面積は人工林1,000万ha、自然林2,500万haで年間成長量1億 m^3 といわれている。その中でもスギは戦後の植林政策により人工林面積の約45%に達している。植林されたスギは成長に伴い、木々の間隔が狭くなるため、健全な成長のためには定期的な間伐が必要である。また、間伐を行わないと地表の土が露出し、木の根を力強く張らすことや水を蓄える力を無くし、洪水、山崩れや倒木のような大災害を引き起こす。しかしながら、現状では林業構造的不況の影響から良質の木材を育てるための枝打ちや、下草刈り、間伐等の手入れも行き届かず荒地化しているため、活力ある森林環境保全のためにも間伐材の利益創出型利用法の開発とそれに伴う新規産業や雇用の創出が望まれる。

本研究では、地球温暖化の防止や森林環境保全のために国内で大量に発生する針葉樹間伐材や広葉樹間伐材などのリグノセルロース系バイオマスを原料としてバイオフェューエルやバイオマテリアルの製造と物性評価を試みる。

2. 研究の目的

高温高圧水蒸気処理、抽出分離、酵素糖化、無毒化発酵や樹脂合成から成る一連の操作を用いてリグノセルロース系バイオマスをグルコース、エタノール、ナノファイバーやエポキシ樹脂などの有用製品に高効率で変換するための変換プロセスの開発を行う。

3. 研究の方法

3-1 試料

リグノセルロース系バイオマス試料としてスギ、ユーカリヤタケを用いた。

(2) 前処理

前処理として水蒸気爆砕(日本化学機械製造株式会社製NK-2L型、180-285 $^{\circ}C$, 1-7MPaの水蒸気蒸煮および水蒸気爆砕が可能)を用いた。処理方法は、試料を高圧反応器に入れ、内部の空気を水蒸気に置換した後、所定圧力の飽和水蒸気を反応器内に導入し、所定時間蒸煮後、瞬時または徐々に大気圧まで減圧し、水蒸気爆砕物および水蒸気蒸煮物を得た。

(3) 酵素糖化

水蒸気爆砕物の酵素糖化はセルロース分解酵素(メイセラゼ、明治製菓製、*Trichoderma viride*, 224 FPU/g、 β -グルコシダーゼ活性264 IU/g)を基質量の1/10になるように添加して行った。反応は0.1M酢酸バッファー(pH5.0)を用いて温度50 $^{\circ}C$ で行った。

(4) 無毒化同時糖化発酵

水蒸気爆砕物を原料として、メイセラゼ、発酵阻害物質(フルフラール、5-HMFやギ酸など)を分解する耐熱性細菌 *Ureibacillus thermosphaericus* A1(九州大学 大島教授より供与)と耐熱性酵母 *Saccharomyces cerevisiae* BA11(バイオアカデミア株式会社より供与)を用いた無毒化発酵を行った。反応は0.2Mリン酸バッファー(pH7.0)を用いて温度40 $^{\circ}C$ で行った。

(5) 水抽出物の生理活性評価

水蒸気爆砕物からの水抽出物を使用し、抗腫瘍活性試験と抗酸化活性試験を行った。抗腫瘍活性試験ではMTT試験(殺細胞活性)とコロニー形成試験(増殖阻害活性)を行った。MTT試験での使用細胞は、HeLa細胞(ヒト子宮頸がん細胞)、コロニー形成試験での使用細胞はA549(ヒト扁平上皮肺がん細胞)を用いて行った。抗酸化活性試験ではリノール酸共役ジエン形成阻害活性を測定した。

(6) リグニンエポキシ樹脂の製造

水蒸気爆砕物の水抽出残渣のメタノール抽出物(低分子量リグニン)を原料としてエポキシ化リグニンを合成した。相間移動触媒TMAC(テトラメチルアンモニウムクロライド)を用いてエピクロロヒドリンと反応させる新規方法により、エポキシ化リグニンの分子量を制御(低分子量化)し、有機溶媒に可溶、すなわち、有機エレクトロニクス材料として成形可能なエポキシ樹脂の合成を試みた。エポキシ化リグニン硬化樹脂の合成では硬化剤としてTD2131(フェノールノボラック: DIC Corp)または低分子量リグニンを用いた。

(7) セルロースナノファイバーの製造

水蒸気爆砕物の水・メタノール抽出物残渣(セルロースと一部リグニン)を亜塩素酸処理により脱リグニンした後、脱リグニン物を原料としてセルロースナノファイバーを製造した。ファイバー化にはグラインダー装置(増幸産業製スパーマスコロイダーMKCA6-2)を用いた。

4. 研究成果

(1) 酵素糖化

図1は水蒸気爆砕スギ(基質濃度は100g/l)の酵素糖化の結果を示す。なお、強度係数Sは水蒸気処理の強さを表しており、式(1)のように蒸煮温度Tと蒸煮時間tの関数として与えられる(Overend and Chornet, *Philos. Trans. R. Soc. Lond.* A 321, 523-536, 1987)。本実験では、爆砕反応器の容量は小さく、蒸気温度は短時間で目標値に到達できるので、大気温度から目標温度までに達する時間は無視した。

$$S = \text{Log}[t \exp\{(T-100)/14.75\}] \quad (1)$$

グルコース濃度は培養時間とともに増加し、

約 24 時間後に最大値に達した。未処理スギの場合には 60 h 以上の培養でもグルコースは検出されなかった。酵素糖化に及ぼす水蒸気爆砕の前処理効果を明らかにすることができた。グルコース生成量は 45 atm, 5min の場合に最大となり、グルコース濃度 36 g/l が得られたので、以下の培養実験では 45 atm, 5min で処理された水蒸気爆砕物を使用した。

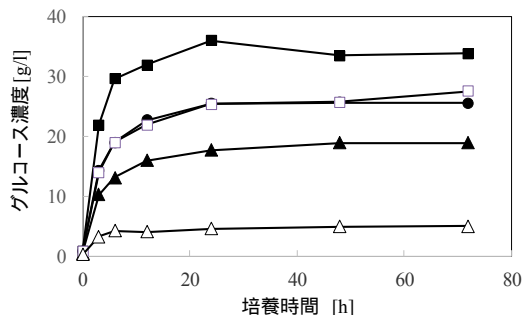


図 1 水蒸気爆砕スギの酵素糖化、 \square , 35 atm, 5 min (S=4.90); \circ , 45 atm, 5 min (S=5.35), \triangle , 45 atm, 10 min (S=5.65), \diamond , 55 atm, 5 min (S=5.73), ∇ , 55 atm, 10 min (S=6.03).

(2) 無毒化同時糖化発酵

図 2 はメイセラゼ、*U. thermosphaericus* A1 と *S. cerevisiae* BA11 を用いた水蒸気爆砕スギの無毒化同時糖化発酵の結果を示す。基質濃度 50 g/l の時、エタノール生成が培養期間の早い段階で観察され、エタノール量は比較的短時間で一定値に達した。しかしながら、基質濃度 100 g/l ではエタノール生成は培養の早い段階では比較的低いが、40 h 後には急激に増加した。また、グルコースの蓄積が 0 から 60 h まで観察された。100 g/l の場合には水蒸気爆砕スギ中に含まれる発酵阻害物質濃度は 50 g/l のときの 2 倍であるので、比較的長い培養時間が *U. thermosphaericus* A1 を用いた阻害物質の分解のために必要であると思われる。200 g/l の基質濃度では急激なグルコース生成が見られたが、72 h 後でもエタノールの生成は見られなかった。これは、高濃度の発酵阻害物質は *U. thermosphaericus* A1 の増殖も阻害して発酵阻害物質の分解を妨げ、その結果 *S. cerevisiae* BA11 によるアルコール発酵は強く阻害されたと思われる。しかしながら、発酵阻害物質は酵素糖化には影響を与えないことがわかった。

発酵培養液からエタノールを分離する際の消費エネルギーを減らすためには培養液中のエタノール濃度を増加させることが必要である。それゆえ、エタノール濃度を増加させるために流加培養を試みた。図 3 は無毒化同時糖化発酵の回分培養と流加培養の比較検討結果を示す。回分培養では基質 10 g を培養液 50 ml に添加し、基質濃度 200 g/l で培養を行った。流加培養では 2.5 g の基質を 0 から 36 h の 12 h 毎に 4 回培養液 50 ml に加えて基質濃度を 50 g/l 以下になるように調整した（全基質量は 10 g）。回分培養ではグルコ

ースは急激に生成されたが、前述したように阻害物質の影響でエタノールは全く生成されなかった。一方、流加培養ではエタノールは培養初期段階から生成し、培養時間 60 h で最大値 26.5 g/l に達した。60 h 後には発酵阻害物質であるギ酸、フルフラールと 5-HMF の濃度はそれぞれほぼ一定値 0.2、0.02 と 0.3 g/l となった。*U. thermosphaericus* A1 はこれらの濃度の発酵阻害物質を分解できるので、60 h 後にグルコースが検出され、その後徐々に増加していった理由は、好気性微生物である *U. thermosphaericus* A1 が酸素不足のために増殖が停止したためと思われる。それゆえ、通気量や攪拌速度を高めることで酸素供給を改善する必要があると思われる。結果として、無毒化同時糖化発酵の流加培養は水蒸気爆砕スギのエタノール変換のために効果的であることがわかった。

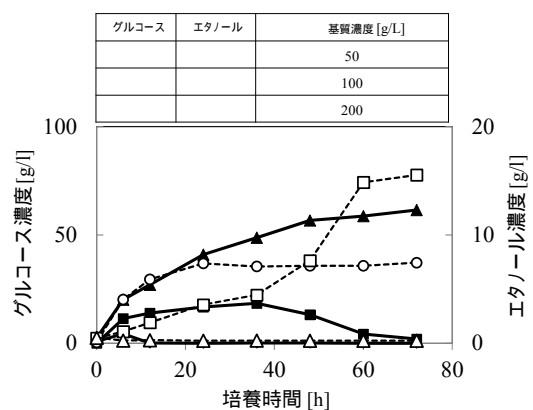


図 2 水蒸気爆砕スギの無毒化同時糖化発酵

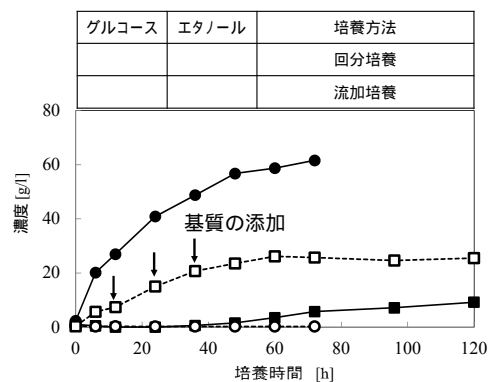


図 3 無毒化同時糖化発酵の回分培養と流加培養の比較

(3) 水抽出物の生理活性評価

水蒸気爆砕スギの水抽出物を用いた MTT 試験を行った。活性は爆砕条件に依存せず、水抽出物の濃度が高くなるに伴い増大した。しかしながら、実用化に使用できるほどの活性は見られなかった。コロニー形成試験結果では、いずれの爆砕条件においても IC_{50} 値 (半数阻害濃度) は 0.5 付近を示し、爆砕条件に依存性は見られなかった。リノール酸共役ジエン形成阻害活性結果では、いずれの爆砕

条件においても活性阻害に大差はなく、活性は高い抗酸化活性を示すトロロックスの20%程度であったが、天然物(黒大蒜や生姜など)よりも高かった。

(4) リグニンエポキシ樹脂の製造

エポキシ化リグニンは2種類の硬化剤を用いて硬化された。一つはバイオマス由来硬化剤(メタノール可溶性リグニン)であり、もう一つは石油由来硬化剤(フェノールノボラック:TD2131)である。また、エポキシ化リグニンだけでなく、比較のために市販のエポキシ樹脂であるエピコート 828(EP828)を用いた硬化物も合成した。表1はエポキシ樹脂硬化物の特性を示す。5%重量減少温度(T_{d5})と10%重量減少温度(T_{d10})はEP828+TD2131(コントロール)、EP828+リグニン、エポキシ化リグニン+TD2131、エポキシ化リグニン+リグニンの順で減少した。これは、エポキシ樹脂硬化物内での高いリグニン率が T_{d5} 、 T_{d10} での分解温度を減少させたことを示している。リグニンエポキシ樹脂硬化物の T_{d5} は石油由来の硬化エポキシ樹脂(例えばEP828+TD2131)よりも低かったが、電気材料製造分野で必要とされているハンダ耐熱温度250を超える値であった。Benyahaら(*Ind. Crop. Prod.*, 53, 296-307, 2014)は緑茶(カテキン)を原料としたエポキシ樹脂硬化物の30%重量減少温度が299であることを報告しているが、この値はリグニンエポキシ樹脂硬化物(10%重量減少温度298-336)よりもはるかに低かった。それゆえ、本研究で得られた低分子量リグニンはバイオマス由来エポキシ樹脂硬化物の原料としてカテキンよりも優れていることがわかった。スギから得られたエポキシ樹脂の熱分解温度 T_{d5} 、 T_{d10} での数値はユーカリヤタケよりも高かった。この理由はスギリグニンの低いエポキシ当量と分子量によるものと思われる。さらに不燃性の指標となるチャー収率はリグニンエポキシ樹脂硬化物の方がコントロール(EP828+TD2131)よりも高かった。また、リグニンエポキシ樹脂硬化物の曲げ強度79.1-91.2 MPaは汎用エポキシ樹脂の曲げ強度59-120 MPa内であった。今後の課題はメタノール以外の抽出溶媒(エタノールやアセトンなど)やTMAC以外の相関移動触媒(TMAHやTBABなど)の検討および樹脂合成方法・条件の最適化である。

表1 エポキシ樹脂硬化物の特性

Epoxy resin	Curing agent	T_d (°C) ¹⁾	T_{d5} (°C) ¹⁾	T_{d10} (°C) ¹⁾	Char yield (%) ²⁾	Flexural strength (MPa)	Lignin content (%)
EP828	TD2131	361	278	257	120.1	-	0
EP828	Lignin (Cedar)	328	265	242	-	-	34.2
	Lignin (Eucalyptus)	319	349	25.2	-	-	39.5
Epoxyalized lignin (Bamboo)	Lignin (Bamboo)	315	351	24.5	-	-	35.4
	TD2131	293	336	44.1	-	-	63.3
Epoxyalized lignin (Cedar)	Lignin (Cedar)	275	311	40.3	-	-	62.8
Epoxyalized lignin (Eucalyptus)	Lignin (Eucalyptus)	266	313	36.6	-	-	64.2
Epoxyalized lignin (Bamboo)	Lignin (Bamboo)	296	329	44.1	79.3	-	88.2
Epoxyalized lignin (Cedar)	Lignin (Cedar)	274	307	41.3	91.2	-	86.1
Epoxyalized lignin (Eucalyptus)	Lignin (Eucalyptus)	274	307	41.3	91.2	-	86.1
Epoxyalized lignin (Bamboo)	Lignin (Bamboo)	259	298	32.8	79.1	-	87.3

1) by TGA-DTA (heating rate: 10°C/min, under N₂ atmosphere), 2) at 600°C

(5) セルロースナノファイバーの製造

図4は水蒸気爆砕スギの水、メタノール抽出物残渣を原料として得られたセルロースナノファイバーを示す。

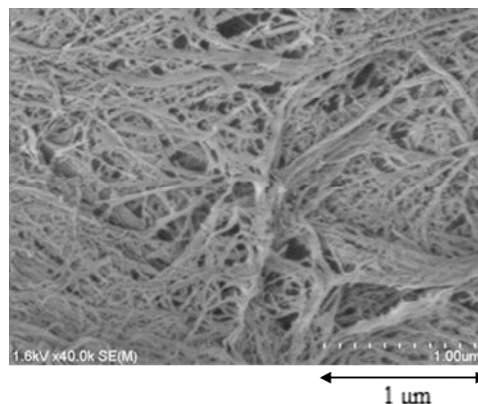


図4 水蒸気爆砕セルロースナノファイバー

35atm、5minの水蒸気爆砕スギを用いて製造(グラインダー回数2回)されたセルロースナノファイバーの強度(フィルム化したサンプルの引張強度)は約90 MPa、弾性率は約13 GPaであった。リグニンの生産能からみると水蒸気圧力が高いほどメタノールに可溶性低分子量リグニンが多く回収できることから、スギ(針葉樹)では35atm、5minの爆砕条件でリグニンを生産しつつ、セルロースナノファイバーを製造することが効果的と思われる。今後の課題はグラインダー回数や乾燥方法などを種々検討することによりセルロースナノファイバーのさらなる強度向上を目指すことである。

水蒸気を前処理(脱リグニン処理)に用いたリグノセルロース系バイオマスからのバイオフェューエルやバイオマテリアルの製造プロセスでは、得られる成分に含まれる不純物が少ない。そのため、腐食性物質フリーが求められる環境保全型材料分野や高電気抵抗が求められる電気機器分野へも応用が可能となり、リグノセルロース系バイオマスからの高付加価値・環境低負荷製品の生産が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

(1) Ai Asakawa, Tomohiro Oka, Chizuru Sasaki, Chikako Asada, Yoshitoshi Nakamura Cholinium ionic liquid/cosolvent pretreatment for enhancing enzymatic saccharification of sugarcane bagasse, *Industrial Crops and Products*, 査読有, 86, 113-119, 2016
DOI:10.1016/j.indcrop.2016.03.046

(2) Chizuru Sasaki, Yusuke Yoshida, Chikako Asada and Yoshitoshi Nakamura Total utilization of Japanese pear tree prunings:

extraction of arbutin and production of bioethanol, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 査読有, 18(2), 385-392, 2016
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10163-014-0346-7>

(3) Ai Asakawa, Misato Kohara, Chizuru Sasaki, Chikako Asada, Yoshitoshi Nakamura

Comparison of choline acetate ionic liquid pretreatment with various pretreatments for enhancing the enzymatic saccharification of sugarcane bagasse, *Industrial Crops and Products*, 査読有, 71, 147-152, 2015
DOI:10.1016/j.indcrop.2015.03.073

(4) Shoma Maruyama, Hitoshi Takagi, Yoshitoshi Nakamura, Antonio Norio Nakagaito, Chizuru Sasaki

Influence of alkali treatment on mechanical properties of poly lactic acid bamboo fiber green composites, *Advanced Materials Research*, 査読有, 1110, 56-59, 2015
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1110.56

(5) Chikako Asada, Chizuru Sasaki, Takeshi Hirano, Yoshitoshi Nakamura

Chemical characteristics and enzymatic saccharification of lignocellulosic biomass treated using high-temperature saturated steam: Comparison of softwood and hardwood, *Bioresource Technology*, 査読有, 182, 245-250, 2015
DOI:10.1016/j.biortech.2015.02.005

(6) Sunita Basnet, Masaya Otsuka, Chizuru Sasaki, Chikako Asada, Yoshitoshi Nakamura

Functionalization of the active ingredients of Japanese green tea (*Camellia sinensis*) for the synthesis of bio-based epoxy resin, *Industrial Crops and Products*, 査読有, 73, 63-72, 2015
DOI:10.1016/j.indcrop.2015.03.091

(7) Chikako Asada, Sunita Basnet, Masaya Otsuka, Chizuru Sasaki, Yoshitoshi Nakamura

Epoxy resin synthesis using low molecular weight lignin separated from various lignocellulosic materials, *International Journal of Biological Macromolecules*, 査読有, 74, 413-419, 2015
DOI:10.1016/j.ijbiomac.2014.12.039

(8) Chikako Asada, Chizuru Sasaki, Tomoki Takamatsu, Yoshitoshi Nakamura

Conversion of steam-exploded cedar into ethanol using simultaneous saccharification, fermentation and detoxification process, *Bioresource Technology*, 査読有, 176, 203-209, 2015
DOI:10.1016/j.biortech.2014.11.039

(9) Chizuru Sasaki, Yohei Kushiki, Chikako Asada and Yoshitoshi Nakamura

Acetone-butanol-ethanol production by separate hydrolysis and fermentation (SHF) and simultaneous saccharification and fermentation (SSF) methods using acorns and wood chips of *Quercus acutissima* as a carbon source, *Industrial Crops and Products*, 査読有, 62, 286-292, 2014
DOI:10.1016/j.indcrop.2014.08.049

(10) Chizuru Sasaki, Masaki Ichitani, Ko-Ki Kunimoto, Chikako Asada and Yoshitoshi Nakamura

Extraction of arbutin and its comparative content in branches, leaves, stems, and fruits of Japanese pear *Pyrus pyrifolia* cv. Kousui, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 査読有, 78(5), 874-877, 2014
DOI:10.1080/09168451.2014.893185

(11) Chizuru Sasaki, Ryosuke Okumura, Chikako Asada and Yoshitoshi Nakamura

Steam explosion treatment for ethanol production from pear tree prunings by simultaneous saccharification and fermentation, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 査読有, 78(1), 160-166, 2014
DOI:10.1080/09168451.2014.877818

〔学会発表〕(計 14 件)

(1) 香川博之, 岡部義昭, 佐々木千鶴, 中村嘉利, 水蒸気爆砕リグニンを適用した樹脂コンポジット, 2016年3月16日, 第7回日本複合材料会議, 京都府民総合交流プラザ(京都府京都市)

(2) Chikako Asada, Chizuru Sasaki, Akihiro Suzuki, Yoshitoshi Nakamura, Development of biorefinary process of lignocellulosic material using steam explosion, *ECO-BIO2016*, 2016.3.7, Rotterdam, The Netherlands

(3) 香川博之, 岡部義昭, 佐々木千鶴, 中村嘉利, 水蒸気爆砕リグニンの高耐熱電気絶縁樹脂への適用研究, 2015年10月9日, 第65回ネットワークポリマー講演討論会, 新潟大学, (新潟県新潟市)

(4) Hiroyuki Kagawa, Yoshiaki Okabe, Chizuru Sasaki, Yoshitoshi Nakamura, Improvement of the glass transition temperature of epoxy resin hardened by steam exploded lignin, 19th Annual Green Chemistry & Engineering Conference, 2015.7.16, Washington D.C., USA

(5) 平野健, 淺田元子, 佐々木千鶴, 中村嘉利, 木質物質の性状変化と酵素糖化に及ぼす高温飽和水蒸気処理の影響, 2015年3月16-18日, 第65回日本木材学会大会, タワーホール船堀, (東京都江戸川区)

(6) 鈴木昭浩, 淺田元子, 佐々木千鶴, 中村嘉利, 吾郷万里子, 水蒸気爆砕を用いたセルロースナノファイバーの製造, 第65回日本木材学会大会, 2015年3月16-18日, タワーホール船堀, (東京都江戸川区)

(7) 香川博之, 岡部義昭, 佐々木千鶴, 中村嘉利, 木質リグニンをういたエポキシ樹脂とそのプリント回路基板への応用, 第29回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 2015年3月16-18日, 東京大学, (東京都文京区)

(8) Hiroyuki Kagawa, Yoshiaki Okabe, Chizuru Sasaki, Yoshitoshi Nakamura, Epoxy resin and its hardener from woody lignin obtained by steam explosion, IAWPS International Symposium on Wood Science and Technology 2015 (IAWPS 2015), 2015.3月15-17日, タワーホール船堀, (東京都江戸川区)

(9) 北條房郎, 中村嘉利, 佐々木千鶴, 香川博之, 水蒸気爆砕セルロース/樹脂コンポジットの形成, 第23回ポリマー材料フォーラム, 2014年11月6日-7, 奈良県新公会堂, (奈良県奈良市)

(10) 香川博之, 岡部義昭, 佐々木千鶴, 中村嘉利, 水蒸気爆砕リグニンの精製によるリグニン硬化エポキシ樹脂の高Tg化, 第64回ネットワークポリマー講演討論会, 2014年10月22日-24日, 関西大学, (大阪府吹田市)

(11) 岡部義昭, 中村嘉利, 佐々木千鶴, 香川博之, 水蒸気爆砕リグニンで硬化したエポキシ樹脂の電気特性と耐熱性, 第63回高分子討論会, 2014年9月24-26, 長崎大学, (長崎県長崎市)

(12) 北條房郎, 中村嘉利, 佐々木千鶴, 香川博之, 爆砕セルロース/エポキシ樹脂コンポジットの形成, 第63回高分子討論会, 2014年9月24-26, 長崎大学, (長崎県長崎市)

(13) 香川博之, 岡部義昭, 佐々木千鶴, 中村嘉利, 水蒸気爆砕リグニンの精製によるリグニン硬化エポキシ樹脂の高Tg化, 第63回高分子討論会, 2014年9月24-26, 長崎大学, (長崎県長崎市)

(14) 香川博之, 岡部義昭, 佐々木千鶴, 中村嘉利, リグニンの精製によるリグニン硬化エポキシ樹脂の高Tg化, 第59回リグニン討論会, 2014年9月11-12, 福井工業大学, (福井県福井市)

研究部・教授

研究者番号: 20172455

(2) 研究分担者

高木 均 (TAKAGI HITOSHI)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号: 20171423

宇都 義浩 (UTO YOSHIHIRO)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号: 20304553

佐々木 千鶴 (SASAKI CHIZURU)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・講師

研究者番号: 50452652

淺田 元子 (ASADA CHIKAKO)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・講師

研究者番号: 10580954

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 嘉利 (NAKAMURA YOSHITOSHI)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス