

令和元年6月21日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26241030

研究課題名(和文) バイオマス選択的溶解性イオン液体によるサステナブル材料科学の創成

研究課題名(英文) Research on sustainable sciences based on the use of biomass-dissolving ionic liquids

研究代表者

伊藤 敏幸 (ITO, Toshiyuki)

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号：50193503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,100,000円

研究成果の概要(和文)：セルロース、リグニンを溶解するイオン液体としてアミノ酸やアセタートを対アニオンとするイオン液体をデザインし、リジンアニオン([Lys])と1-メチル-1-メトキシエチルピロリジニウムカチオン([P1ME])と組合わせたイオン液体[P1ME][Lys]はセルロースとリグニンを共によく溶かし、一方、アセタートアニオンと[P1ME]を組合わせた[P1ME][OAc]はセルロースを非常に良く溶解することを見いだした。ついで、[P1ME][OAc]にセルロースを溶解し、ビニルエステルや2,2,2-トリフルオロエチルエステルを作用させると強酸や塩基触媒不要のセルロースの効率的アシル化が実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物体は地球上で究極の再生可能資源であるが、その成分であるセルロースやヘミセルロースとリグニンが絡み合っており構成されているため、各々を分離することは困難であった。本研究により、イオン液体を使うことで環境負荷の低い方法でセルロースとリグニンを分離できる可能性を明らかにした。ついで、この研究で開発したイオン液体にセルロースを溶解させ、容易に調製できるトリフルオロエチルエステルをアシル化剤に使用して、強ハロゲン化物や酸無水物などのアシル化剤、強酸あるいは強塩基触媒不要の中性条件によるセルロースのアシル化を達成した。セルロースを基盤とする再生可能材料の環境調和型合成法になると期待される。

研究成果の概要(英文)：We have developed ionic liquids that dissolved cellulose or lignin; 1-methyl-1-(2-methoxyethyl)pyrrolidinium([P1ME]) 2,5-diaminohexanoate ([P1ME][Lys]) easily dissolved both lignin and cellulose. On the other hand, 1-methyl-1-(2-methoxyethyl)pyrrolidinium acetate ([P1ME][OAc]) dissolved cellulose selectively. Further, we accomplished strong acid or strong base-catalyst free acylation of cellulose using [P1ME][OAc]. It was found that the cellulose solution of [P1ME][OAc] was treated with 2,2,2-trifluoroethyl benzoyl ester at 80 °C to afford the corresponding cellulose benzoate with a perfect degree of substitution in excellent yield.

研究分野：有機合成化学

キーワード：イオン液体 バイオマス セルロース溶解性液体 リグニン溶解性液体 セルロースアシル化

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

植物体は地球上で究極の再生可能資源であるが、その骨格はセルロースやヘミセルロースに芳香族環をもつフェニルプロパノイドの3次元網目構造体であるリグニンが絡み合って構成されている。このため、セルロース、ヘミセルロース、リグニン3成分の分離は容易ではない[1]。パルプ生産は木質バイオマスからセルロースを分離するプロセスであるが、硫化ナトリウムのような強アルカリを使用してリグニンとヘミセルロースを分解してセルロースを精製する。そこで、パルプ生産の過程で生じる廃棄物がパルプ生産の大きな問題になっている。このプロセスで生じたリグニン分解物である黒液はパルプ工場のエネルギー資源として活用されているが、もし、セルロースやリグニンを他の成分の構造を損なわずに分離することができればバイオマス資源のさらなる有効利用が可能になると期待される。また、セルロースの水酸基をアシル化したアシル化セルロースは環境に優しい繊維やフィルムとして古くから利用されてきた。しかし、セルロースは強固な水素結合ネットワークを形成しているため水や通常分子性液体に難溶であり、セルロース内の水酸基の化学修飾には強い塩基や酸触媒が不可欠であった。このため、環境に負荷をかけないセルロースの化学修飾法の開発が望まれていた。

2. 研究の目的

本研究では、セルロースとリグニンを選択的に溶解するイオン液体を開発し、木材バイオマスの各成分のいずれかを犠牲にせずに省エネ条件で分離抽出する方法を確立し、さらに、イオン液体溶媒を用いるセルロースやリグニンの化学修飾法を開発してバイオマス素材の資源化を達成することを目的とした。

3. 研究の方法

セルロース、リグニンを溶解するイオン液体としてアミノ酸あるいはアセタートアニオンを対アニオンとするイオン液体を合成して、そのセルロース溶解性やリグニン溶解性を調べた。また、イオン液体単独では粘性が高いため、非プロトン性極性溶媒であるジメチルスルホキシド(DMSO)、N,N-ジメチルホルムアミド(DMF)、N-メチルピロリドンなどと混合し、得られた混合溶媒の極性やプロトン受容能、セルロース溶解性を調べた。アミノ酸であるリジンを対アニオンとするピロリジニウムカチオンと組合わせたイオン液体、 $[P_{1ME}][Lys]$ はリグニンをよく溶かすことを見いだし、また、アラニンやアセタートを対アニオンとしてピロリジニウムカチオンと組合わせたイオン液体 $[P_{1ME}][Ala]$ 、 $[P_{1ME}][OAc]$ 、特にアセタート塩である $[P_{1ME}][OAc]$ がセルロースを良く溶解することを見いだした。ついで、 $[P_{1ME}][OAc]$ にセルロースを溶解させ、セルロースの水酸基をアシル化できるアシル化剤について検討した。

4. 研究成果

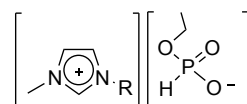
(1) セルロース、リグニン溶解性イオン液体のデザイン

セルロースの溶解性は、イオン液体を構成するアニオンに依存し、水素イオン受容能が大きなイオン液体がセルロースを良く溶解することが大野らにより指摘されている[2]。水素イオン受容能はソルバトクロミズムを利用した Kamlet-Taft パラメーターにおける β 値で見積もることができ[3]、セルロース溶解性を示すためには、なるべく粘性が低く β 値 0.8 以上が必要と考えられている[4]。そこで、粘性が低いことが知られているエチルホスホナートアニオン($[EtHPO_3^-]$)に固定し、1位側鎖に各種アルキル基を導入した 3-メチルイミダゾリウム塩を合成し (Figure 1)、その粘性と β 値とセルロース溶解性の関係を調べた。その結果、合成したイオン液体はいずれも β 値 1.0 以上を示し、良いセルロース溶解性を示した。なかでも 3-メトキシプロピル基を導入したイオン液体 5 (R= $CH_2CH_2CH_2OMe$)の粘度が最も低く、 β 値 1.12 を示し、室温でモデルセルロース(Avicel™)を 13% 溶解する性能を持つことがわかった。実際に、イオン液体 5 を用いて杉粉末からセルロースを抽出することができた[5]。

リグニンを選択的に溶解するイオン液体として、我々はリジンアニオン ($[Lys^-]$) と 1-メチル-1-メトキシエチルピロリジニウムカチオン ($[P_{1ME}]$)を組合わせたイオン液体 ($[P_{1ME}][Lys]$)

(Figure 2) が良いことを明らかにしている[6]。

$[P_{1ME}][Lys]$ は β 値 1.18 を示し、80°C以上ではセルロース、リグニンを共によく溶解するが、60°C程度で杉粉末や檜粉末を処理するとリグニンを選択的に抽出することができた[6]。



- 1: R= Et, 2: R= Bu 3: R= n-Hexyl
4: CH_2CH_2OMe , 5: $CH_2CH_2CH_2OMe$,
6: CH_2CH_2OPh

Figure 1. List of ethylphosphonate imidazolium salts

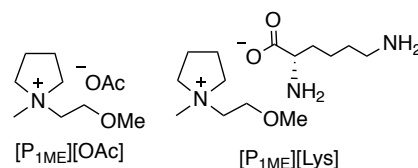


Figure 2. Developed ILs as cellulose and lignin dissolving agents.

さらに、 $[P_{IME}][Lys]$ と非プロトン性極性溶媒と混合すると、その β 値を保ちながら粘性が大幅に低下し、セルロース溶解性が高い混合溶媒を得ることができた。 $[P_{IME}][Lys]$ をDMFについてモル比0.3で加えた溶液 $[P_{IME}][Lys]$ -DMFは β 値1.2を示し、室温25°Cでセルロースを26%も溶解した[7]。この混合溶媒はセルロースを特に良く溶解し、竹粉末にこの液体を加えるとセルロースを選択的に抽出することができ、この操作でセルロースとリグニンに富む成分を分離することができた[7]。この操作で使用したイオン液体は、即座に回収処理をおこなうことで90%以上の収率で回収することができた。ただし、 $[P_{IME}][Lys]$ は水溶液中でアニオンが水酸化イオンに置換されやすく、回収操作中に生じた $[P_{IME}][OH]$ はリグニン溶解性、セルロース溶解性が共に低下すること、また $[P_{IME}][OH]$ は水溶液では安定であるが、濃縮すると不安定であることがわかった。また、リグニンの現在の用途を鑑みると $[P_{IME}][Lys]$ のコストが高すぎるという問題点も明らかになった。さらに、実験室レベルでは問題がないが、 $[P_{IME}][Lys]$ にバイオマスを溶かすとゲル状混合物となり、この混合物中の未溶解固体とイオン液体の分離が難しいため、 $[P_{IME}][Lys]$ を大規模なバイオマス処理に適応するためには難点があることがわかってきた。そこで、次の目標である「イオン液体溶媒を用いるバイオマス素材の化学修飾法の開発」に研究の力点を置いて研究を進めた。

(2) イオン液体を使用するセルロースの環境調和型アシル化反応の開発

セルロース誘導体は広範な分野で古くから利用されている。なかでもセルロースの水酸基をアシル化したセルロースは環境に優しい繊維やフィルムとして広く利用されている。例えばアセチル化セルロースは衣料やフィルターとして広く使われている。また、セルロースの芳香族カルボン酸エステルにおいては、芳香環を様々に修飾することで新しい機能材料になると期待される。しかし、セルロースは強固な水素結合ネットワークを形成しているため分子性液体に難溶であり、水酸基の化学修飾には酸触媒や、大量のピリジン存在下、過剰量の酸無水物や酸塩化物がアシル化に必要であった。酸触媒を使用するとアシル化の過程でセルロースが低分子化して繊維強度が落ち、廃棄物の無害化処理にコストがかかるという問題がある。従って、より環境に優しいセルロースのアシル化方法の開発が望まれていた。

最近、高橋らがイオン液体に溶解したセルロースを酢酸イソプロペニルなどの温和なアシル化剤で処理すると水酸基がアシル化されることを報告している[8]。この反応で副産物として生じるのはアセトンのみであり、完全に中性の条件でアセチル化が達成され、環境調和型のセルロースのアシル化法として注目される。そこで、この報告をヒントに、イオン液体法でセルロースのアシル化を検討することにした。イソプロペニルエステルに加えて、ビニルエステルもアシル化後に生じるビニルアルコールは即座にアセトアルデヒドに互変異性して揮発して反応系外にでるために優れたアシル化剤になると期待される。高橋らはアセチル化の報告のみであったが、様々な脂肪酸のビニルエステルが市販されている。そこで、各種脂肪酸のビニルエステルをアシル化に使用したところ、 $[P_{IME}][Lys]$ はセルロースを良く溶かすが、酢酸ビニルをモデルにアセチル化させても全くアセチル化が進行しないことがわかった。そこで改めてセルロース溶解性イオン液体の検討を行い、1-メチル-1-メトキシエチルピロリジニウムカチオン($[P_{IME}]$)とアセタートアニオンを組合わせたイオン液体 $[P_{IME}][OAc]$ が良いセルロース溶解性を示すことを見いだした。 $[P_{IME}][OAc]$ は β 値1.3と極めて大きく、 $[P_{IME}][OAc]$ に溶解させたセルロースに酢酸ビニルを作用させたところ、酢酸ビニルをわずか1.1当量使用するだけで、すべての水酸基がアセチル化されたアセチルセルロースを収率99%で得ることができた[9]。酪酸ビニル($R = n-C_3H_7$)では、生じたブチルエステルの置換度は完璧であったが、アセチルセルロースが副成するために収率は37%に留まり、酪酸ビニルの当量を増やしてもアセチルセルロースの生成量が増加するだけでブチルエステルの収率は向上しなかった。一方、パルミチン酸($n-C_{15}H_{31}$)ビニルをアシル化に使用した場合は、アセチル化物の副成もなく、パルミチン酸ビニル1.1当量使用するだけで、収率100%で置換度3.0のエステルが得られた[9]。得られたパルミチン酸セルロースから調製したフィルムは水を完全にはじき、疎水性のセルロース誘導体である。従来のアセチル化では酸無水物や酸クロリドを過剰量使用する必要があり、イオン液体と酢酸ビニルの組み合わせは画期的に効率的なアシル化法になると期待される[9]。

セルロースの芳香族カルボン酸エステルが簡便に合成できれば、再生可能資源を使用するポリマー材料になると期待される。そこで、次にベンゾイルエステル化に注目してアシル化剤の検討

を行った。イソプロペニルエステルやビニルエステルより容易に合成可能なアシルドナーデザインを検討し、2,2,2-トリフルオロエチルエステルが良いアシル化剤になることを見いだした。イオン液体 [P_{1ME}][OAc] に溶解したセルロースに 2,2,2-トリフルオロエチル=ベンゾエートを加えるとベンゾイル化セルロースが得られた (Figure 3)。得られたベンゾイル化セルロースは重クロロホルム (CDCl₃) に良く溶解し、置換度を見積もることができた。置換度はベンゼン環上の置換基に依存し、オルト位に官能基を持つ芳香族化合物では置換度が低下したが、パラ位に官能基がある場合は高い置換度を示し、特に単純なフェニル基では置換度 3 を示し、期待した環境調和型の芳香族カルボン酸エステル化が実現した [9]。この方法で、アゾ基で連結したビフェニルカルボン酸をセルロースにエステル結合で結合できることも明らかにした。合成できた薄黄色を示すセルロース誘導体のフィルムは 360nm の UV 照射を行うと、光励起でアゾ基部分が異性化するために 12 時間で紫色に変色し、このフィルムを暗所で加温するともとの薄黄色の色調に戻ることを確認することができた。このように、セルロースを素材とする新しい光応答性材料を創製することができた [9]。

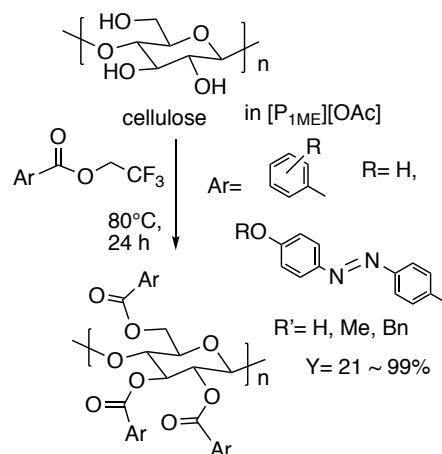


Figure 3. Synthesis of cellulose benzoate derivatives using [P_{1ME}][OAc] as a solvent.

(3) その他、イオン液体を活用する環境調和型有機合成反応並びに新材料の開発

本研究過程で多くのイオン液体を合成しその機能を調べた。このため、イオン液体を活用する様々な反応や材料開発をおこなうことができた。リパーゼ触媒アシル化反応の優れた溶媒になるイオン液体、リパーゼを安定化や活性化できるイオン液体、グリコシル化の α , β の立体選択性を制御できるイオン液体タグ、電解活性化による液相グリコシル化のための支持電解質になるイオン液体、シリコン電極のリチウム電池の優れた溶媒になるイオン液体、抵抗可変型メモリの電解質となるイオン液体、液式デシカント空調機のための除湿剤に使用できるイオン液体など、本プロジェクトから派生してイオン液体の新しい用途を開拓することができ、自由な展開が可能な科研費研究ならではの成果を上げることができたと思われる。

【参考文献】

- [1] Heinze, T. H. *Cellulose Derivatives Modification, Characterization, and Nanostructures*. ACS Symposium Series, Vol. 688, (1997), eds. T. H. Heinze and W. G. Glasser, American Chemical Society, Washington, DC.
- [2] Fukase, Y.; Hayashi, K.; Kim, S. S.; Ohno, H. *Cellulose Solvents: For Analysis, Shaping and Chemical Modification*, Ed. by Liebert, T.; Heinz, T. J.; Edgar, K. J. ACS Symposium Series, Vol. 1033, Chapter 2, pp. 55-66, Washington, DC (2010).
- [3] Kamlet, M. J.; Abboud, J. L.; Taft, R. W. *J. Am. Chem. Soc.*, **1977**, *99*, 6027.
- [4] Fukaya, Y.; Hayashi, K.; Wada, M.; Ohno, H. *Green Chem.*, **2008**, *10*, 44.
- [5] Fukaya, Y.; Asai, R.-i.; Kadotani, S.; Nokami, T.; Itoh, T. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2016**, *89*, 879.
- [6] Hamada, Y.; Yoshida, Y.; Asai, A.; Hayase, S.; Nokami, T.; Izumi, S.; Itoh, T. *Green Chem.* **2013**, *15*, 1863.
- [7] Dong, Y.; Takeshita, T.; Miyafuji, H.; Nokami, T.; Itoh, T. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **2018**, *91*, 398
- [8] R. Kakuchi, R. Ito, S. Nomura, H. Abroshan, K. Ninomiya, T. Ikai, K. Maeda, H.-J. Kim, K. Takahashi, *RSC Adv.* **2017**, *7*, 9423.
- [9] Takeshita, T.; Kitagawa, A.; Yokosu, F.; Matsumoto, R.; Nokami, T.; Itoh, T. *Australian J. Chem.* **2019**, *72*, 61.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 42 件)

①セルロース、リグニン溶解性イオン液体のデザイン

- 1) Direct Extraction of Polysaccharides from Moso Bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) Chips Using a Mixed Solvent System of an Amino Acid Ionic Liquid with Polar Aprotic Solvent, Dong, Y.; Takeshita, T.; Miyafuji, H.;* Nokami, T.; Itoh, T.* *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **2018**, *91*, 398-404. DOI:10.1246/bcsj.20170383. (査読有り)
- 2) Effects of the ether oxygen atom in alkyl side chains on the physical properties of piperidinium ionic liquids, Nokami, T.*; Yamashita, T.; Komura, T.; Handa, N.; Shimizu, M.; Yamaguchi, K.; Domi, Y.; Usui, H.; Sakaguchi, H.; Itoh, T.* *Faraday Discuss.*, **2018**, *206*, 523-534. DOI: 10.1039/C7FD00142H. (査読有り)
- 3) Extraction of polysaccharides from Japanese cedar using phosphonate-derived polar ionic liquids having

functional groups, Fukaya, Y.;* Asai, R.-i.; Kadotani, S.; Nokami, T.; Itoh, T.* *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2016**, *89*, 879-886. <https://doi.org/10.1246/bcsj.20160073> (査読有り)

②イオン液体を使用するセルロースの環境調和型アシル化反応の開発

4) Design of acyl donor for environmental benign acylation of cellulose using an ionic liquid, Takeshita, T.; Kitagawa, A.; Yokosu, F.; Matsumoto, R.; Nokami, T.; Itoh, T.* *Australian J. Chem.* **2019**, *72*, 61-69. DOI: <https://www.publish.csiro.au/CH/CH18253> (査読有り)

③その他, イオン液体を活用する環境調和型有機合成反応並びに新材料の開発

5) Design of Ionic Liquids as Liquid Desiccant for an Air Conditioning System, Watanabe, H.; Komura, T.; Matsumoto, R.; Ito, K.; Nakayama, H.; Nokami, T.; Itoh, T.* *Green Energy & Environment*, **2019**, *4*, 139-148. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.gee.2018.12.005> (査読有り)

6) Synthesis of gem-Difluoromethylene Containing Cycloalkenes via Ring-opening Reaction of gem-Difluorocyclopropanes and Subsequent RCM Reaction, Masuhara, Y.; Tanaka, T.; Takenaka, H.; Hayase, S.; Nokami, T.; Itoh, T.* *J. Org. Chem.* **2019**, *84*, 5440-5449. DOI: 10.1021/acs.joc.9b00415 (査読有り)

7) Mixed-Electrolytes-Driven Stereoselective Electrochemical Glycosylation, Isoda, Y.; Kitamura, K.; Takahashi, S.; Nokami, T.*; Itoh, T.* *ChemElectroChem* . **2019**, *6*, in press. DOI: 10.1002/celec.201900215 (査読有り)

8) Enhanced activity and modified substrate-favoritism of Burkholderia cepacia lipase by the treatment with a pyridinium alkyl-PEG sulfate ionic liquid, Kadotani, S.; Nokami, T.; Itoh, T.* *Tetrahedron*, **2019**, *75*, 441-447. DOI: 10.1016/j.tet.2018.12.028 (査読有り)

9) 液体を使いこなした先端機能材料 4 「イオン液体の進化」 ドラッグデリバリー基剤や次世代メモリの性能アップに使う, 伊藤敏幸, *化学と工業*, **2019**, *72* (1), 19-21. (査読有り)

10) Ionic Liquids as Tool to Improve Enzymatic Organic Synthesis, Itoh, T. *Chem. Rev.* **2017**, *117*, 10567-10607. DOI: 10.1021/acs.chemrev.7b00158. (査読有り)

◎その他 **32 件省略**

[学会発表] (計 83 件)

1) Itoh, T. Design of Ionic Liquids for Materials Sciences, The 13th International Symposium on Organic Reactions (ISOR-13), 2018 年, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan 30050, 台湾, プレナリー講演

2) 北川瑛久, 竹下登喜雄, 野上敏材, 伊藤敏幸, イオン液体を用いるセルロースのアシル化のためのアシルドナーデザイン, 3 I 2-04, 日本化学会第 98 春季年会, 日本化学会, 2018 年, 日本大学理工学部習志野キャンパス

3) 伊藤敏幸, セルロース溶解性イオン液体のデザイン, 第 51 回先端繊維素材研究委員会 (AFMc)ミニシンポジウム, 先端繊維素材研究委員会, 2017 年, 京都大学宇治キャンパス碧水舎, 招待講演

◎その他 **80 件省略**

[図書] (計 8 件)

1) Activation of lipase-catalyzed reactions using ionic liquids for organic synthesis, Itoh, T. “Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology”, Eds. Koo, Y.-M.; Itoh, T. Springer/Nature, pp. 1-26 (2018). DOI: 10.1007/10_2018_62

2) Chapter 6 Sustainable Organic Synthesis Using Ionic Liquids, Itoh, T.; Nokami, T. “Sustainable Catalysis in Ionic Liquids”, Ed. P. Lozano, CRC Press, Taylor & Francis Group, UK, pp.111-134 (2018). ISBN: 9781351372732

3) 7 章 イオン液体溶媒による固定化リパーゼの繰り返し利用システム, 伊藤敏幸, 「細胞・生体分子の固定化と機能発現」, 監修黒田章夫, CMC 出版, 東京(2018), ISBN: 978-4-7813-1326-9.

4) Biotransformation in ionic liquid, Itoh, T. “Future Directions in Biocatalysis” 2nd Edition, Ed. T. Matsuda, Elsevier Bioscience, The Netherlands, Chapter 2, pp. 27-68 (2017). ISBN: 978-0-444-63743-7

5) 第 10 章イオン液体の設計・合成・精製・再生の最近の進歩, 伊藤敏幸, 「イオン液体研究最前線と社会実装」, 監修: 渡邊正義, CMC 出版, 東京, pp. 96-108 (2016). ISBN 978-4-7813-1227-9C3043

6) Chapter 5: Ionic liquid mediated activation of lipase-catalyzed reaction, Itoh, T. “Ionic Liquids-Current State of the Art”, Ed. S. Handay, InTech, Croatia, pp. 121-137 (2015). ISBN 978-953-51-4132-7

7) 有機溶媒やイオン液体を溶媒に用いたリパーゼ触媒による光学活性アルコールの合成 (23 章生物化学的合成法, 23.5), 伊藤敏幸, 有機合成実験法ハンドブック, 有機合成化学協会編, 丸善出版, 東京 (2015), ISBN 978-4621034538

8) イオン液体を用いたリグノセルロースの三成分分離技術(第 2 章セルロースのマイクロファイブリル化, ナノファイバー化, 第 8 節), 伊藤敏幸, セルロースナノファイバーの調製, 分散・複

[産業財産権]

○取得状況 (計 2 件)

名称：セルロース系バイオマスの処理方法
発明者：伊藤敏幸, 鈴木和彦, 天野良彦
権利者：国立大学法人 鳥取大学, 信州大学
種類：特許
番号：第 6108559 号
取得年：2015 年
国内外の別： 国内

名称：リグニン溶解性イオン液体を使用したバイオマスからのリグニンの製造方法, 及びリグニン, ヘミセルロース, 及びセルロースの製造方法
発明者：伊藤敏幸
権利者：国立大学法人 鳥取大学
種類：特許
番号：第 57946094 号
取得年：2017 年
国内外の別： 国内

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：深谷 幸信

ローマ字氏名：FUKAYA, yukinobu

所属研究機関名：鳥取大学

部局名：工学研究科

職名：特命准教授

研究者番号 (8 桁)：00714932

研究分担者氏名：菅沼 学史

ローマ字氏名：SUGANUMA, satoshi

所属研究機関名：鳥取大学

部局名：工学研究科

職名：助教

研究者番号 (8 桁)：90731753

※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。