

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：15101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25550091

研究課題名(和文)イオン液体で拓くグリーン・バイオマス科学

研究課題名(英文)Green Biomass Sciences Progressed by Ionic Liquids Technology

研究代表者

伊藤 敏幸 (Itoh, Toshiyuki)

鳥取大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50193503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：リグニン可溶イオン液体としてN-メチル-N-(2-メトキシエチル)ピロリジニウム=リジン([P1ME][Lys])を創製した。このイオン液体に10wt%の杉粉末を加えて60℃で12～16時間攪拌後にイオン液体層を分離し、エタノールもしくは水で希釈するとリグニンが析出した。イオン液体を分離した残渣をアルカリ水溶液で抽出するとヘミセルロースが得られ、セルロースが未溶解画分として残り、杉由来リグノセルロース3成分分離を達成した。次に、-アラニンをアニオンとする[P444MP][⁻-ala]が含水条件でセルロース溶解性を示すことを見いだした。

研究成果の概要(英文)：We have found that N-methyl-N-(2-methoxyethyl)pyrrolidinium 2,6-diaminohexanoate ([P1ME][Lys]) dissolved lignin very well at below 60 °C, but that 80 °C was required for it to dissolve cellulose. Taking advantage of this difference in dissolution ability, direct extraction of lignin from wood biomass has been accomplished under mild conditions without use of any hazardous reagents. We have thus achieved the demonstration of the sacrifice-free separation of cellulose, hemicellulose, and lignin from wood biomass (Japanese cedar: *Cryptomeria japonica*). We next attempted to design ILs that could dissolve a wet cellulose; among tested ILs, tributyl(3-methoxypropyl)phosphonium ⁻-alanine ([P444MP][⁻-Ala]) showed the highest polarity and dissolved 5 wt% of wet cellulose which included water (1 eq. vs IL ion pair).

研究分野：環境学

キーワード：イオン液体 リグノセルロース リグニン溶解性 セルロース溶解性 3成分分離 アミノ酸 再生使用

1. 研究開始当初の背景

バイオマスは人類の生活に不可欠な資源であり、バイオマスの主成分としてセルロース、ヘミセルロース、リグニンは自然界に大量に存在するサスティナブル資源として古くから使われてきた[1]。しかし、従来、セルロースを利用するためにはリグニンを分解する必要があり、リグニンを得るにはセルロースを分解しなくてはならず、各々を効率的に分離して取り出すよい方法がなかった。たとえば、セルロースを利用するための化学パルプ生産は苛性ソーダの濃厚水溶液を加えて高温で加熱してリグニンを分解するのが最初の工程になる。この過程でリグニンやヘミセルロースは分解されてしまい、燃料以外には使い道が無くなってしまい、苛性ソーダの濃厚水溶液は危険性が高く、環境に放出するためには中和するための酸も必要になる[2]。一方、リグニンを得る方法として、セルロースを加水分解して除去するために72%硫酸中フェノール溶液で長時間攪拌する方法[3]、あるいは、22MPaという高压下300の亜臨界水で処理する方法が知られていた[4]。前者はリグノフェノールを一挙に得る方法であるが、高濃度硫酸や毒性の高いフェノールを溶媒に使用するなど環境負荷が高い。後者の亜臨界水処理はクリーンな方法であるが大規模な装置が不可欠であり、エネルギー収支に難点がある。最も深刻な問題は、いずれの方法もリグニンを得るためにはセルロースを犠牲にしていることにある。バイオマスの3成分について、各々を犠牲にすることなく分離することはサスティナブル資源開拓の観点から重要な研究課題であるが、今日までそのような方法論は構築されていなかった。

2. 研究の目的

イオン液体は不揮発性であり再生して何度も利用でき、様々な物質を溶解する機能をデザインできる新しい液体である[5]。そこで、本研究ではイオン液体に着目し、セルロースやリグニンを選択的に溶解するイオン液体のデザインを検討することで、木材や植物などのバイオマスから、環境に負荷をかけずに各々を抽出するという方法論による低環境負荷型のバイオマス資源化法の開発をめざして研究を行うことにした。

3. 研究の方法

イオン液体は室温で液体状態をとる塩であり、様々な有機物や無機物に対する特異な溶解性、不揮発性で難燃性を示し、水や有機溶媒と異なる「第3の液体」である[5]。揮発しにくいために簡単な再生処理で何度も繰り返して利用できるという大きな特長がある。最近、セルロースを溶解するイオン液体が見つかり、イオン液体に溶解後に

再析出させるとセルロースの結晶構造が劣化して酵素による糖化速度が飛躍的に向上することがわかった[6]。このため、セルロースを原料とするバイオアルコール生産のため、セルロース溶解力の大きいイオン液体の開発が世界中で競われている[7]。我々は、セルロース加水分解酵素であるセルラーゼの構造にセルロース溶解性イオン液体をデザインするためのヒントがあると考え、セルラーゼのセルロース結合サイトに着目することで、新しいセルロース溶解性イオン液体([N_{221ME}][Ala])を合成することができた[8]。

セルロースを溶かすイオン液体はリグニンも溶解できることが最近報告されている[9]。そこで、この研究を基盤に、リグニンを選択的に溶解できるイオン液体のデザインを検討することにした。イオン液体を構成するアニオンはアミノ酸に絞り、カチオンとアミノ酸の組み合わせを探り、リグニンを溶解できるアミノ酸イオン液体の構造最適化を検討した。溶解するリグニンは市販クラフトリグニン(lignin, alkali; Aldrich 471003-100G)をモデル化合物として使用した。このようにして創製したリグニン溶解性イオン液体を活用し、木質バイオマスの3成分を各々を犠牲にすることなく分離する方法を検討した。

4. 研究成果

(1) リグニン可溶性イオン液体デザイン

まず、セルロース溶解で好結果を与えたアラニンに対アニオンに固定し、カチオン部分について調べた。セルロース溶解性は4級アンモニウムカチオンが良かったがリグニン溶解性はN-メチル-N-(2-メトキシエチル)ピロリジニウムカチオン([P_{1ME}])が良いことがわかった(Fig.1)。

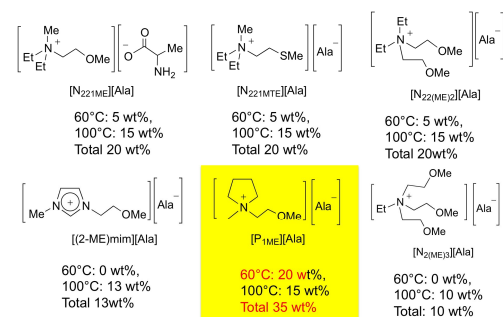


Fig. 1. Solubility of lignin in various types of alanine salts ionic liquids

そこで、カチオンを[P_{1ME}]に固定して、20種の天然アミノ酸に対アニオンとするイオン液体を合成してリグニンの溶解性を

調べたところ、リジン塩であるN-メチル-N-(2-メトキシエチル)ピロリジニウム=リジン([P_{1ME}][Lys])がモデルに使用した市販リグニンを最もよく溶解し、60 で15重量% (wt%)、100 で55wt%のリグニンを溶解することがわかった[10]。このイオン液体はセルロースも溶解することができたが、セルロース溶解には80以上の温度が必要であった。そこで、この溶解性の違いを利用して木材粉末からリグニンを選択的に抽出することを検討した。

(2) 木材粉末からのリグニン抽出

[P_{1ME}][Lys]に減圧乾燥した杉粉末(10 wt%)を加えて60 で12時間~16時間攪拌するとゼリー状の溶液が得られた。この溶液について遠心分離してイオン液体溶液と未溶解部分を分離し、イオン液体溶液画分をエタノール希釈すると、使用した杉粉末の13wt%に相当する褐色粉末が析出した。析出物の¹³C NMR、IR分析の結果、リグニン由来のフェニル基が存在していることが確認され、MALDI-TOF-MS分析の結果、分子量は4万以上であることがわかった。一方、今回リグニン溶解性を調べる際にモデル物質として使用した市販リグニンは分子量3500~7000程度であった。

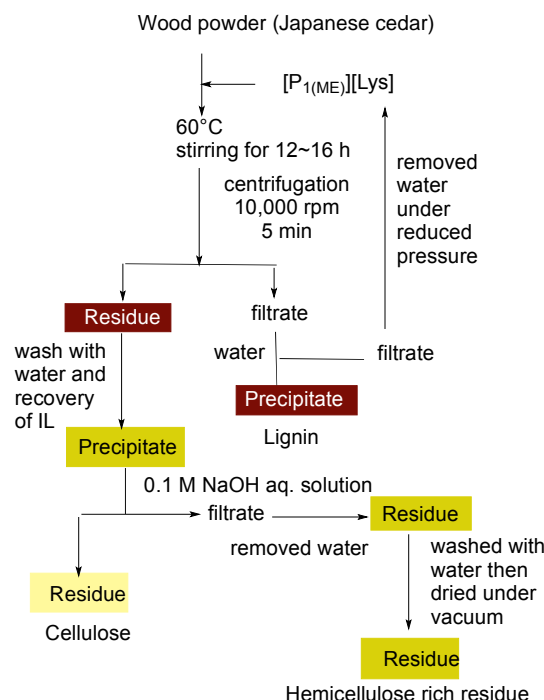


Fig.2. Lignin extraction protocol using [P_{1ME}][Lys]

イオン液体未溶解画分は水洗浄を行い、ついで0.1 M NaOH水溶液で抽出するとヘミセルロースが抽出され、この処理で残

った残渣を水で洗浄後に乾燥するとセルロースが得られた。回収したセルロースはXRD分析の結果、その結晶構造は天然のI型を保持していた。イオン液体を使用することで、いずれの成分も犠牲にせずに、木材中のセルロースとリグニンの分離が達成できたことになる(Fig.2)[10]。

リグニンはフェノール骨格を有することが知られているが、セルロースやヘミセルロースと異なり特定のモノマー構造を持たないため、詳細な構造はいまだに確定していない。さらに、多糖類類似の分子骨格を持つために正確なリグニン含量を調べることは難しい[1]。このため、フェノール官能基に着目してリグニン含量を見積もるClarson法がリグニンの定量に一般的に使用されている[11]。今回、抽出実験に使用したスギ木材粉末中のリグニン含量をClarson法で調べたところ、16.5 wt%であった。従ってほぼ78%のリグニンがイオン液体で抽出できたと考えられる[10]。

リグニンを芳香族化合物資源として利用するためには、バイオマス起源によるリグニンのライブラリーが必要になる。イオン液体[P_{1ME}][Lys]を用いると木材粉末から温和な条件でリグニンを抽出でき、大きな構造変化を受けていないリグニンが得られたと期待される。そこで、得られたリグニンをMALDI-TOF-MS分析すると興味深い結果が得られた[10]。杉と檜から抽出したリグニンのMSスペクトルはよく類似しているがラワンとは全く異なっていた。杉と檜のリグニンは複雑な構成成分からなるが、ラワンはm/z=196+197*nの比較的単純な成分が多く含まれていることがわかった。リグニンはセルロースやヘミセルロースを接着して植物組織の構造強度を保つ機能を果たしていると考えられている[1]。ラワンは杉や檜に較べると柔らかい木材であり、リグニンの成分の違いが木材の性質に反映していることが良く理解できる。

バイオマス起源によるリグニンのライブラリー構築のため、イオン液体を[P_{1ME}][Lys]に固定化し、バイオマス素材によるリグニン抽出量を調べたところ、使用する素材により抽出物に大きな違いが認められた。稲わらを[P_{1ME}][Lys]で抽出したところ、イオン液体溶液から28wt%という大量の析出物が得られたが、フェニル基存在比は極めて低く、析出物の大部分はセルロースもしくはヘミセルロースであると推定された[12]。従って、[P_{1ME}][Lys]は杉粉末のリグニン抽出には有効であるが、稲わらに

は適していないと考えられる。従って、バイオマス素材に応じたイオン液体を選択する必要があると思われる。

(3)イオン液体混合溶媒システムによるバイオマス溶解

DMSO や DMI などの非プロトン性極性溶媒に塩化リチウムなどの無機塩を添加するとセルロース溶解性を示すことが知られている[13]。イオン液体は塩そのものである。そこで、DMSO もしくはアセトニトリルに[N₂₂₁ME][Ala]を添加してセルロース溶解性を調べたところいずれもセルロースを溶解することがわかった。そこで、[P_{1ME}][Lys]とアセトニトリル(1:1)混合液について60℃で杉粉末からのリグニン抽出を試みたが析出物量は10wt%未満に留まり、また析出物のフェニル基存在比率も低いことがわかった。バイオマス起源によるリグニンのライブラリー構築を実現するためには、リグニン溶出のメカニズムを含め、さらに詳細に抽出条件を検討する必要があると思われる。

(4) 含水状態でセルロースを溶解できるイオン液体の開発

リグニンやセルロースを含むバイオマスには多くの水分が含まれている。これまで報告されている極性イオン液体は水を添加するとリグニンやセルロースの溶解能が著しく低下し、本研究で開発したアミノ酸イオン液体[P_{1ME}][Lys]や[N₂₂₁ME][Ala]についても、含水サンプルを用いると抽出量が激減した。そこで含水状態においてもセルロースやリグニンを溶解できる極性イオン液体のデザインを検討した。水存在下でも極性部位を形成できるアミノ酸アニオンを有する高極性ホスホニウム塩を合成し、まず、セルロース溶解性を調べた。Kamlet-Taftパラメータ[14]を用いて、イオン液体の極性評価を行った結果、 β -アラニン及びメトキシ酢酸をアニオンとする[P_{444MP}]イオン液体がよいことがわかった。 β -アラニンをアニオンとするイオン液体[P_{444MP}][β -Ala]は、含水状態でも高い水素結合能を示し、実際に、[P_{444MP}][β -Ala]は1水和の状態でも80℃で5wt%、2水和で1wt%のセルロースを溶解した。ただしリグニンの溶解性は[P_{1MEM}][Lys]に及ばなかった。本研究で開発できた二つの鍵イオン液体[P_{1ME}][Lys]と[P_{444MP}][β -Ala]の構造をFig.3に示した。

なお、本研究の遂行のために多種多様なイオン液体を合成する必要がある。そこでマイクロリアクターを用いるイオン液体

合成についても研究を行い、マイクロリアクターを用いるイオン液体合成法を開発した[15]。

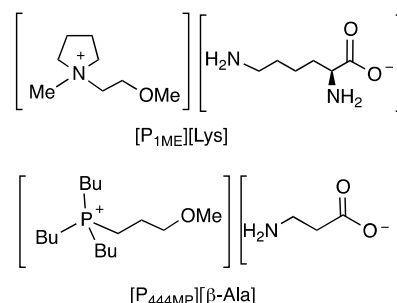


Fig.3. Key ILs developed by this study

参考文献

- [1] (a) J. Zakzeski, P. C. Bruijninx, A. L. Jongorius, B. M. Weckhuysen, *Chem. Rev.*, **2010**, *110*, 3552. (b) A. Pinkert, K. N. Marsh, S. Pang, M. P. Staiger, *Chem. Rev.*, **2009**, *109*, 6712.
- [2] (a) O. A. El Seoud, A. Koschella, L. C. Fidale, S. Dorn, T. Heinze, *Biomacromolecules*, **2007**, *8*, 2629. (b) <http://www.hokutsu-kishu.jp/environment/energy1.html>
- [3] M. Funaoka, M. Mstsubara, N. Seki, S. Fukastu, *Biotechnol. Bioeng.* **1995**, *46*, 545.
- [4] M. Sasaki, T. Adschiri, K. Arai, *Bioresource Technol.* **2003**, *86*, 301.
- [5] Reviews of ILs, see. (a) P. Wasserscheid, T. Welton, T. (Eds), *Ionic Liquids in Synthesis*, Wiley-VCH Verlag, **2008**.
- [6] R. P. Swatloski, S. K. Spear, J. D. Holbrey, R. D. Rogers, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 4974.
- [7] Y. Fukase, K. Hayashi, S. S. Kim, H. Ohno, in "Cellulose Solvents: For Analysis, Shaping and Chemical Modification", Ed. by T. Liebert, T. J. Heinz, K. J. Edgar, *ACS Symposium Series*, Vol. 1033, Chapter 2, pp. 55-66, Washington, DC, **2010**.
- [8] K. Ohira, Y. Abe, K. Suzuki, M. Mizuno, Y. Amano, T. Itoh, *ChemSusChem*. **2012**, *5*, 388
- [9] I. Kilpeläinen, H. Xie, A. King, M. Granstrom, S. Heilkkinen, D. S. Argyropoulos, *J. Agric. Food Chem.*, **2007**, *55*, 9142-9148
- [10] Hamada, Y.; Yoshida, Y.; Asai, A.; Hayase, S.; Nokami, T.; Izumi, S.; Itoh, T. *Green Chem.* **2013**, *15*, 1863-1868.
- [11] N. Phaiboonsilpa, K. Yamauchi, X. Lu, S. Saka, *J. Wood Sci.*, **2010**, *56*, 331-338.
- [12] T. Itoh, Y. Hamada, K. Yoshida, R. Asai, Y. Fukaya, T. Nokami, Sacrifice-free Three Component Separation of Lignocellulose from Wood Biomass Using Amino Acid Ionic Liquids, 4th International Congress on Green Process Engineering, 4/7-11/2014, Sevilla

(Spain), Keynote lecturer.

[13] R. Rinaldi, *Chem. Commun.* **2011**, 47, 511.

[14] M. J. Kamlet, R. W. Taft, *J. Am. Chem. Soc.* **1976**, 98, 2886.

[15] T. Nokami, K. Matsumoto, T. Itoh, Y. Fukaya, T. Itoh, *Org. Process Res. Dev.* **2014**, 18, 1367.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 10 件) 査読付論文のみ

1) Lipase-mediated Dynamic Kinetic Resolution (DKR) of Secondary Alcohols in the Presence of Zeolite Using an Ionic Liquid Solvent System, Shimomura, K.; Harami, H.; Matsubara, Y.; Nokami, T.; Katada, N.; Itoh, T.* *Catalysis Today*, **2015**, 242, in press. DOI: 10.1016/j.cattod.2014.10.052.

2) Development of n-Type Semiconductor Based on Cyclopentene or Cyclohexene-fused [C₆₀]-Fullerene Derivatives, Yamane Y.; Sugawara K.; Nakamura, N.; Hayase, S.; Nokami, T.; Itoh, T.* *J. Org. Chem.* **2015**, 80, 4638-4649.

3) Automated Electrochemical Assembly of the Protected Potential TMG-chitotriomycin Precursor Based on Rational Optimization of the Carbohydrate Building Block, Nokami, T.*; Isoda, Y.*; Sasaki, N.*; Takaiso, A.*; Hayase, S.*; Itoh, T.*; Shimizu, A.*; Hayashi, R.*; Yoshida, J.* *Org. Lett.*, **2015**, 17, 1525-1528.

4) Effect of Cation Structure of Ionic Liquids on Anode Properties of Si Electrodes for LIB, Shimizu, M.; Usui, H.; Matsumoto, K.; Nokami, T.; Itoh, T.*; Sakaguchi, H. *J. Electrochem. Soc.* **2014**, 161(12), A1765-A1771.

5) Continuous Flow Synthesis of Ionic Liquids Equipped with 2-Methoxyethoxymethyl/Methoxymethyl Groups Using a Simple Microreactor System, Nokami, T.; Matsumoto, K.; Itoh, T.; Fukaya, Y. Itoh, T.* *Org. Process Res. Dev.* **2014**, 18, 1367-1371.

6) Synthesis of gem-Difluoromethylene Building Blocks through Regioselective Allylation of gem-Difluorocyclopropanes, Munemori, D.; Narita, K.; Nokami, T.; Itoh, T.* *Org. Lett.*, **2014**, 16, 2638-2641.

7) Enantioselective Allylic Amination of Trifluoromethyl Group Substituted Racemic and Unsymmetrical 1,3-Disubstituted Allylic Esters by Palladium Catalysts, Kawatsura, M.; Terasaki, S.; Minakawa, M.; Hirakawa, T.; Ikeda, K.; Itoh, T.* *Org. Lett.*, **2014**, 16, 2443-2445.

8) Iron-catalyzed Nazarov Reaction of Indole, Benzofuran, and Benzo[b]thiophene Derivatives, Sakae, M.; Oshitani, S.; Ibara, C.; Natsuyama, M.; Nokami, T.; Itoh, T.* *Heteroatom Chem.* **2014**, 25, 482-490.

9) Possible Means of Realizing a Sacrifice-free Three Component Separation of Lignocellulose from Wood Biomass Using an Amino Acid Ionic Liquid, Hamada, Y.; Yoshida, Y.; Asai, A.; Hayase, S.; Nokami, T.; Izumi, S.; Itoh, T.* *Green Chem.* **2013**, 15, 1863-1868.

10) Synergetic Activation of Lipase by an Amino Acid with Alkyl-PEG-sulfate Ionic Liquid, Yoshiyama, K.; Abe, Y.; Hayase, S.; Nokami, T.; Itoh, T.* *Chem. Lett.* **2013**, 42, 663-665. Editor's choice.

〔学会発表〕(計 10 件)

・招待講演, 基調講演, プレナリー講演のみ

1) Toshiyuki Itoh, "Development of Ionic Liquid Type Activating Agents for Lipase-catalyzed Asymmetric Transesterification, 2014 Sophia Symposium on Ionic Liquids, Sophia University, 10/31/2014, Plenary lecturer.

2) Toshiyuki Itoh, Sacrifice-free Three Component Separation of Lignocellulose from Wood Biomass Using Amino Acid Ionic Liquids, International Forum on Green Integrative Biotechnology (IF-GIB), Tsinghua University, 10/22/2014, Beijing, China, Invited.

3) 野上敏材, 伊藤敏幸, イオン液体とフローリアクター反応, 岡山マイクロリアクターネットワーク講演会, 10/17/2014, 岡山大学, 招待講演

4) Yui Matsubara, Hiroyuki Harami, Yukinobu Fukaya, Toshiki Nokami, Toshiyuki Itoh*, Phosphonium Alkyl-PEG Sulfate Ionic Liquids as a Novel Activating Agents for Lipase, 4th Asia-Pacific Conference on Ionic Liquids and Green Processes / 6th Australasian Symposium on Ionic Liquids (APCIL-4/ASIL-6 2014), 9/28-10/1/2014, Sydney (Australia), Keynote lecturer.

5) Toshiyuki Itoh, Development of Ionic Liquid Type Activating Agents for Lipase-catalyzed Asymmetric Transesterification, International Symposium on Advanced Biological Engineering (ISABE 2014) 9/2-3/2014, Tsinghua University, Beijing, China, Plenary lecturer.

6) 伊藤敏幸, セルロースおよびリグニン溶解性イオン液体のデザイン, 平成26年度イオン液体研究会, 6/17/2014, 東京工業大学大岡山キャンパス 西9号館2階 デジタル多目的ホール, 特別講演

7) Toshiyuki Itoh*, Yuko Hamada, Kohei

Yoshida, Ryo-ichi Asai, Yukinobu Fukaya, Toshiki Nokami, Sacrifice-free Three Component Separation of Lignocellulose from Wood Biomass Using Amino Acid Ionic Liquids, 4th International Congress on Green Process Engineering, 4/7-11/2014, Sevilla (Spain), Keynote lecturer.

8) 伊藤敏幸, イオン液体によるリグノセルロースの三成分分離法, 経済産業省中国経済産業局補助事業, 平成25年度バイオマス・ファインケミカルズ・リファイナリー産業創出事業『バイオマス・ファインケミカルズ・リファイナリー・セミナー』～セルロースナノファイバーの現状と展望～, 2014年1月24日, 岡山市ピュアリティまきび 2F「孔雀」招待講演

9) Toshiyuki Itoh*, Yuko Hamada, Kohei Yoshida, Ryo-ichi Asai, Toshiki Nokami, Realizing a Sacrifice-free Three Component Separation of Lignocellulose from Wood Biomass Using an Amino Acid Ionic Liquid, WBS 2013 World Bioenergy Symposium, Sept 29- Oct 03/2013, Rio de Janeiro, Brazil, invited.

10) Toshiyuki Itoh*, Yuko Hamada, Kohei Yoshida, Ryo-ichi Asai, Design of Ionic Liquids for Direct Lignin Extraction from Wood Chips, 5th Congress on Ionic Liquids, O-49, Algarve, Portugal, April 21-25/2013.

〔図書〕(計 8 件)

1) 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ィブリル化, 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・複合化と製品応用-分離・分離技術/表面改質/凝集対策-, 情報技術協会(東京), pp 171-180 (2015)

2) 16章 セルロース溶解性のイオン液体, 伊藤敏幸, CSJ カレントレビュー17, 「極限環境の生体分子-過酷な環境下での機能を科学する-, 日本化学会編, 化学同人, pp. 140-147 (2014). ISBN 978-4-7598-1377-7 C3343.

3) Organic Synthesis using an Ionic Liquid as a Reaction Medium (Chapter 2), Itoh, T., "Environmentally Friendly Syntheses Using Ionic Liquids", Eds. Dupont, J.; Itoh, T.; Lozano, P.; Malhotra, S. V. CRC Press, Taylor & Francis Group (New York), pp.9-30 (2014), ISBN 978-1-4665-7976-7.

4) Ionic liquid mediated activation of lipase-catalyzed reaction, Itoh, T. Ed. Handay, S. "Ionic Liquids", InTech, Croatia, pp121-137 (2014). ISBN

978-953-51-4132-7.

5) 23章生物化学的合成法, 23.5 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, 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(2014), ISBN 978-4621034538

6) Design of ionic liquids for cellulose dissolution, Itoh, T.: Eds: Zhen Fang, Richard, L. Smith, Jr., Xinhua, Q I, Production of Biofuels and Chemicals with Ionic Liquids, Biofuels and Biorefineries Volume 1, Springer (New York), pp-91-106 (2014), ISBN 978-94-007-7710-1.

7) 第4章, 化学合成技術, 4.6.b.液-液異相系反応: イオン液体・フルオラス液体, 伊藤敏幸, 化学便覧 応用化学編 第7版, 編集委員長辰巳敬, 公益社団法人日本化学会, 丸善出版(東京), (2014). ISBN 978-4-621-08759-6

8) 第3章2節: イオン液体を溶媒に用いた光学活性アルコールの合成, 伊藤敏幸, 新しい溶媒を用いた有機合成, S&T出版(東京), pp. 184-194 (2013). ISBN 978-4-907002-10-7

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

http://www.cjrd.tottori-u.ac.jp/seeds/cgi/Disp.cgi?data_num=20121211105312

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤敏幸 (ITOH, Toshiyuki)
鳥取大学・工学研究科・教授
研究者番号: 50193503

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし