

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2009～2013

課題番号：21225007

研究課題名(和文) バイオサイエンスを支えるイオン液体の開発

研究課題名(英文) Development of ionic liquids for bioscience

研究代表者

大野 弘幸 (Ohno, Hiroyuki)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00176968

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 147,500,000円、(間接経費) 44,250,000円

研究成果の概要(和文)：バイオサイエンスの様々な分野に貢献するイオン液体を種々開発し、それぞれの能力を実証した。具体的には バイオマスから温和な条件でセルロースなどの有用物質を抽出できるイオン液体を新規に開発した。次いで セルロースを有用物質に変換する過程を検討し、分子量分布や生成物の種類などをイオン液体中で解析する方法論を確立した。これらを基礎として、バイオマスから変換される物質の一つであるエタノールを原料とし、イオン液体を電解質として発電できるバイオ燃料電池を構築した。さらに、空气中で細胞を機能させるためのイオン液体の設計を進め、細胞を保護コートできるイオン液体を作製した。細胞の長期安定性は次の課題である。

研究成果の概要(英文)：Many novel ionic liquids have been synthesized to support several different fields of bio-science. Following four subjects have been carried out in this project. (1) We have succeeded to synthesize novel ionic liquids (ILs) to dissolve biomass and extract useful materials such as cellulose. (2) We have proposed new methods to detect material conversion of such a cellulose into other chemicals in ILs as well as changes in molecular weight and molecular weight distribution of the extracted polysaccharides in the ILs. Then (3) ethanol, one of products from biomass, was used to generate electricity with the aid of enzymes in suitably-designed ILs. (4) Design of ILs as a protection fluid for cells has also been carried out to keep bio-activity of cells under air. Long term stability is a future task.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・機能材料・デバイス

キーワード：イオン液体 タンパク質 バイオマス エネルギー変換 細胞 機能制御

1. 研究開始当初の背景

通常の分子性液体と異なる特徴を有するイオン液体は新規な可能性を有しているため、多方面から注目され、基礎研究がすすめられていたが、幅広く異なる要求に合致するようにイオン液体をデザインする研究はほとんど無かった。申請者は有機イオンの構造の多様性に注目し、様々なイオンからなる塩を合成し、構成イオン構造と塩の特性の相関を整理し、高機能イオン液体の創成に尽力していた。

一方バイオサイエンス分野では溶媒として水を使うことが常識となっていたが、それが逆にこの分野の可能性を制限していた。そこで申請者はバイオサイエンスの様々な方面で重要な役割を担うことのできるイオン液体を設計、合成、評価し、これまでにないスーパーバイオサイエンス分野を確立すべく、本申請をした。

2. 研究の目的

バイオサイエンスの課題として、バイオマスの処理とエネルギー変換を主題とし、(1)セルロースなどの難溶性天然高分子の溶解と評価、(2)溶解させたセルロースの処理用イオン液体/水混合系の機能設計、(3)非水系バイオ燃料電池の試作、及び(4)細胞を空气中で機能させる保護膜としてのイオン液体の設計の4項目を目的として研究を行った。

3. 研究の方法

イオン液体の設計、合成は申請者の研究室で蓄積してきた方法論に従った。イオン液体の極性評価はイオン液体の機能設計に重要であるが、誘電率測定ができないため、色素のソルバトクロミズムを利用して、水素結合性などを評価した。そのほかのイオン液体の物性測定は、粘度測定、熱分析、核磁気共鳴、ラマン分光分析、糖分析などを駆使して、上記目的を達成すべく研究を進めた。タンパク質の機能は分光学的な手法を使用した。

4. 研究成果

(1)セルロースなどの難溶性天然高分子の溶解と評価

既にセルロースを溶解できるイオン液体は報告があったが、150℃の加熱が必要であった。そこで、非加熱下でセルロースを溶解できるイオン液体の設計を行った。そのために重要となるイオン液体の極性評価を行った。色素のソルバトクロミズムを利用してイオン液体の極性を評価したところ、セルロースの溶解には水素結合受容性(β 値)が大きいことが必須であり、そのためにはアニオンの設計が重要であることを明らかにした。設計指針に従って、一連の亜リン酸系イオン液体を合成し、室温下でもセルロースを溶解できるイオン液体を提案できた(論文#22,23)。

また、イオン液体に溶解したセルロースなどの分子量分布を高速液体クロマトグラフ

イーで解析した。イオン液体を流動相とする本手法を我々の研究室で開発した(論文#20)。本法は溶媒置換などの煩雑な処理による分子量分布の変化を避けることができるため、極めて有効であることを実証した。これにより、イオン液体中でのセルロース分解反応などを追跡できるようになった(論文#5)。

また、重水素化しないイオン液体中に溶解したセルロース類の¹H-NMR 測定にも挑戦した。重水素無しで分解能を調整できるNo-D法と、溶媒由来の大きなピークを消去できるWET法を併用し、重水素化していないイオン液体中に溶解したセルロース類の分析を可能とした。これにより、セルロースの6位のOH基とイオン液体が強く相互作用できることが、セルロース可溶化の要因であることを実証できた(論文#1)。本法は多彩なイオン液体を重水素化せずに¹H-NMR用の溶媒として利用できることにつながるため、今後の研究を進める上で大きく寄与する。

常温でセルロースを溶解できるイオン液体を作製できたが、水の存在下ではその溶解能力が激減することが認められたので、水存在下でもセルロースを溶解できるイオン液体の設計にも尽力した。その結果、テトラブチルフォスフォニウムハイドロキサイド(TBPH)含水溶液が、常温でセルロースを溶解できることを突き止めた(論文#16)。これを用いてバイオマス、特に木材を乾燥せずに処理し、直接セルロース類の抽出を非加熱で可能とした。松、杉、ポプラなどの木片は単に浸しておくだけで、ほぼ完全に溶解した(論文#3)。このような強力なバイオマス溶媒はこれまでに無く、論文発表は大きなインパクトを与えた(図1)。

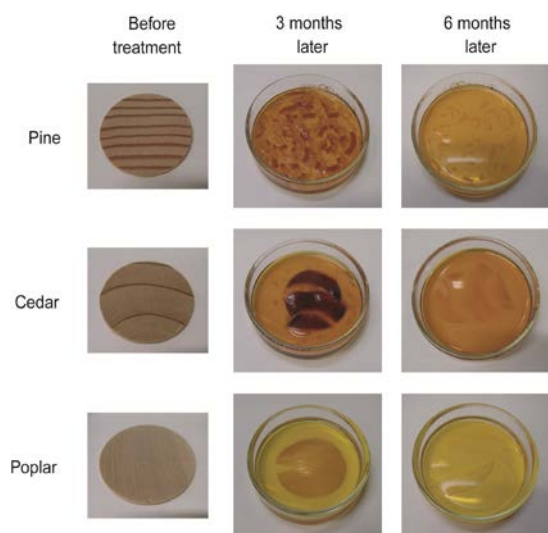


図1 TBPH 含水溶液による各種木片の非加熱溶解

(2)溶解させたセルロースの処理用イオン液体/水混合系の機能設計

イオン液体の機能設計は重要であり、多くは構成イオンの構造を変えることで機能制御を行っている。が、構成イオンの構造変化

に伴うイオン液体の機能は連続的には制御できず、微妙な制御は不可能であった。そこで我々は異種イオン液体の混合系の機能制御を検討してきた。ここでは、イオン液体と水の混合系について、相状態と機能制御について検討した。疎水性で高極性と言う特性は物理化学的には矛盾するものであるが、イオンに役割を分担させることにより、このような特性を持つイオン液体を実際に合成することができた(論文#10)。このような系をさらに改善すれば、バイオマスからセルロースを抽出し、加水分解してグルコースを得、それを水相に逆抽出する系につながる。そのためにイオン液体と水の混合系において、温度制御により均一混合状態と相分離状態を自在

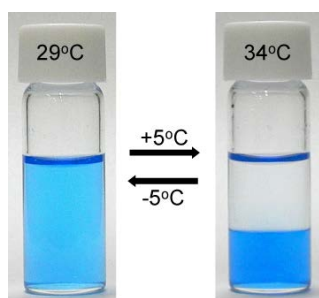


図2 [P₄₄₄]CF₃COO型イオン液体(青く着色)と水の混合系が示すLCST型の相転移

に設定できる系、特に加熱で相分離し、冷却により均一溶解するLCST型の相転移を示すイオン液体/水混合系(図2)の物理化学を研究した。

その結果、構成イオンの親水性/疎水性バランスの総和がある範囲内にある時にLCST型の相転移を示すことを明らかにし(論文#12,18)、さらに塩などの添加により転移温度を自在に制御できるようにした(論文#9)。また、この相転移を利用して、水溶性タンパク質の簡便な分離法を提案することもできた(論文#14)。現在、疎水性を保ちながら、セルロース溶解能を高める検討を続けているが、本研究期間中には最終目標まで達することはできなかった。

(3)非水系バイオ燃料電池の試作

イオン液体を電解液として用いる非水系バイオ燃料電池の構築のために、高速電子移動を可能とする修飾電極を作製し、バイオ燃料電池に用いられる酵素群のイオン液体中での機能評価を行い、最終的にこれらの集積した知見に基づき、実際にバイオ燃料電池のプロトタイプを作製し評価した。

バイオ燃料電池の欠点は、その出力が小さいことである。出力向上のために高速電子移動かつ実効面積拡大を達成できる新たな電極の開発を進めた。金ナノ粒子分散液を適度に濃縮し、電極上に滴下し風乾して金ナノ粒子修飾電極を簡便に作製する新たな方法を開発した。この操作により、電極実効面積を270倍まで拡大でき、かつ、この電極上に固定した電子伝達タンパク質のシトクロムcと電極との速い電子移動反応を確認した。こ

の金ナノ粒子修飾電極にバイオ燃料電池のアノード触媒であるフルクトースデヒドロゲナーゼを固定し、14 mAc²という非常に高い触媒電流密度が得られる酵素固定電極を作製し、このアノードと酸素の4電子還元反応を触媒するビリルビン酸化酵素を金ナノ粒子修飾電極上に固定したカソードを用いてセパレーターフリーのバイオ燃料電池を構築し、0.87 mWcm²の直接電子移動型バイオ燃料電池としては当時世界最高出力となるバイオ燃料電池の作製に成功した(論文#25)。

次いで、アノード用触媒として用いられ、バイオマス処理に重要な役割を担う酵素であるセロピオースデヒドロゲナーゼ(CDH)について検討を行った。基質のセロピオースの酸化反応を、タンパク質との親和性が高い水和コリン・リン酸二水素塩([Ch][dhp])中で触媒的に進めることを実際に示すことができた(論文#24)。さらに、CDHを電極に固定し、水和[Ch][dhp]を電解液としてセロピオースの酸化反応による触媒電流を観測できた。フルクトースを基質とするフルクトースデヒドロゲナーゼについてもCDHと同様に、水和[Ch][dhp]を電解液として触媒電流の観測に成功した(論文#19)。また、カソード用酵素としてよく用いられるBODについて検討し、疎水性イオン液体である[C₄mim][Tf₂N]にごく少量の水(1wt%)を添加すると、微弱ながら触媒電流が観測された。飽和含水率を上昇させたIL: [C_{20H}mim][Tf₂N](飽和含水率:9 wt%)を作製して検討を行ったところ、緩衝液中と同等の値を得ることができた(論文#8)。このように低極性ILに微量の水を添加した溶媒がBODの良好な反応場となることが示された。

BODに対して有効な疎水性イオン液体の一つであるアルキルメチルイミダゾリウム塩([C_nmim][Tf₂N] (n=2,4,6))を電解液として、まずはアルコールデヒドロゲナーゼの電気化学的触媒反応について検討した。1 Mのエタノールを含む[C_nmim][Tf₂N]中でCV測定を行った結果、-0.3 V (vs. Ag wire)付近でエタノールの触媒酸化電流が観測された。BODに対しては少量の水が必要であるため、炭化水素鎖の短いものがより適していると考えられた。そこで、中間の[C₄mim]をカチオンとするイオン液体を用いてバイオ燃料電池のプロトタイプを作製した。出力特性を評価したところ、次ページの図3のようになり、開回路電圧が0.35 V、最大パワー密度は0.63 μWcm²であった。

さらに、生きた昆虫に我々が開発した電極を組み込み、昆虫の体液で作動する昆虫実装型の燃料電池を作り上げた(論文#15)。

これら一連の成果が示すように、我々はイオン液体の特性を制御して非水系のバイオ燃料電池のプロトタイプの作製に世界に先駆けて成功した(論文#7)。

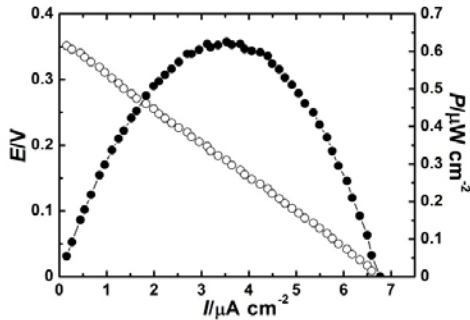


図3 [C₄mim][Tf₂N]を電解液とするバイオ燃料電池の出力特性

(4)細胞を空气中で機能させる保護膜としてのイオン液体の設計

イオン液体は様々な生体物質の溶媒として有用であることを示すことができたが、細胞の保護剤として新規なイオン液体の提案に挑戦した。まず、密度が水と同じ 1.0g/cm³ の新規イオン液体を作製した。これに各種細胞を分散させてその生存活性を見たが、短時間のうちに死滅した。イオン液体はイオンのみから成るため、浸透圧が高く、細胞は生存できないだろうと言われていたが、疎水性のイオン液体を用いれば、浸透圧を抑制できることが分かったので、細胞保護剤として要求される特性を持った疎水性イオン液体の設計に研究をシフトさせた。密度で限定することなく様々な構成イオンを組み合わせることで疎水性のイオン液体を作製し、心筋細胞のパルス応答性を調べたところ、図 4(A) に示すように、[P_{8,8,8}][C₇CO₂]型のイオン液体中で外部からのパルス(図中 (A) の下段)に応答して拍動数の変化が認められた。図 4(B)の結果は疎水性の流動パラフィン中でのデータである。

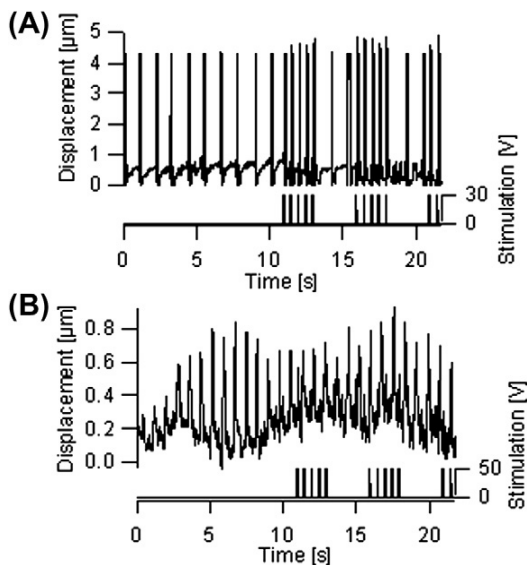


図4 [P_{8,8,8}][C₇CO₂]中(A)と流動パラフィン中(B)のラット由来の心筋細胞の拍動と外部パルスによる制御

流動パラフィン中でも短時間の心筋細胞の拍動が弱いながらも見られたが、パルスによる制御は全くできなかった。このように導電性であるイオン液体中で細胞活性を保つことができれば、細胞アクチュエータなどへの展開が可能となる。[P_{8,8,8}][C₇CO₂]型イオン液体以外でも心筋細胞を短時間であるが生存させ、パルスに応答させることに成功した(論文#13)。細胞への栄養付与などに課題が残るが、イオン液体中での細胞機能制御につながる成果である。

これらの他にも関連する成果が多く得られたが、詳細は省略する。

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)

[論文] (計 50 件、**全て査読あり**)

1. “¹H NMR analysis of cellulose dissolved in non-deuterated ionic liquids” K. Kuroda, H. Kunimura, Y. Fukaya, and H. Ohno, *Cellulose*, in press (2014)
2. “Effect of amines as activators on the alcohol-oxidizing activity of pyrroloquinoline quinone-dependent quinoprotein alcohol dehydrogenase” K. Takeda, T. Ishida, K. Igarashi, M. Samejima, N. Nakamura, H. Ohno, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, in press (2014).
3. “Dissolution of wet wood biomass without heating” M. Abe, T. Yamada, and H. Ohno, *RSC Advances*, **4**, 17136-17140 (2014). DOI: 10.1039/C4RA01038H
4. “The two-step electrochemical oxidation of alcohols using a novel recombinant PQQ alcohol dehydrogenase as a catalyst for a bioanode” K. Takeda, H. Matsumura, T. Ishida, M. Samejima, K. Igarashi, N. Nakamura, and H. Ohno, *Bioelectrochem.*, **94**, 75-78 (2013). DOI: 10.1016/j.bioelechem.2013.08.001
5. “Direct HPILC analysis on cellulose depolymerisation in ionic liquids” K. Kuroda, Y. Fukaya and H. Ohno, *Analytical Methods*, **5**, 3172-3176 (2013). DOI: 10.1039/c3ay40182k
6. “Phosphonium phosphonate-type zwitterion/water mixture showing variable hydrogen bonding ability as a function of temperature” Y. Fukaya and H. Ohno, *PhysChemChemPhys.*, **15**, 14941-14944 (2013). DOI: 10.1039/c3cp52178h
7. “A paradoxical method for NAD⁺/NADH accumulation on an electrode surface using a hydrophobic ionic liquid” M. Masuda, Y. Motoyama, J. Kuwahara, N. Nakamura, and H. Ohno, *Biosensors and Bioelectronics*, **39**, 334-337 (2013) DOI: 10.1016/j.bios.2012.07.051
8. “Electrocatalytic reduction of oxygen by

- bilirubin oxidase in hydrophobic ionic liquids containing a small quantity of water” J. Kuwahara, R. Ikari, K. Murata, N. Nakamura, and H. Ohno, *Catalysis Today*, **200**, 49-53 (2013) DOI: 10.1016/j.cattod.2012.06.009
9. “Detection of small differences in the hydrophilicity of ions using LCST-type phase transition of an ionic liquid-water mixture” S. Saita, Y. Kohno, and H. Ohno, *Chem. Commun.*, **49**, 93-95 (2013). DOI: 10.1039/c2cc37006a
 10. “Hydrophobic and polar ionic liquids” Y. Fukaya and H. Ohno, *PhysChemChemPhys.*, **15**, 4066-4072 (2013). DOI: 10.1039/c3cp44214d
 11. “Cold crystallisation behaviour of water molecules in ionic liquids as a screening method to evaluate biocompatibility of the hydrated ionic liquids” K. Fujita, Y. Nikawa, and H. Ohno, *Chem. Comm.*, **49**, 3257-3259 (2013) DOI: 10.1039/c3cc39033k
 12. “Ionic liquid/water mixtures: From hostility to conciliation” Y. Kohno and H. Ohno, *Chem. Commun.*, **48**, 7119-7130 (2012). DOI: 10.1039/c2cc31638b
 13. “Contracting cardiomyocytes in hydrophobic room-temperature ionic liquid” T. Hoshino, K. Fujita, A. Higashi, K. Sakiyama, H. Ohno, and K. Morishima, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **427**, 379-384 (2012). DOI: 10.1016/j.bbrc.2012.09.068
 14. “Selective transport of water-soluble proteins from aqueous to ionic liquid phase via a temperature-sensitive phase change of these mixtures” Y. Kohno, N. Nakamura, and H. Ohno, *Australian J. Chem.*, **65**, 1548-1553 (2012). DOI: 10.1071/CH12282
 15. “Insect biofuel cells using trehalose included in insect hemolymph leading to an insect-mountable biofuel cell” K. Shoji, Y. Akiyama, M. Suzuki, T. Hoshino, N. Nakamura, H. Ohno, and K. Morishima, *Biomed. Microdevices*, **14**, 1063-1068 (2012). DOI: 10.1007/s10544-012-9706-z
 16. “Fast and facile dissolution of cellulose with tetrabutylphosphonium hydroxide containing 40 wt% water” M. Abe, Y. Fukaya, and H. Ohno, *Chem. Commun.*, **48**, 1808-1810 (2012). DOI: 10.1039/c2cc16203b
 17. “Cytochrome *c* dissolved in 1-allyl-3-methylimidazolium chloride type ionic liquids undergoes a quasi-reversible redox reaction up to 140 °C” K. Tamura, N. Nakamura, and H. Ohno, *Biotech. and Bioeng.*, **109**, 729-735 (2012). DOI: 10.1002/bit.24357
 18. “Temperature-responsive ionic liquid/water interfaces: relation between hydrophilicity of ions and dynamic phase change” Y. Kohno and H. Ohno, *PCCP*, **14**, 5063-5070 (2012). DOI: 10.1039/c2cp24026b
 19. “Electrochemical analysis of electrode-immobilized dehydrogenases in hydrated choline dihydrogen phosphate-type ionic liquid” K. Fujita, N. Nakamura, K. Murata, K. Igarashi, M. Samejima, and H. Ohno, *Electrochim. Acta*, **56**, 7224-7227 (2011). DOI: 10.1016/j.electacta.2011.03.107
 20. “High performance “ionic liquid” chromatography” Y. Fukaya, A. Tsukamoto, K. Kuroda, and H. Ohno, *Chem. Commun.*, **47**, 1994-1996 (2011). DOI: 10.1039/c0cc05307d
 21. “Extraction of proteins with temperature sensitive and reversible phase change of ionic liquid/water mixture” Y. Kohno, S. Saita, K. Murata, N. Nakamura, and H. Ohno, *Polym. Chem.*, **2**, 862-867 (2011). DOI: 10.1039/c0py00364f
 22. “Extraction of polysaccharides from bran with phosphonate- or phosphinate-derived ionic liquids under short mixing time and low temperature” M. Abe, Y. Fukaya, and H. Ohno, *Green Chem.*, **12**, 1274- 1280 (2010). DOI: 10.1039/c003976d
 23. “Task specific ionic liquids for cellulose technology” H. Ohno and Y. Fukaya, *Chem. Lett.*, **38**, 2-7(2009). DOI: 10.1246/cl.2009.2
 24. “Biocatalytic oxidation of cellobiose in hydrated ionic liquid” K. Fujita, N. Nakamura, K. Igarashi, M. Samejima and H. Ohno, *Green Chem.*, **11**, 351-354 (2009). DOI: 10.1039/b813529k
 25. “Direct electrochemistry of bilirubin oxidase on three-dimensional gold nanoparticle electrodes and its application in a biofuel cell” K. Murata, K. Kajiyama, N. Nakamura, and H. Ohno, *Energy Environ. Sci.*, **2**, 1280-1285 (2009). DOI: 10.1039/B912915D
- [学会発表] (計 135 件)
1. イオン液体中のセルロースの分解反応のメカニズム解析 (2001) 黒田浩介、深谷幸信、大野弘幸、2013年11月21日 第4回イオン液体討論会 慶應義塾大学 神奈川県
 2. Phase behaviour of ionic liquid/molecular liquid mixture (PL01) H. Ohno and Y. Kohno, 33rd International Conference on Solution Chemistry 2013年7月8日 Kyoto, Japan (Plenary Lecture)
 3. Progress of Ionic Liquids as Important Partners for Biopolymers (PL-4) H. Ohno, Congress of European Polymer Federation 2013, 2013年6月18日 Pisa, Italy (Plenary Lecture)
 4. An enzymatic biofuel cell using hydrophobic ionic liquids as electrolytes (P330) M. Masuda, N. Nakamura and H. Ohno, COIL5, 2013年4月23日 Vilamoura, Algarve, Portugal
 5. Ionic Liquids: Potential Partner For

- Biorefinery, H. Ohno, POLYCHAR 21 World Forum on Advanced Materials, 2013年3月12日, Gwangju, Korea (Plenary Lecture)
6. イオン液体に溶解したセルロースの No-D NMR 法を用いた解析 (P60) 國村治仁、黒田浩介、深谷幸信、大野弘幸、第3回イオン液体討論会、2012年12月8日、沖縄
 7. Water-containing novel solvent for extracting cellulose from wood biomass without heating (O-02) M. Abe, Y. Fukaya, and H. Ohno, The 3rd International Cellulose Conference, 2012年10月10日, Sapporo, Japan
 8. Electrochemical Oxidation of Glucose by Nitroxide Radicals or Gold Nanoparticles in Ionic Liquids (3661) A. Konno, M. Abe, and H. Ohno, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid State Science 2012, 2012年10月7日 Honolulu, Hawaii, USA
 9. Temperature sensitive phase transition of ionic liquid/water mixtures for bioprocesses, H. Ohno, 15th International Biotechnology Symposium, 2012年9月20日, Daegu, Korea (Invited Lecture)
 10. Biomass treatment with polar ionic liquids, H. Ohno, 3rd Asian-Pacific Conference on Ionic Liquids and Green Processes (APCIL'12), 2012年9月17日, Beijing, China (Plenary Lecture)
 11. Toward the marriage between ionic liquid based biorefinery and electrochemistry (KL-7) H. Ohno, EUCHEM 2012 (Molten salts and ionic liquids XXIV conference), 2012年8月8日, Celtic Manor, Wales, England (Keynote Lecture)
 12. Reversible and dynamic phase change of ionic liquid/water mixtures, H. Ohno, 5th Australian Symposium on Ionic Liquids, 2012年5月3日, Monash University, Australia (Plenary Lecture)
 13. Design and Application of ionic liquids to show temperature-sensitive LCST-type phase transition after mixing with water (BBB3.7) H. Ohno and Y. Kohno, Materials Research Society, 2012 Spring meeting, 2012年4月11日, San Francisco, CA, USA (Invited Lecture)
 14. Insect-mountable biofuel cell with self-circulation system, K. Shoji, Y. Akiyama, M. Suzuki, T. Hoshino, N. Nakamura, H. Ohno, and K. Morishima, Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), 2012 IEEE 25th International Conference, pp1249-1252, 2012年1月29日, USA
 15. 持続性社会に貢献するイオン液体 (1Sp04) 大野弘幸、第63回日本生物工学会大会 2011年9月26日東京 (招待講演)
 16. イオン液体を用いた次世代バイオファインリー (S2) 大野弘幸、第18回セルロース学会 2011年7月14日、信州大学、長野 (特別講演)
 17. Electrochemical oxidation of glucose in ionic liquids with gold nano-particle modified electrode (244) M. Abe, Y. Fukaya, H. Ohno, 4th International Congress on Ionic Liquids, 2011年6月17日 Washington DC, USA
 18. Polar ionic liquids for a sustainable world (#92-13) H. Ohno, International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010), 2010年12月15日 Convention Center, Honolulu, Hawaii.
 19. LCST 挙動を示すイオン液体/水混合系を用いたタンパク質の抽出 (2Pa079) 税田祥平、河野雄樹、大野弘幸、第59回高分子討論会、2010年9月16日北海道大学
 20. 水和イオン液体中におけるセロビオースの酵素酸化反応の電気化学的追跡 (2H6-47) 藤田恭子、中村暢文、五十嵐圭日子、鮫島正浩、大野弘幸、日本化学会第90春季年会 2010年3月27日、近畿大学本部キャンパス
 21. Temperature sensitive phase separation of ionic liquid/water mixture for extraction of proteins (LMP 69) Y. Kohno and H. Ohno, EUCHEM 2010 Conference on Molten Salts and Ionic Liquids, 2010年3月14-19日 Bamberg, Germany
 22. Functional design of ionic liquids for biomass energy conversion, H. Ohno, Regional Conference on Ionic Liquids, 2009年11月24日 Kuala Lumpur, Malaysia (Invited)
 23. Playing Games with Ionic Liquids and Polymer Materials (Oral 13) H. Ohno, 3rd International Congress on Ionic Liquids (COIL3) 2009年6月2日 Cairns Australia (Plenary)
- [その他]
ホームページ: <http://www.tuat.ac.jp/~ohno/>
6. 研究組織
 - (1)研究代表者
大野 弘幸 (OHNO, Hiroyuki)
東京農工大学大学院工学研究院・教授
研究者番号: 00176968
 - (2)研究分担者
中村 暢文 (NAKAMURA, Nobuhumi)
東京農工大学大学院工学研究院・教授
研究者番号: 60313293
 - 森島 圭祐 (MORISHIMA, Keisuke)
大阪大学大学院工学研究科・教授
研究者番号: 60359114
 - 水雲 智信 (MIZUMO, Tomonobu)
(株)メドレックス・研究員
研究者番号: 90436676