

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17073005

研究課題名（和文） イオン液体の次元制御と機能制御による新機能発現

研究課題名（英文） Development of Novel Functionality of Ionic Liquids through Control of Their Dimension and Function.

研究代表者

大野 弘幸 (OHNO HIROYUKI)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授

研究者番号：00176968

研究成果の概要（和文）： 数多くのイオン液体を合成し、そのイオン構造と物理化学的な特徴を整理した。これらの知見をもとに、イオン構造を制御して新機能発現を実施した。3 次元的に等方性のイオン液体に次元制御をおこない、液晶や分子集合体、さらには高分子化させ、液体では達成できない異方的なイオン移動や構造保持性を付与させた。さらに、イオン構造を種々制御することで、水と混合するとわずかな温度で相溶と相分離を制御できるイオン液体や、常温でセルロース類を溶解させるような高極性イオン液体の作出に成功した。

研究成果の概要（英文）： Many ionic liquids have been synthesized to survey relationship between ion structure and their functionalities. Based on the data, novel function has been developed. Dimensional control of isotropic ionic liquids have been carried out to realize anisotropic ion conduction or other properties that cannot be realized by isotropic liquids. Then we succeeded to create new ionic liquids that show clear transition between phase separation with water and miscible phase by small temperature change. Also we designed polar ionic liquids that dissolve cellulose without heating.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	66,500,000	0	66,500,000
2006 年度	13,100,000	0	13,100,000
2007 年度	22,600,000	0	22,600,000
2008 年度	13,200,000	0	13,200,000
2009 年度	13,200,000	0	13,200,000
総計	128,600,000	0	128,600,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：高分子・繊維材料

キーワード：イオン液体、機能化、イオン伝導、高分子化、セルロース

## 1. 研究開始当初の背景

当時イオン液体は化学の分野で徐々に認識されてきていたが、その詳細は研究されていなかった。また、イオン液体は塩であるにもかかわらず、なぜ液体になるのかという物理化学的な解も十分ではなかった。これらに対し明快な解を与

える目的で組織された本特定領域の中で、我々は「イオン液体で何ができるか？」という大きな課題を解決する班を組織し、その中で特にイオン液体の次元制御と機能制御をおこない、世界に先駆けて機能化を進めることを提案した。

## 2. 研究の目的

イオン液体を種々合成し、イオン構造と物理化学的な相関を整理し、これらの知見をもとにイオン構造を制御して新機能を発現させることを研究目的とした。

## 3. 研究の方法

様々なイオン液体を合成し、目的に合ったイオン構造から成っていることを確認するため、また、イオン液体中の物質の拡散係数を測定するために、多核 NMR を導入した。イオン解離の状態やイオン液体中のタンパク質の状態を解析するためにレーザーラマン分光測定装置を利用した。イオン液体の相状態や相転移を詳細に解析するためには示差走査熱量分析測定を実施した。

## 4. 研究成果

### 4-1 新規アニオン部位を有する ZI の合成とその高分子化

ZI とは、イオン液体を構成するカチオンとアニオンを共有結合で結んだイオン液体の誘導体である。イオン液体を ZI にすることで、イオン液体を構成するイオンの輸送を抑え、添加したイオンのみを輸送することができる。これまでに報告されている ZI のアニオン部位は主にスルホン酸であるが、この ZI に LiTFSI を添加した際のイオン伝導度は  $50^{\circ}\text{C}$  で  $10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$  程度に留まった。これは、ZI のスルホン酸アニオンの電荷が非局在化しておらず、 $\text{Li}^{+}$  とアニオン部位の静電的な相互作用が強いためであると考えられる。そこで、アニオン部位に高解離性のポレートアニオンを有する新規 ZI (BZ; Fig. 1) を合成した。

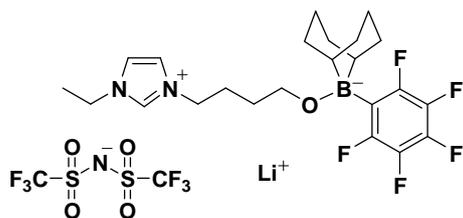


Fig. 1 Organoborate-型 zwitterion と LiTFSI の混合系

混合系の BZ/LiTFSI は、融点を示さず、 $-35^{\circ}\text{C}$  にガラス転移温度 ( $T_g$ ) のみを示し、スルホン酸アニオンを有する ZI ( $T_g = -12^{\circ}\text{C}$ ) よりも低くなった。この結果を反映して、BZ のイオン伝導度は  $50^{\circ}\text{C}$  で  $3.0 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$ 、リチウムカチオン輸率 ( $t_{\text{Li}^{+}}$ ) は 0.69 と、いずれもスルホン酸アニオンを有する ZI/LiTFSI 混合系よりも高い値を示した。立体障害を持つ有機ポレートアニオン部位の高解離性、ペンタフルオロフェニル基の強い電子吸引性がリチウム塩の解離を促進したため、高いイオン伝導度及び高い  $t_{\text{Li}^{+}}$  を示したと考えられる。

次いで、この BZ の高分子化を試みた。Fig.

2 に示した高分子は  $T_g$  が  $-6^{\circ}\text{C}$  と比較的高い値を示したものの、イオン伝導度は  $50^{\circ}\text{C}$  で  $3.0 \times 10^{-6} \text{ S cm}^{-1}$  と、高分子化した ZI としては高い値を示し、耐熱性リチウムイオン伝導性高分子フィルムとして期待できる。

### 4-2 アミノ酸イオン液体の機能化

アミノ酸をイオン液体 (AAIL) にすること

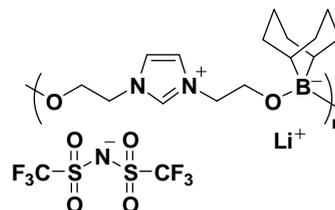


Fig. 2 LiTFSI を含む organoborate-型 zwitterion のポリマー

ができることは既に報告したが、本特許的領域研究では、これらの物性改善を目的としてカチオン種の探索を行なった。その結果 tetrabutylphosphonium カチオン ( $[\text{P}_{4,4,4,4}]$ ) を用いて AAIL を作製すると、熱分解温度が大幅に向上した。 $[\text{P}_{4,4,4,4}]$  カチオンを用いると、カチオン-アニオン間の水素結合が形成されないために、[emim] カチオンを用いた場合に比べてイオン液体の粘度は低下した。しかし、アミノ酸の種類によってはアニオン-アニオン間で水素結合ネットワークを形成していることが  $[\text{P}_{4,4,4,4}]$  [グルタミン酸 (Glu)] の X 線結晶構造回折から明らかとなった。また、アスパラギン酸は非常に高い粘度 ( $25^{\circ}\text{C}$  で 303100 cp) のイオン液体となるが、イオン間の水素結合形成を制御することでイオン液体の粘度を低下させることができた。

さらに、2 種のイオン液体 ( $[\text{bmim}][\text{Tf}_2\text{N}]$  と  $[\text{P}_{4,4,4,4}][\text{AA}]$ ) を等モル量混合し、イオン間の相互作用を変化させて、イオンのみからなるサーモトロピックゲルを得た (Fig. 3)。これまでの研究では、イオン液体のゲル化はイオン液体以外の物質の添加により行なわれており、低分子量のイオン液体を混合するだけで形成されるゲルは今まで例がない。

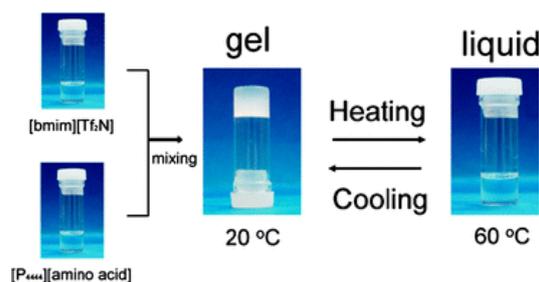


Fig. 3  $[\text{bmim}][\text{Tf}_2\text{N}] + [\text{P}_{4,4,4,4}][\text{AA}]$  混合による物理ゲルの形成

アミノ酸イオン液体はアミノ酸の側鎖の多様性により物理化学的性質を容易に制御できることから、新規機能場への応用も可能である。

#### 4-3 LCST相変化を示すアミノ酸イオン液体/水混合系の作製

アミノ基に疎水性のトリフルオロメタンシルホニル基を導入したアミノ酸誘導体を構成アニオンとする tetrabutylphosphonium trifluoromethanesulfonyl leucine ([P<sub>4444</sub>][Tf-Leu]; Fig.4)を水と混合して相挙動の確認

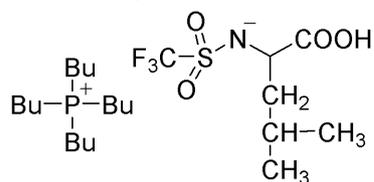


Fig.4 [P<sub>4444</sub>][Tf-Leu]の構

を行い、低温では水と相溶し、高温では水と相分離する下限臨界溶解温

度(Lower Critical Solution Temperature; LCST)型の相挙動を示すことを見出した(Fig.5)。このダイナミックな相挙動は何度でも繰り返し可能で、相転移温度は変化しなかった。また、相分離状態と相溶状態を支配する因子を検討した結果、降温に従ってイオン液体相の含水率が增大してくるを見出した。降温するとついには均一相になるが、含水率は構成イオン種に依存する。従って、均一相になる温度は、イオン種とスタート時の水とイオン液体相の混合比の両者で制御できる。このように、室温付近のわずかな温度変化のみでイオン液体相の含水率が大きく変化し、水との相溶・相分離を制御できるイオン液体はこれまで報告例がなく、イオン液体相の含水率を自由に制御できる新規の分離・抽出溶媒系として有望である。

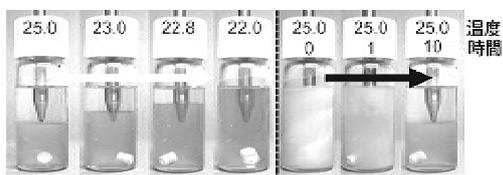


Fig.5 イオン液体/水混合系の相挙動

#### 4-4 タンパク質の可溶化と耐熱性賦与

いくつかのイオン液体(無水)にタンパク質は溶解するが、直ぐに変性してしまう。我々はヘムが共有結合で固定されているタンパク質としてチトクロム c (cyt.c) を選択し、これを溶解させるイオン液体について研究している。極性物質を溶解させるためにはイオン液体の極性も高いことが必須である。Kamlet-Taft パラメーター、特に  $\beta$  値が重要である。[bmin]Cl は代表的な高極性イオン液体で

$\beta$  値も 1.0 に近い値を持つが、常温で固体である。これを 80 に加熱し、この中に cyt.c を直接加え、攪拌すると 10mM 程度溶解させることができる。溶解後も cyt.c は変性しておらず、130 以上でも酸化還元活性を保っている。非加熱下での cyt.c の溶解を行うために融点を室温まで低下させたアリルメチルイミダゾリウムクロライド ([amin]Cl) を用いて溶解を試みたところ、非加熱でも溶解できることを見出した。しかも溶解後の cyt.c は幅広い温度域で酸化還元活性を観測できた。このことは加熱が溶解の必要条件ではないことを示している。

#### 4-5 タンパク質の新規溶媒としての水和イオン液体

簡便にタンパク質を溶解させるために、イオン液体に 10~20wt%の水を添加した“水和イオン液体”を提案している。これは、水分子が強力にイオンに水和した状態でイオン液体になっているもので、いわゆるバルクの自由水は存在しないため、イオン液体と同程度、あるいは類似した特性が期待できる。しかもこの水和イオン液体には多種類のタンパク質が溶解することを見いだしている。イオン液体を構成するイオン種依存性が強く、現在のところ最適な塩は choline dihydrogen phosphate である。塩を構成するイオンの kosmotropicity がタンパク質の溶解と安定化に大きく影響していることを明らかにした。

これまでの検討で良い結果が得られているコリンカチオンとリン酸二水素アニオンからなる塩に 35wt%の水を添加して作成した水和イオン液体(Hy[ch][dhp])を溶媒とし、CDH の溶解系での電子伝達反応を検討した。Hy[ch][dhp]中に CDH は均一溶解し、さらにセロピオースの脱水素化に伴うフラビンドメインでの電子受容と、その後のドメイン間における電子伝達反応の進行が確認できた。このことから、CDH は Hy[ch][dhp]にドメイン構造を保持したまま溶解し、分子間・分子内電子伝達能を保持していることが明らかとなった。そこで、カーボンナノ粒子を用いて表面積を増大させたカーボン電極上に CDH を固定化し、Hy[ch][dhp]中における電極応答について解析した。その結果、セロピオース添加による脱水素反応を示す触媒電流が観測された。セロピオース濃度を変化させて検討を行ったところ、水溶液中と同様の 1mM 付近で基質阻害が生じることも明らかとなった。水溶液中で酵素電極を保存した場合には、1 週間後には応答は観測されなくなったのに対し、Hy[ch][dhp]中では室温で 3 週間保存後でも fresh な状態の 50%程度の触媒電流が観測された。これらの結果は、酵素反応を安定に進行させる場として水和イオン液体が有用であることを示している。

#### 4-6 セルロース類の非加熱溶解

全ての生体高分子に対し、適切に溶解できるイオン液体は必ず存在する。我々はすでにDNA、ポリペプチド、多糖類、等に対し、良好な溶解能を有するイオン液体を適切なイオンの設計により作製してきた。特に、セルロースは莫大なバイオマス(エネルギー源)として、近年急速に注目されている材料である。セルロースを省エネ的に溶解・分解し、グルコース、バイオエタノールなどに変換することは急務の課題である。セルロースを溶解できるイオン液体としてはイミダゾリウムクロライドが知られているが、融点が高く、常に加熱を要する。これではセルロースから抽出できるエネルギー以上のエネルギーを使って処理することとなるため、穏和な条件下でセルロースを溶解できる溶媒の探索が求められていた。そこで、我々は極性測定を駆使して、水素結合を切断できる極性イオン液体の設計を行った。

既に我々は、ギ酸などのカルボン酸アニオンを有するイオン液体が高い水素結合受容性を示し、低融点、低粘性の極性イオン液体となることを見出した。しかしながら、これらのカルボン酸塩は熱安定性に優れず、バイオマス処理においては繰り返し利用性などに課題が残っていた。そこで、我々はイオン構造の設計を進め、リン酸、亜リン酸などの誘導体をアニオンとするイミダゾリウム塩が高い水素結合受容性を示し、低粘性、高い熱安定性を示す極性イオン液体となることを見いだした。これらの新規イオン液体は穏和な条件下でセルロースを溶解する極性イオン液体である。イオン構造の異なる種々のイオン液体を作成して極性や粘性などの基礎物性を比較した結果、メチル亜リン酸アニオン、次亜リン酸アニオンを有するアルキルイミダゾリウム塩(Fig. 6)が低融点、低粘性、

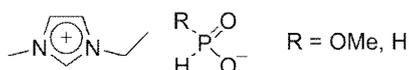


Fig. 6 新規亜リン酸誘導体塩

更には高い熱安定性を示す極性イオン液体であることを見出した。そこで、これら新規に作製したリン酸誘導体塩を用いて、天然バイオマスからの多糖類抽出系の構築を行った。ブラン粉末と各種イオン液体を混合し、加熱攪拌の処理を行った。検討の結果、いずれのイオン液体も 50 °C で数時間の攪拌を行うことにより、多糖類成分を 40 % 以上の高収率で抽出できることを明らかとした。特に、次亜リン酸アニオンを有するイオン液体はより短時間でブラン粉末から多糖類を抽出できた。これはイオン液体の粘度の差によるものであると考えられる。これらの新規イオ

ン液体を用いた非加熱下での多糖類抽出を試みた。加熱処理を行った場合と比較し、抽出率は低下したものの、非加熱下での多糖類抽出も十分に行えることもあわせて明らかとした。本研究で新規に作成した極性イオン液体は、低熱エネルギーでセルロースなどの有用多糖類を抽出できるバイオマス処理システムにつながるものと期待できる。

#### 4.7 極性イオン液体を移動相とする HPLC システム「HPILC」の新規開発

イオン液体中で進行する様々な反応を追跡する手段は限られている。我々はイオン液体に溶解させたセルロースの加水分解反応を動的に追跡するために、イオン液体を移動相とする HPLC システムを新規に開発した。本研究のために 2007 年度に追加配分を受け、装置開発を進めることができた。

今回用いた極性イオン液体(1-エチル-3-メチルイミダゾリウムメチル亜リン酸)は一般的な分子性液体と比較して粘度が高く、常温では装置の圧力限界以下で使用することができなかった。そこでポンプからカラムまでを 55 °C に保温し、RI 検出器を 40 °C に保温し、超低流速(0.01 ml/min)で送液を行うことで、圧力限界以下で使用できることを見いだした。この HPILC を用いて分子量の異なる種々のプルラン標準試料の測定を行った。その結果、プルランの分子量に応じてピークがよく分離でき、分子量の大きいものほど短時間で溶出した。得られた溶出体積とプルランの分子量分布との間にはよい相関があり、イオン液体を移動相とした場合であってもサイズ排除効果によるサンプルの分離が可能である。

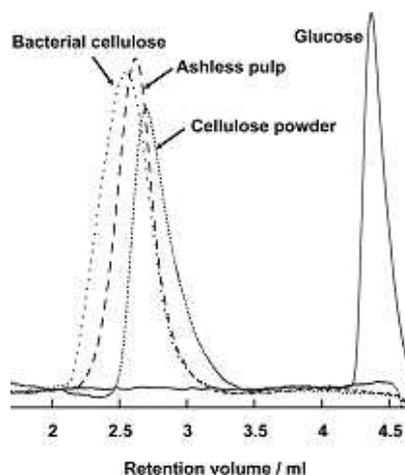


Fig. 7 イオン液体に溶解したセルロース類の HPLC プロファイル

次に各種セルロースの分析を行った。セルロース試料として粉末セルロース、無灰パルプ、バクテリアセルロースを用いた。今回用いたイオン液体は、種々のセルロース試料を室温で溶解した。作製した試料溶液を、HPILC システムを用いて分析を行った結果、

セルロース試料の分子量に応じて溶出体積が異なり、サイズ排除効果によるセルロースの分子量分析が可能であることを確認した (Fig. 7)。また、セルロースとグルコースとを混合した試料に関して分析を行った結果、それぞれに相当するピークが観測された。本研究で新規に開発した HPILC は、これまで困難であった様々な高分子化合物の測定や、イオン液体中での加水分解反応などの直接測定につながるものと期待できる。

#### 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)

[雑誌論文](計 67 件)

1. 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.*, in press (2010)
2. “Novel thermotropic gels composed of only ions” J. Kagimoto, N. Nakamura, T. Kato, and H. Ohno, *Chem. Commun.*, 2405-2407 (2009)
3. “Ionic-liquid materials for the electrochemical challenges of the future” M. Armand, F. Endres, D. R. MacFarlane, H. Ohno, and B. Scrosati, *Nature Materials*, **8**, 621-629 (2009)
4. “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)
5. “Cellulose dissolution with polar ionic liquids under mild conditions: Required factors for anions” Y. Fukaya, K. Hayashi, M. Wada, and H. Ohno, *Green Chem.*, **10**, 44-46 (2008)
6. “Amino acid ionic liquids” H. Ohno and K. Fukumoto, *Acc. Chem. Res.*, **40**, 1122-1129 (2007)
7. “Bio ionic liquids: Room temperature ionic liquids composed wholly of biomaterials” Y. Fukaya, Y. Iizuka, K. Sekikawa, and H. Ohno, *Green Chem.*, **9**, 1155-1157 (2007)
8. “LCST type phase changes of a mixture of water and ionic liquids derived from amino acids” K. Fukumoto and H. Ohno, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **46**, 1852-1855 (2007)
9. “Superior solubility of polysaccharides in low viscosity, polar, and halogen-free 1,3-dialkylimidazolium formates” Y. Fukaya, A. Sugimoto, and H. Ohno, *Biomacromolecules*, **7**, 3295-3297 (2006)
10. “Functional design of ionic liquids” H. Ohno, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **79**, 1665-1680 (2006)
11. “Polymerized ionic liquids via hydroboration polymerization as single ion conductive polymer electrolytes” N. Matsumi, K. Sugai, M. Miyake, and H. Ohno, *Macromolecules*, **39**, 6924-6927 (2006)
12. “Proton-conducting ionic liquids based upon multivalent anions and alkylimidazolium cations”, W. Ogihara, H. Kosukegawa, and H. Ohno, *Chem. Commun.*, 3637-3639 (2006)
13. “Design and synthesis of hydrophobic and chiral anions from amino acids as precursor for functional ionic liquids”, K. Fukumoto and H. Ohno, *Chem. Commun.*, 3081-3083 (2006)
14. “One-dimensional ion-conductive polymer films: Alignment and fixation of ionic channels formed by self-organization of polymerizable columnar liquid crystals” M. Yoshio, T. Kagata, K. Hoshino, T. Mukai, H. Ohno, and T. Kato, *J. Am. Chem. Soc.*, **128**, 5570-5577 (2006)
15. “Effect of tetrabutylphosphonium cation on the physico-chemical properties of amino-acid ionic liquids” J. Kagimoto, K. Fukumoto, and H. Ohno, *Chem. Commun.*, 2254-2256 (2006)
16. “Lithium ion conduction in an organoborate zwitterion-LiTFSI mixture” A. Narita, W. Shibayama, K. Sakamoto, T. Mizumo, N. Matsumi, and H. Ohno, *Chem. Commun.*, 1926-1928 (2006)
17. “Structural factors to improve physico-chemical properties of zwitterions as ion conductive matrices” A. Narita, W. Shibayama, and H. Ohno, *J. Mater. Chem.*, **16**, 1475-1482 (2006)
18. “Room temperature ionic liquids from 20 natural amino acids” K. Fukumoto, M. Yoshizawa and H. Ohno, *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 2398-2399 (2005)

[学会発表](計 278 件)

1. Design of ion conductive polymers based on ionic liquid science, H. Ohno, International Bunsen Discussion Meeting on Mobile Ions in Disordered Materials, 2010 年 02 月 25 日 Muenster, Germany (Invited)
2. Playing Games with Ionic Liquids and Polymer Materials (Oral 13) H. Ohno, 3<sup>rd</sup> Congress on Ionic Liquids (COIL3) 2009 年 6 月 2 日 Cairns Australia (Plenary)
3. Design of Ion Conductive and Low Tg Polymers Using Ionic Liquids, H. Ohno, 17<sup>th</sup> International Conference on Solid State Ionics (SSI-17) 2009 年 7 月 1 日 Toronto, Canada
4. Playing Games with Ionic Liquids and Polymer materials H. Ohno, 3<sup>rd</sup> Congress on Ionic Liquids (COIL3) 2009 年 6 月 2 日

- Cairns Australia (Plenary)
5. Amino Acid Ionic Liquids: New Generation of Salts, H. Ohno, International Bunsen Discussion Meeting, 2008年11月25日 Clausthal University of Technology, Germany (Plenary)
  6. Ionic liquid/water mixture: Old and new solvents for proteins, H. Ohno, 1st Asia Pacific Conference on Ionic Liquids and Green Processes, 2008年11月08日 Beijing, China (Invited)
  7. Novel ionic liquids for polymers and biopolymers (KL-2) H. Ohno, EUCHEM 2008 Conference on Molten Salts and Ionic Liquids, 2008年8月25日 Copenhagen, Denmark (invited)
  8. Design of ionic liquids for non-aqueous bio fuel cells, H. Ohno, International conference on ionic liquids for electrochemical devices (ILED-2008) 2008年6月9日 Rome, Italy (invited)
  9. 電気化学分野でイオン液体とバイオはつながるか? (特 3L17) 大野弘幸, 電気化学会第75回大会 2008年3月31日 山梨大学 甲府 (invited)
  10. Design of Ionic Liquids to Dissolve Cellulose without Heating (IP03-045) K. Hayashi, Y. Fukaya, and H. Ohno, 2nd International Congress on Ionic Liquids (COIL-2) 2007年8月6日 Yokohama, Japan
  11. Structural design of ionic liquids for lithium ion batteries and non-aqueous fuel cells H. Ohno, International Conference on Polymer Batteries-Fuel Cells (PBFC-2007), 2007年6月11-15日 Rome, Italy (Invited)
  12. Is ionic liquid excellent partner to prepare thin film batteries? H. Ohno, IUPAC and ACS Conference on Macromolecules for a Safe, Sustainable and Healthy World, 2007年6月11日 New York, USA (Invited)
  13. Design and evaluation of ion conductive polymers based on ionic liquids, H. Ohno, 10th International Symposium on Polymer Electrolytes (ISPE-10), 2006年10月16日 Iguazu, Brazil (Invited)
  14. アミノ酸を出発物質とする新規疎水性イオン液体の構造と物性の相関 (2D20) 福元健太, 大野弘幸, 2006年電気化学会秋期大会 2006年9月15日 同志社大学
  15. グリーンの可能性が高いイオン液体の設計と機能 (特 2F-10) 大野弘幸, 電気化学会第73回大会 2006年4月2日 首都大学東京 (招待講演)
  16. One-dimensional ion conduction of ionic columnar liquid crystals (IEC 145) M. Yoshio, T. Mukai, H. Ohno, and T. Kato, The 231st American Chemical Society National Meetings, 2006年3月26日, Georgia World Congress Center, Atlanta, Georgia, U.S.A.
  17. Preparation of a series of ionic liquids as solvents for biopolymers (#696-758) Y. Fukaya, and H. Ohno, International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2005) 2005年12月18日, Honolulu, Hawaii.
  18. イオン液体を用いたキトサンの可溶化とゲル化 (1Pc125) 関川賢太、深谷幸信、大野弘幸、第54回高分子討論会 2005年9月20日 山形大学
- [図書](計41件)
1. "Design of polar ionic liquids to solubilize cellulose without heating" Y. Fukaya, K. Hayashi, S. S. Kim, and H. Ohno, ACS Symposium Series Volume 1033, "Cellulose Solvents: For Analysis, Shaping and Chemical Modification" Ed. By T.F. Liebert, T.J. Heinze, K.J. Edgar, Chapter 2, pp55-66 (2010)
  2. 「イオン液体 III -ナノ・バイオサイエンスへの挑戦-」大野弘幸 監修・編集・分担執筆 シーエムシー出版 (2010) 総243P
  3. "Preparation and properties of polymerized ionic liquids as film electrolytes" H. Ohno, and M. Yoshizawa, ACS Symposium Series 902, Ionic Liquids IIIB: Fundamentals, progress, challenges, and opportunities, Transformations and Processes, Ed. by R.D. Rogers and K.R. Seddon, Chapter 13, p159-170 (2005)
  4. "Electrochemical Aspects of Ionic Liquids" H. Ohno Ed., Wiley Interscience, New York (2005). 総392P
6. 研究組織
- (1)研究代表者  
大野 弘幸 (OHNO HIROYUKI)  
 東京農工大学 大学院共生科学研究院・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 大学院共生科学技術研究院・准教授  
 研究者番号：60313293  
松見 紀佳 (MATSUMI NORIYOSHI)  
 東京農工大学 大学院共生科学技術研究院・助教  
 研究者番号：60313293 (H17)  
水雲 智信 (MIZUMO TOMONOBU)  
 東京農工大学 大学院共生科学技術研究院・助教  
 研究者番号：90436676 (H19 H20)