

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24655142

研究課題名(和文) 化学反応によるCO₂捕捉の基礎と応用研究課題名(英文) Basic chemistry and application of chemical CO₂ capture

研究代表者

梅林 泰宏 (Umebayashi, Yasuhiro)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：90311836

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：CO₂は、地球温暖化の要因のひとつとされ、削減が求められている。水溶液を用いるCO₂吸収プロセスが提案されているが、より高効率な吸収プロセスの開発が期待されている。イオンのみからなり室温で液体のイオン液体は高いCO₂吸収特性を持ち、次世代プロセスへの応用が期待されている。酢酸イオンからなるイオン液体はCO₂と化合物を生じる溶解機構が提案されているが、化学種の構造は未だ明らかにされていなし。この構造が明らかにできれば、より効率の高い吸収液の開発に資する。本研究では、種々の分光・散乱実験と理論計算により、酢酸系イオン液体中のCO₂溶存構造を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：It is considered that CO₂ is one of the causative agents for the global Warming. Hence, It is required to reduce atmospheric CO₂. Although CO₂ absorption processes using aqueous solutions, it is necessary to develop more efficient process. Ionic liquids, which consist of only ions and have a melting point around ambient temperature, show good CO₂ solubility so that their applications to the next generation CO₂ absorption process is eagerly expected. For the acetate based ionic liquid, the solution mechanism that CO₂ forms a new compound to dissolve in them is proposed. However, its structure in solution is still unknown. Knowledge of such a solution mechanism and/or structure of newly formed CO₂ compound in solution leads to develop more efficient CO₂ absorption liquids/process. In this study, structure of newly formed CO₂ compound in an acetate based ionic liquid was revealed by means of combination of spectroscopic/scattering experiments and theoretical calculations.

研究分野：溶液化学

キーワード：イオン液体 二酸化炭素 Raman分光 X線散乱 ab initio計算 MDシミュレーション 溶媒和

1. 研究開始当初の背景

CO₂の排出削減は、地球規模の課題である。アミン系水溶液やアルコールなど非水溶液系吸収剤によるCO₂吸収プロセスが開発されているが、CO₂回収に高温加熱が必要で多くの熱エネルギーを要する。近年、室温溶融塩であるイオン液体の高いCO₂溶解能が報告され、CO₂吸収への応用が盛んに研究されている。多くのイオン液体のCO₂溶解特性が調査され、CO₂は陰イオンと分子間相互作用するとされている。イオン液体へのCO₂溶解機構を分子レベルで明らかにできれば、吸収特性向上に役立ち、Raman/IR や NMR など実験研究や分子動力学 (MD) シミュレーション研究が報告されている。

実空間分解能の高い高エネルギーX線回折 (HEXRD) 実験と MD シミュレーションを組み合わせる新たな液体構造解析法を確立し、極めて複雑なイオン液体の液体構造、および一般に X 線では困難とされる Li⁺イオン溶媒和構造の解析に成功した。最近、MD シミュレーションと高効率溶媒和自由エネルギー計算法を組み合わせ、実験と理論の両面から構造論とエネルギー論に立脚して、CO₂を溶解させたイオン液体の研究を進めている。近年、酢酸イオンからなるイオン液体の極めて高いCO₂吸収能が報告され、熱力学的解析から化学吸収が提案された。申請者らは、CO₂がイオン液体中で酢酸イオンと化学結合を形成して新たな化合物を生じることを明らかにした。金属イオン-炭素結合へのCO₂の挿入反応は、Kolbe-Schmitt 反応として知られており、類似の挿入反応はよく調べられている。しかし、CO₂が、金属イオンが存在しない溶液中でありふれた酢酸イオンと化学反応することは学術的に興味深く、また、この反応を応用できれば、新たなCO₂吸収剤の開発やCO₂から有用化合物への変換など技術的にも有用と考えた。

2. 研究の目的

本研究は、化学反応による新規CO₂吸収剤の開発や有用化合物への変換に資するCO₂とカルボン酸イオンとの反応性を基礎科学の立場から明らかにすることを目的とする。具体的な目的は、(1) CO₂-酢酸イオン化合物の単離・同定：生成した化合物を単離・同定し、CO₂と酢酸イオンの反応性を明らかにする。(2) CO₂との反応性と塩基性の関係：類似反応としてアミン系水溶液がよく知られている。塩基性が酢酸イオンより強く、アミン類より弱い化合物群を探索し、CO₂との反応性と塩基性の関係を明らかにする。(3) CO₂との反応性における溶媒効果：アミン系水溶液では、溶媒である水の影響が大きい。CO₂と酢酸イオンの反応は、酢酸系イオン液体に限られており、溶媒効果が大きいといえる。種々の溶媒中でCO₂との反応性を調査し、溶媒効果を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、Raman/IR 分光や NMR 分光と ab initio 計算を組み合わせアプローチする。しかし、Raman/IR 分光や NMR 分光は原子間距離など構造パラメータを決定できず、一方、ab initio 計算による溶媒和評価は、連続体モデルに基づく粗い近似である。そこで、本研究では、HEXRD 実験と MD シミュレーションを組み合わせる液体構造解析法の適用を試みる。HEXRD 実験では、放射光の高エネルギーX線を利用するため、広い逆空間の散乱データを収集でき、高い実空間分解能を達成できる。実際、申請者らは、電子分率が極めて小さなイオン液体中の Li⁺イオン溶媒和ピークの検出に成功している。また、MD シミュレーションでは、量子化学計算を組み込んだ QM/MM/MD 法の適用を試みる。とともに、最近提案された高効率自由エネルギー計算法であるエネルギー表示法によりCO₂溶媒和自由エネルギーを評価し、実験と理論の両面から構造論とエネルギー論に立脚して研究を進める。溶媒和の概念を拡張すると、膜や樹脂など高分子材料によるCO₂吸収、つまり、CO₂吸着については全く同様の手法で研究を進めることができる。

4. 研究成果

1-alkyl-3-methylimidazolium acetate [C_nIm⁺][AcO⁻] (n = 2, 4; alkyl chainlength) によるCO₂の溶解度曲線の熱力学的解析から化学吸収が提案された。一方、ab initio 計算によるAcO⁻⋯CO₂イオン会合体の結合エネルギーは、実測溶解エンタルピーを再現し、化学吸収に否定的な見解もある。CO₂を含む[C₄Im⁺][AcO⁻]のRaman/IR スペクトルを測定し (Fig. 1)、気相中および分極可能連続体モデル (PCM) による溶液中の ab initio 計算を行なった。[12] イオン液体に物理吸収されたCO₂は、Fermi 共鳴により 1275 および 1380 cm⁻¹ 付近に特徴的な Raman バンドが現れる。(図中矢印) Fig.1 から明らかなように物理吸収によるCO₂は全く検出されず、むしろ、AcO⁻由来の 1385 cm⁻¹ 付近の Raman バンドが減少し、1330 および 1460 cm⁻¹ 付近の強度が増加した。このように、CO₂が物理吸収か、あるいはAcO⁻と反応して新たな化合物を生成した

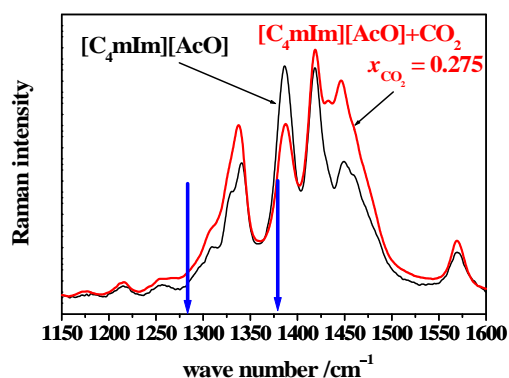


Fig. 1 Raman spectra

か、Raman スペクトルから明快に示すことができた。

Fig. 2 に ab initio 計算により見出した気相中の $\text{AcO}^- - \text{CO}_2$ 最適化構造を示す。O(AcO^-) - C(CO_2) 距離は約 1.7 Å であり、 CO_2 の LUMO と AcO^- 酸素近傍の軌道が重なり、化学結合の形成を強く示唆する。PCM 計算では、この距離が約 1.5 Å と短くなり、溶媒和による安定化が示唆された。ab initio 計算に基づき実測 Raman/IR バンドを帰属する化学種同定を試みたところ、概ね、実験を説明した。

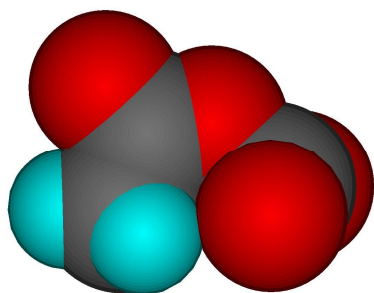


Fig. 2 Optimized geometry

さらに、SPring-8 において高エネルギー X 線回折 (HEXRD) 実験を行なった。HEXRD 実験では、全動径分布関数から $[\text{C}_4\text{mIm}^+][\text{AcO}^-]$ および CO_2 の分子内原子相関を差し引き、分子間動径分布関数を得ることができた。(Fig. 3) CO_2 を含む $[\text{C}_4\text{mIm}^+][\text{AcO}^-]$ の分子間動径分布関数には、3 Å 付近に密度増加が表れ、Raman 分光実験の結果を支持した。ab initio 計算により見出された構造を仮定して分子間動径分布関数を解析したところ、実験を再現し、HEXTD 実験の結果は、ab initio 計算の結果と矛盾しないことが明らかとなった。

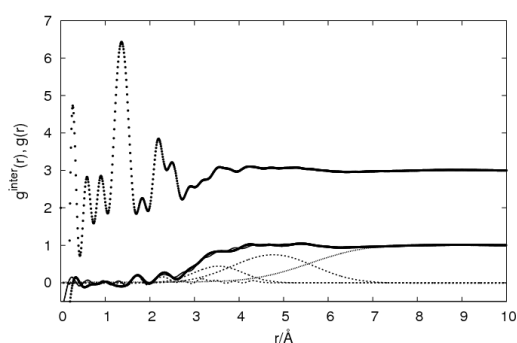


Fig. 3 $G(r)$ by HEXTD

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 27 件)

- [1] 梅林泰宏, 藤井健太, 斎藤蒼思, 渡辺日香里, 土井寛之, 次世代蓄電・発電デバイス電解液のスペシエーション分析：分

光熱力学 イオン液体中のリチウムイオン溶媒和, 分析化学, 2015, 64 巻, 3 号, 197 - 202 (査読あり)

DOI:10.2116/bunsekikagaku.64.197

- [2] [2] Ueno, K.; Tataru, R.; Tsuzuki, S.; Saito, S.; Doi, H.; Yoshida, K.; Mandai, T.; Matsugami, M.; Umebayashi, Y.; Dokko, K. et al., Li⁺ solvation in glyme-Li salt solvate ionic liquids, Phys. Chem. Chem. Phys. 2015, 17(12), 8248 - 8257 (査読あり) DOI:10.1039/C4CP05943C

- [3] Ishizuka, R.; Matubayasi, N.; Tu, K.; Umebayashi, Y., Energetic Contributions from the Cation and Anion to the Stability of Carbon Dioxide Dissolved in Imidazolium-Based Ionic Liquids, J. Phys. Chem. B 2015, 119(4), 1579 - 1587 (査読あり) DOI:10.1021/jp5101957

- [4] Ohara, K.; Umebayashi, Y.; Ichitsubo, T.; Matsumoto, K.; Hagiwara, R.; Arai, H.; Mori, M.; Orikasa, Y.; Okamoto, S.; Oishi, M. et al., Structural modification by adding Li cations into Mg/Cs-TFSA molten salt facilitating Mg electrodeposition, RSC Advances 2015, 5(4), 3063 - 3069 (査読あり) DOI:10.1039/C4RA13244K

- [5] Tsuzuki, S.; Shinoda, W.; Matsugami, M.; Umebayashi, Y.; Ueno, K.; Mandai, T.; Seki, S.; Dokko, K.; Watanabe, M., Structures of $[\text{Li}(\text{glyme})]^+$ complexes and their interactions with anions in equimolar mixtures of glymes and Li[TFSA]: analysis by molecular dynamics simulations, Phys. Chem. Chem. Phys. 2015, 17(1), 126 - 129 (査読あり) DOI:10.1039/C4CP04718D

- [6] Fujii, K.; Seki, S.; Ohara, K.; Kameda, Y.; Doi, H.; Saito, S.; Umebayashi, Y., High-Energy X-ray Diffraction and MD Simulation Study on the Ion-Ion Interactions in 1-Ethyl-3-methylimidazolium Bis(fluorosulfonyl)amide J. Solution Chem. 2014, 43(9-10), 1655 - 1668 (査読あり) DOI:10.1007/s10953-014-0234-8

- [7] Zhang, C.; Ueno, K.; Yamazaki, A.; Yoshida, K.; Moon, H.; Mandai, T.; Umebayashi, Y.; Dokko, K.; Watanabe, M., Chelate Effects in Glyme/Lithium Bis(trifluoromethanesulfonyl)amide Solvate Ionic Liquids. I. Stability of Solvate Cations and Correlation with Electrolyte Properties, J. Phys. Chem. B 2014, 118(19), 5144 - 5153 (査読あり) DOI:10.1021/jp501319e

- [8] Seki, S.; Tsuzuki, S.; Hayamizu, K.; Serizawa, N.; Ono, S.; Takei, K.; Doi, H.; Umebayashi, Y., Static and Transport Properties of Alkyltrimethylammonium

- Cation-Based Room-Temperature Ionic Liquids, *J. Phys. Chem. B* 2014, 118(17), 4590 - 4599 (査読あり)
DOI:10.1021/jp500123q
- [9] Miyazaki, T.; Kameda, Y.; Umebayashi, Y.; Doi, H.; Amo, Y.; Usuki, T., Conformation of ATP and ADP Molecules in Aqueous Solutions Determined by High-Energy X-ray Diffraction, *J. Solution Chem.* 2014, 43(9-10), 1487 - 1498 (査読あり)
DOI:10.1007/s10953-014-0153-8
- [10] 梅林泰宏, X線・中性子を用いた電解質溶液の構造解析, *電気化学および工業物理化学* 2013, 81(12), 986 - 990 (査読あり)
DOI:10.5796/electrochemistry.81.986
- [11] Fujii, K.; Hashimoto, K.; Sakai, T.; Umebayashi, Y.; Shibayama, M., Bronsted basicity of solute butylamine in an aprotic ionic liquid investigated by potentiometric titration, *Chem. Lett.* 2013, 42(10), 1250 - 1251 (査読あり)
DOI:10.1246/cl.130537
- [12] Fujii, K.; Hamano, H.; Doi, H.; Song, X.; Tsuzuki, S.; Hayamizu, K.; Seki, S.; Kameda, Y.; Dokko, K.; Watanabe, M.; Umebayashi, Y., Unusual Li⁺ Ion Solvation Structure in Bis(fluorosulfonyl)amide Based Ionic Liquid, *J. Phys. Chem. C* 2013, 117(38), 19314 - 19324 (査読あり)
DOI:10.1021/jp4053264
- [13] Doi, H.; Song, X.; Minofar, B.; Kanzaki, R.; Takamuku, T.; Umebayashi, Y., A New Proton Conductive Liquid with No Ions: Pseudo-Protic Ionic Liquids, *Chem. Eur. J.* 2013, 19(35), 11522 - 11526 (査読あり)
DOI:10.1002/chem.201302228
- [14] Fujii, K.; Shibayama, M.; Yamaguchi, T.; Yoshida, K.; Yamaguchi, T.; Seki, S.; Uchiyama, H.; Baron, A. Q. R.; Umebayashi, Y., Collective dynamics of room-temperature ionic liquids and their Li ion solutions studied by high-resolution inelastic X-ray scattering, *J. Chem. Phys.* 2013, 138(15), 151101/1 - 151101/4 (査読あり)
DOI:10.1063/1.4802768
- [15] Tsuzuki, S.; Shinoda, W.; Seki, S.; Umebayashi, Y.; Yoshida, K.; Dokko, K.; Watanabe, M., Intermolecular Interactions in Li⁺-glyme and Li⁺-glyme-TFSA⁻ complexes: Relationship with Physicochemical Properties of [Li(glyme)][TFSA] Ionic Liquids, *ChemPhysChem* 2013, 14(9), 1993 - 2001 (査読あり)
DOI:10.1002/cphc.201200843
- [16] Matsugami, M.; Fujii, K.; Ueki, T.; Kitazawa, Y.; Umebayashi, Y.; Watanabe, M.; Shibayama, M., Specific solvation of benzyl methacrylate in 1-ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethanesulfonyl)amide ionic liquid, *Anal. Sci.* 2013, 29(3), 311 - 314 (査読あり)
DOI:10.2116/analsci.29.311
- [17] Asai, H.; Fujii, K.; Nishi, K.; Sakai, T.; Ohara, K.; Umebayashi, Y.; Shibayama, M., Solvation Structure of Poly(ethylene glycol) in Ionic Liquids Studied by High-energy X-ray Diffraction and Molecular Dynamics Simulations, *Macromolecules* 2013, 46(6), 2369 - 2375 (査読あり)
DOI:10.1021/ma400218e
- [18] Kanzaki, R.; Doi, H.; Song, X.; Hara, S.; Ishiguro, S.; Umebayashi, Y., Acid-Base Property of N-Methylimidazolium-Based Protic Ionic Liquids Depending on Anion, *J. Phys. Chem. B* 2012, 116(48), 14146 - 14152 (査読あり)
DOI:10.1021/jp308477p
- [19] Yamaguchi, T.; Mikawa, K.; Koda, S.; Fujii, K.; Endo, H.; Shibayama, M.; Hamano, H.; Umebayashi, Y., Relationship between mesoscale dynamics and shear relaxation of ionic liquids with long alkyl chain, *J. Chem. Phys.* 2012, 137(10), 104511/1 - 104511/7 (査読あり)
DOI:10.1063/1.4751547
- [20] Seki, S.; Serizawa, N.; Hayamizu, K.; Tsuzuki, S.; Umebayashi, Y.; Takei, K.; Miyashiro, H., Physicochemical and electrochemical properties of 1-ethyl-3-methylimidazolium tris(pentafluoroethyl)trifluorophosphate and 1-ethyl-3-methylimidazolium tetracyanoborate, *J. the Electrochem. Soc.* 2012, 159(7), A967 - A971 (査読あり)
DOI:10.1149/2.032207jes
- [21] Hayamizu, K.; Tsuzuki, S.; Seki, S.; Umebayashi, Y., Multinuclear NMR Studies on Translational and Rotational Motion for Two Ionic Liquids Composed of BF₄⁻ Anion, *J. Phys. Chem. B* 2012, 116(36), 11284 - 11291 (査読あり)
DOI:10.1021/jp306146s
- [22] Kurisaki, T.; Tanaka, D.; Inoue, Y.; Wakita, H.; Minofar, B.; Fukuda, S.; Ishiguro, S.; Umebayashi, Y., Surface Analysis of Ionic Liquids with and without Lithium Salt Using X-ray Photoelectron Spectroscopy, *J. Phys. Chem. B* 2012, 116(35), 10870 - 10875 (査読あり)
DOI:10.1021/jp301658k
- [23] Seki, S.; Tsuzuki, S.; Hayamizu, K.; Umebayashi, Y.; Serizawa, N.; Takei, K.; Miyashiro, H., Comprehensive Refractive Index Property for Room-Temperature Ionic Liquids, *J. Chem. Eng. Data* 2012, 57(8), 2211 - 2216 (査読あり)
DOI:10.1021/je201289w

- [24] Song, X.; Kanzaki, R.; Ishiguro, S.; Umebayashi, Y., Physicochemical and acid-base properties of a series of 2-hydroxyethylammonium-based protic ionic liquids, *Anal. Sci.* 2012, 28(5), 469 - 474 (査読あり)
DOI:10.2116/analsci.28.469
- [25] Yamaguchi, T.; Mikawa, K.; Koda, S.; Serizawa, N.; Seki, S.; Fujii, K.; Umebayashi, Y., Effects of Lithium Salts on Shear Relaxation Spectra of Pyrrolidinium-Based Ionic Liquids, *J. Phys. Chem. B* 2012, 116(24), 7322 - 7327 (査読あり)
DOI:10.1021/jp3032308
- [26] Takeuchi, M.; Matubayasi, N.; Kameda, Y.; Minofar, B.; Ishiguro, S.; Umebayashi, Y., Free-Energy and Structural Analysis of Ion Solvation and Contact Ion-Pair Formation of Li^+ with BF_4^- and PF_6^- in Water and Carbonate Solvents, *J. Phys. Chem. B* 2012, 116(22), 6476 - 6487 (査読あり)
DOI:10.1021/jp3011487
- [27] Song, X.; Hamano, H.; Minofar, B.; Kanzaki, R.; Fujii, K.; Kameda, Y.; Kohara, S.; Watanabe, M.; Ishiguro, S.; Umebayashi, Y., Structural Heterogeneity and Unique Distorted Hydrogen Bonding in Primary Ammonium Nitrate Ionic Liquids Studied by High-Energy X-ray Diffraction Experiments and MD Simulations, *J. Phys. Chem. B* 2012, 116(9), 2801 - 2813 (査読あり)
DOI:10.1021/jp209561t
- 〔学会発表〕(計 45 件)
依頼・招待講演
- [1] 梅林泰宏、分光熱力学に基づく次世代リチウム-硫黄電池電解液のスペシエーション分析、日本化学会第 95 回春季年会、日本大学理工学部船橋キャンパス、千葉、2015/3/26-3/29
- [2] 梅林泰宏、イオン液体中のイオン溶媒和の一般性と特異性、資源・素材関係学協会合同秋季大会、熊本大学工学部百周年記念館、熊本、2014/9/15-19
- [3] Yasuhiro Umebayashi, Possibility of super Arrhenius ion conduction : pseudo-protic ionic liquids, 248th ACS National Meeting, San Francisco, CA, 2014/8/10-14.
- [4] Hiroyuki Doi, Structure and dynamics of pseudo-protic ionic liquids as novel proton conductors, Post symposium on ionic liquids from science to green chemical applications at 33rd International conference on solution chemistry, Tokyo, 2013/7/13
- [5] Yasuhiro Umebayashi, Structural heterogeneity in aprotic and protic ionic liquids, 6th international symposium on molecular thermodynamics and molecular simulation, Hiroshima University, Higashi-hiroshima campus, 2012/9/25-28
- [6] 梅林泰宏、イオン溶媒和 - 非水溶媒・イオン液体がもたらしたもの -, 日本分析化学会第 61 年会、金沢大学角間キャンパス、2012/9/19-21
- 口頭
- [7] 渡辺日香里、NMR によるイミダゾール-酢酸等量混合液体中の分子回転に関する研究、電気化学第 82 回大会、横浜国立大学、神奈川、2015/3/15-17
- [8] 渡辺日香里、PFG-NMR および高エネルギー X 線回折によるイミダゾール-酢酸等量混合液体のイオン伝導機構に関する研究、第 37 回溶液化学シンポジウム、アバンセ、佐賀、2014/11/12-14
- [9] 梅林泰宏、擬プロトン性イオン液体の超 Arrhenius プロトン伝導の可能性、第 5 回イオン液体討論会、横浜シンポジウム、神奈川、2014/10/28-29
- [10] 齊藤蒼思、 $[\text{Li}(\text{G}_i)][\text{TfSA}](\text{G}_i: \text{CH}_3\text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_i\text{CH}_3 \ i = 1,2 ; \text{TfSA} : (\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N})$ 溶媒和イオン液体の電池特性と Li^+ イオン局所構造、2014 年度電気化学会秋季大会、北海道大学高等教育推進機構、北海道、2014/9/27-28
- [11] 渡辺日香里、Raman 分光および磁場勾配 NMR によるイミダゾール-酢酸等量混合液体の研究、2014 年度電気化学会秋季大会、北海道大学高等教育推進機構、北海道、2014/9/27-28
- [12] 土井寛之、溶液の化学状態分析に基づく新規プロトン伝導液体に関する研究、日本分析化学会関東支部・同新潟地区部会、4 大学メディアキャンパス、新潟、2014/9/26
- [13] 梅林泰宏、リチウム グライム錯体系溶媒和イオン液体中のリチウムイオン局所構造、日本分析化学会第 63 年会、広島大学東広島キャンパス、広島、2014/9/17-19
- ポスター
- [14] 土井寛之、Pseudo-Protic Ionic Liquids *N*-メチルイミダゾール-酢酸等量混合液体の超 Arrhenius 的イオン伝導、第 37 回溶液化学シンポジウム、アバンセ、佐賀、2014/11/12-14
- [15] 土井寛之、トリグライムおよびテトラグライムからなるリチウム-グライム錯体系溶媒和イオン液体の誘電緩和、第 5 回イオン液体討論会、横浜シンポジウム、神奈川、2014/10/28-29
- [16] 齊藤蒼思、リチウム-グライム錯体系溶媒和イオン液体に関する分光熱力学的研究、第 5 回イオン液体討論会、横浜シンポジウム、神奈川、2014/10/28-29
- [17] 渡辺日香里、磁場勾配 NMR および ab initio 計算によるイミダゾール-酢酸等量混合液体中のプロトン伝導機構に関する研究、第 5 回イオン液体討論会、横浜

シンポジウム、神奈川、2014/10/28-29

- [18] Hiroyuki Doi, Dielectric Relaxation spectroscopic speciation analysis of *N*-methylimidazole equimolar mixture with acetic acid, RSC Tokyo International Conference, JASIS Conference, Makuhari Messe, Japan, 2014/9/4-5
- [19] Soshi Saito, Speciation and structure analysis of Li⁺ in the Li glyme solvate ionic liquids as new electrolytes for next generation lithium batteries, RSC Tokyo International Conference, JASIS Conference, Makuhari Messe, Japan, 2014/9/4-5
- [20] Hikari Watanabe, Raman and NMR spectroscopic speciation analysis of proton carrier in imidazole and acetic acid equimolar mixture as pseudo-protic ionic liquids of new proton conductors, RSC Tokyo International Conference, JASIS Conference, Makuhari Messe, Japan, 2014/9/4-5
- [21] Thomas Sonnleitner, Dynamics of protic and *pseudo*-protic ionic liquids, at EUCHEM2014, Radisson Blu Hotel Olümpia, Tallinn, Estonia, 2014/7/6-7/11

〔図書〕(計3件)

- [1] 梅林泰宏, 山口毅, 電気化学会編, 丸善, 改訂5版電気化学便覧 第4章 4-1 電解質溶液, 2012, 5
- [2] 梅林泰宏, 横山晴彦・田端正明編, 三共出版, 錯体化学会背選書8 錯体の溶液化学 2章4節 非水溶媒・混合溶媒中の金属イオンの溶媒和構造, 6章2節 熱力学的測定, 9章2s節 イオン液体と錯体化学, 2012, 30
- [3] 梅林泰宏, イオン液体研究会監修, 丸善, イオン液体の科学 新世代液体への挑戦 1-3-1 イオン液体の構造, 2012, 11

6. 研究組織

(1)研究代表者

梅林 泰宏 (UMEBAYASHI, Yasuhiro)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号: 90311836