

平成21年 5月18日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19550022
 研究課題名（和文） 常温イオン液体を吸着剤とした分子性液体の吸着・吸収挙動と構造
 研究課題名（英文） Absorption Behavior and Structure of Molecular Liquid
 in Room-Temperature Ionic Liquids as an Absorbent
 研究代表者
 高椋 利幸 (TAKAMUKU TOSHIYUKI)
 佐賀大学・理工学部・准教授
 研究者番号：70291838

研究成果の概要：1-Alkyl-3-methylimidazolium ($C_n\text{MIM}^+$, $n = 2-12$)系イオン液体の構造ならびにこれらのイオン液体に対する水、メタノール、アセトニトリル、ベンゼンの吸収・混合状態を赤外分光法、広角 X 線散乱法を用いてミクروسコピックに、小角中性子散乱法によりメゾスコピックに観測した。これらの結果からイオン液体と分子性液体の混合に対する水素結合性、双極子相互作用性、 π - π 相互作用性を考察した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・物理化学

キーワード：イオン液体，分子性液体，会合体，小角中性子散乱法，ATR-IR，水素結合，
 双極子相互作用， π - π 相互作用

1. 研究開始当初の背景

室温で液体状態の電解質であるイオン液体が新しい溶媒として脚光をあびている。イオン液体は、有機化合物でありながら極めて低い揮発性や難燃性、高いイオン伝導性などの特徴をもつ。これらの特徴を生かし、グリーンケミストリーの溶媒として、リチウム二次電池やキャパシタなど電気デバイスの溶媒としての応用研究が盛んになされている。しかし、応用研究と比較して、熱的性質、液体構造、ダイナミクスなどの物性研究は大きく遅れているのが現状である。確固たる科学

的根拠に基づいてこそ、イオン液体の応用が発展することはいうまでもない。

これまで、イオン液体に特徴的な性質である高イオン伝導性に関するいくつかの研究例が報告されている。たとえば、イオン液体に数種の分子性液体を混合して電気伝導度を測定した研究がある[1,2]。興味深いことに、イオン液体と分子性液体の種類により混合比と電気伝導度の関数がいくつかのパターンに分けられることが報告されている[1]。このような電気伝導度変化の原因は、イオン液体と分子性液体との混合状態を分子レベル

で明らかにしてはじめて解明できる。一方、いくつかのイオン液体に対する X 線結晶構造解析がなされており、イオン液体の結晶構造は陽イオンと陰イオンが層を形成したり [3]、イミダゾリウム系陽イオンの場合にはアルキル基鎖および陰イオンによって隙間を作り出したりするものが多いことがわかっている [4]。また、我々がやっているイミダゾリウム系イオン液体の広角 X 線散乱法 (LAXS) による研究では、液体状態においてもイオン液体は結晶構造に類似した構造を形成していることが明らかになっている。したがって、イオン液体に分子性液体が混合した場合、陽・陰イオンが形成する層構造や隙間が分子性液体の混入サイトになることが考えられる。このとき、分子性液体の特徴により陽イオンまたは陰イオンのいずれかと強く相互作用することも予測される。一方、イオン液体の極低揮発性は、それらを高真空下に置くことを許す。したがって、紫外線や X 線光電子分光法 (UPS, XPS) によりイオン液体の表面観察を行うことができ、イオン液体表面における陽・陰イオンの分布が明らかにされている [5-7]。すなわち、液体でありながら、固体表面的な取り扱いもできる。

これらのイオン液体の特徴をふまえると、イオン液体をソフトな吸着剤とし、水素結合性、高双極子モーメント性、 π 電子性などの特徴がある分子性液体を吸着質として蒸気拡散法による吸着・吸収実験を行うことができる。分子性液体の蒸気がイオン液体に吸着・吸収されたり、脱着されたりすることは、イオン液体を大気中に放置しておくとき水を吸収し、逆に、真空下に置くと脱水できる事実からもわかる。イオン液体に対する分子性液体の吸着・吸収挙動ならびに吸着構造を明らかにすることは、電気伝導度などの混合比依存性の原因を解明するうえで極めて重要な情報を与える。

[1] A. Jarosik et al., *J. Mol. Liquids*, **123**, 43 (2006); [2] T. Nishida, et al., *J. Fluorine Chem.*, **120**, 135 (2003); [3] A. R. Choudhury, et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 16792 (2005); [4] J. D. Holbrey et al., *Chem. Commun.*, **14**, 1636 (2003); [5] O. Hoeffft, et al., *Langmuir*, **22**, 7120 (2006); [6] E. F. Smith, et al., *Chem. Commun.*, 5633 (2005); [7] K. Takahiro, et al., *Nucl. Inst. Methods in Phys. Res. B*, **242**, 445 (2006).

2. 研究の目的

本研究は、1-alkyl-3-methylimidazolium ($C_n\text{MIM}^+$)系イオン液体に対する分子性液体 (水、メタノール、アセトニトリル、ベンゼン) の吸着・吸収挙動を明らかにすることを目的とする。分子性液体の吸収挙動に対するイオン液体のアルキル基鎖長および陰イオンの効果、分子性液体の水素結合性、高双極

子モーメント性、共役 π 電子性の効果を分子レベルで考察する。

3. 研究の方法

- (1) 陰イオンを tetrafluoroborate (BF_4^-) および bis(trifluoromethanesulfonyl)amide (TFSA^-) としたアルキル鎖長 $n = 2-12$ の $C_n\text{MIM}^+$ 系イオン液体を合成する。
- (2) 上記の純イオン液体の構造を広角 X 線散乱 (LAXS) 測定および分子動力学シミュレーション (MD) によって解明する。
- (3) 吸着天秤を用いて上記イオン液体に対する分子性液体の吸収等温線を測定する。
- (4) 吸収等温線に基づいた混合比でイオン液体に分子性液体を混合し ATR-IR スペクトルを測定する。
- (5) 小角中性子散乱 (SANS) 測定からイオン液体中における分子性液体のクラスター形成を観測する。
- (6) ^1H , ^{13}C NMR により、イオン液体と分子性液体の混合比による電子分布変化を観測する。

4. 研究成果

(1) 純イオン液体の構造

$C2\text{MIM}^+\text{BF}_4^-$ および $C2\text{MIM}^+\text{TFSA}^-$ の液体構造を LAXS 法による実験結果と MD 法による理論計算から解明した。Fig. 1 は $C2\text{MIM}^+\text{BF}_4^-$ に対する MD 計算によって得られたイミダゾリウム (IM) 環周りの BF_4^- の存在位置を示す空間動径分布関数 (Spatial Distribution Function, SDF) である。 $C2\text{MIM}^+\text{BF}_4^-$ では IM 環 C2, C4, C5 に 3.4, 4.4, 4.5 Å の距離において 4 つ BF_4^- が相互作用していることがわかった。この結果は、液体でもイオン液体が結晶構造に類似した構造をとることを示唆した。これらの研究成果は 5. 「主な発表論文等」に記述した雑誌論文①として発表した。

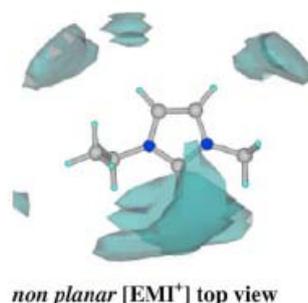


Fig. 1 SDF for BF_4^- around nonplanar $C2\text{MIM}^+$.

$C2\text{MIM}^+\text{TFSA}^-$ の液体構造においても IM 環と 4 つ TFSA^- が相互作用し、特に、C2 と強く相互作用していることが明らかになった。しかし、 $C2\text{MIM}^+\text{TFSA}^-$ の液体構造は、結晶構造とは明らかに異なっていた。すなわち、液体

中では、結晶で見られる C2MIM⁺と TFSA⁻が形成する層状構造はない。これは、液体中で C2MIM⁺と TFSA⁻の幾何異性体がそれぞれ存在することにより、陽イオンと陰イオンの相互作用の形態に自由度があるためと結論した。これらの成果は雑誌論文⑩にまとめた。

この他、いくつかの純イオン液体の構造を LAXS 法と MD 法により明らかにし雑誌論文として報告した。

(2)イオン液体-分子性液体混合溶液

CnMIM⁺Cl⁻および CnMIM⁺TFSA⁻ ($n = 2-12$)と分子性液体であるメタノール、アセトニトリル、ベンゼンを混合し、そのメゾスコピックならびにミクロスコピックな混合状態を小角中性子散乱(SANS)法やNMR法により観測した。

$n = 2$ のイオン液体の場合、陰イオンの電荷密度と分子性液体の電子受容性がイオン液体と分子性液体の均一または不均一混合に寄与していることが解明された。すなわち、電荷密度の高い Cl⁻系イオン液体は、大きな電子受容性をもつ水やメタノールとは均一に混合するのに対して、アセトニトリルとは不均一に混合し互いにクラスターを形成する。これとは対照的に、低電荷密度の TFSA⁻系イオン液体は、メタノールと不均一に混合し、大きな双極子性をもつアセトニトリルと均一に混合する。このように、陰イオンと分子性液体の相互作用が混合状態に寄与していることは、Cl⁻系およびTFSA⁻系イオン液体が、それぞれ、ベンゼンならびに水とほとんど混合しないことから理解できる。これらの研究成果は、雑誌論文⑤として報告した。

さらに、CnMIM⁺TFSA⁻ ($n = 4-12$)とメタノールとの混合溶液に対する SANS 実験から決定した不均一混合の指標である Ornstein-Zernike 相関長 ξ は、アルキル鎖長 $n = 4$ ではメタノールモル分率 $x_M = 0.95$ 付近で不均一性が最も高くなるのに対して、 $n = 6, 8, 10, 12$ ではより高いモル分率 $x_M = 0.97$ で不均一性が最大になることを示した。また、アルキル鎖長 n が増加するほど極大値は大きくなり、イオン液体とメタノールはより不均一に混合することが明らかになった。このことは、メタノール中に、CnMIM⁺の疎水的なアルキル鎖の会合によるドメインが形成されることを示唆している。

CnMIM⁺TFSA⁻ ($n = 4-12$)とベンゼンの混合状態を研究した。まず、両液体は、CnMIM⁺アルキル鎖長 $n = 4-10$ の場合、鎖長 n が短いほど高ベンゼンモル分率 x_{Bz} になると混合せず、 $n = 12$ では全てのモル分率範囲で混合することがわかった。次に、全モル分率範囲で混合する C12MIM⁺TFSA⁻ベンゼン混合溶液に対して SANS 測定を行った。この結果から、 $x_{Bz} = 0.9$ 以上で混合の不均一性が見られ、 x_{Bz}

$= 0.99$ で最も不均一に混合することがわかった。これらの結果から CnMIM⁺TFSA⁻ ($n = 4-12$)とベンゼンの混合を次のように考察した。低 x_{Bz} では両液体分子は主に IM 環とベンゼン環の π - π 相互作用によって混合する。しかし、CnMIM⁺のアルキル鎖長が短い場合、ベンゼン濃度が増加すると過剰のベンゼン分子はイオン液体とは相互作用できなくなる。この結果、イオン液体とベンゼンが混合しないモル分率範囲が現れる。長いアルキル鎖長をもつ CnMIM⁺では、IM 環との相互作用ができない過剰のベンゼン分子もアルキル基との相互作用によって混合することができる。このとき、IM 環-ベンゼン環と TFSA⁻からなる電荷部ドメインとアルキル鎖とベンゼン分子からなる非電荷部ドメインが形成され、混合状態の不均一性が増加する。

これらメタノールおよびベンゼン系の研究成果は論文投稿準備中である。

(3)イオン液体に対する水の吸収状態

室温における C2MIM⁺BF₄⁻に対する水の吸収ならびに水の吸収によるイオン液体の構造変化について研究した。まず、イオン液体が極低蒸気圧であることを利用して、多孔質物質に対する気体の吸脱着を観測するために用いる真空ライン接続の吸着天秤を適用して、C2MIM⁺BF₄⁻に対する水の吸収・脱着等温線を測定した。水の吸収・脱着は水の蒸気圧にのみ比例して可逆的に起こることがわかった。さらに、種々の温度に対する吸収等温線から Clausius-Clapeyron の式を用いてイオン液体に対する水の吸収エンタルピーを見積もった。Fig. 2 に水モル分率 x_w に対する吸収エンタルピーの変化を示す。

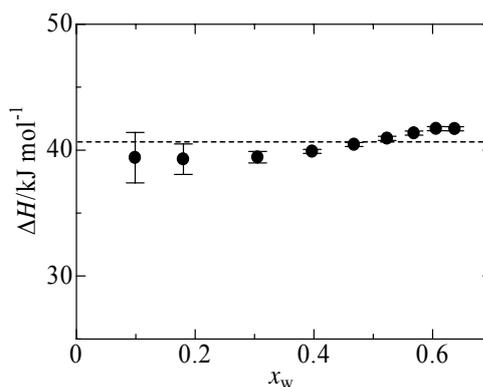


Fig. 2 Absorption enthalpies of water for EMI⁺BF₄⁻ as a function of mole fraction of water absorbed. Dashed line gives the enthalpy of vaporization for bulk water at 298 K.

この図から吸収エンタルピーは、 $x_w \approx 0.5$ までは純水の蒸発エンタルピー (図中破線) よりも小さく、 $x_w \approx 0.5$ 以上で蒸発エンタルピーよりも大きくなることがわかる。すなわち、前者ではイオン液体に水分子は弱く吸収さ

れているのに対して、後者では水分子が強く吸収されていることが考察された。このことは、ATR-IR 測定の結果と合理的に一致する。すなわち、 $x_w \leq \sim 0.3$ では水分子は BF_4^- に弱く相互作用して解離水分子として存在するのに対し、 $x_w > \sim 0.3$ では水分子同士が水素結合して会合体を形成する。さらに、LAXS 測定から得られた動径分布関数は、イオン液体 $\text{C2MIM}^+\text{BF}_4^-$ が水を吸収し $x_w > \sim 0.3$ になると IM 環 C2 と BF_4^- との相互作用が強化され、これとは対照的に C4 および C5 と BF_4^- との相互作用が弱くなることを示した。これらのことから、水素結合による水分子の会合体形成が、イオン液体の結晶類似構造をイオン対形成にまで弱める原因であると考察した。このことは、水と他の分子性液体との混合とは異なり、水分子と疎水的な C2MIM^+ および BF_4^- との間には強い相互作用が働かないためであると結論した。これらの研究成果は、*J. Phys. Chem. B* に投稿中である。

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 14 件)

① Liquid 1-Ethyl-3-methylimidazolium Tetrafluoro borate Studied by Large Angle X-ray Scattering Experiment and Molecular Dynamics Simulations, R. Kanzaki, T. Mitsugi, S. Fukuda, K. Fujii, M. Takeuchi, Y. Soejima, T. Takamuku, T. Yamaguchi, Y. Umebayashi, and S. Ishiguro, *J. Mol. Liquids*, **147**, 77-82 (2009). 査読有り

② Effect of Methylation at the C2 Position of Imidazolium on the Liquid Structure of Ionic Liquids Revealed by Large Angle X-ray Scattering Experiments and MD Simulations, K. Fujii, T. Mitsugi, T. Takamuku, T. Yamaguchi, Y. Umebayashi, and S. Ishiguro, *Chem. Lett.*, **38**, 340-341 (2009). 査読有り

③ Liquid Structure and the Ion-Ion Interactions of Ethylammonium Nitrate Ionic Liquid Studied by Large Angle X-ray Scattering and Molecular Dynamics Simulations, Y. Umebayashi, W.-L. Chung, T. Mitsugi, S. Fukuda, M. Takeuchi, K. Fujii, T. Takamuku, R. Kanzaki, and S. Ishiguro, *J. Comput. Chem. Jpn.*, **7**, 124-135 (2008). 査読有り

④ Thermal Properties and Mixing State of Diol-Water Mixtures Studied by Calorimetry, Large-Angle X-ray Scattering, and NMR Relaxation,

T. Takamuku, Y. Tsutsumi, M. Matsugami, and T. Yamaguchi, *J. Phys. Chem. B*, **112**, 13300-13309 (2008). 査読有り

⑤ Aggregation of Imidazolium Ionic Liquids in Molecular Liquids Studied by Small-Angle Neutron Scattering and NMR, T. Takamuku, Y. Honda, K. Fujii, and S. Kittaka, *Anal. Sci.*, **24**, 1285-1290 (2008). 査読有り

⑥ Ionic Liquid Studied by Large Angle X-ray Scattering and Molecular Dynamics Simulations, S. Fukuda, M. Takeuchi, K. Fujii, R. Kanzaki, T. Takamuku, K. Chiba, H. Yamamoto, Y. Umebayashi, and S. Ishiguro, *J. Mol. Liquids*, **143**, 2-7 (2008). 査読有り

⑦ Neutron Scattering and Dielectric Studies on Dynamics of Methanol and Ethanol Confined in MCM-41, S. Takahara, S. Kittaka, T. Mori, Y. Kuroda, T. Takamuku, and T. Yamaguchi, *J. Phys. Chem. C*, **112**, 14385-14393 (2008). 査読有り

⑧ Liquid Structure and Conformation of a Low-viscosity Ionic Liquid, *N*-Methyl-*N*-propylpyrrolidinium Bis(fluorosulfonyl) Imide Studied by High-energy X-ray Scattering, K. Fujii, S. Seki, S. Fukuda, T. Takamuku, S. Kohara, Y. Kameda, Y. Umebayashi, and S. Ishiguro, *J. Mol. Liquids*, **143**, 64-69 (2008). 査読有り

⑨ Microinhomogeneity for Aqueous Mixtures of Water-miscible Organic Solvents, T. Takamuku, Y. Noguchi, M. Nakano, M. Matsugami, H. Iwase, and T. Otomo, *J. Ceram. Soc. Japan*, **115**, 861-866 (2007). 査読有り

⑩ Anion Conformation of Low-viscosity Room Temperature Ionic Liquid, 1-Ethyl-3-methylimidazolium Bis(fluorosulfonyl) Imide, K. Fujii, S. Seki, S. Fukuda, R. Kanzaki, T. Takamuku, Y. Umebayashi, and S. Ishiguro, *J. Phys. Chem. B*, **111**, 12829-12833 (2007). 査読有り

⑪ Heterogeneity of Acetonitrile-Water Mixtures in the Temperature Range 279-307 K Studied by Small-Angle Neutron Scattering Technique, T. Takamuku, Y. Noguchi, M. Matsugami, H. Iwase, T. Otomo, and M. Nagao, *J. Mol. Liquids*, **136**, 147-155 (2007). 査読有り

⑫ Liquid Structure of Acetic Acid-Water and Trifluoroacetic Acid-Water Mixtures Studied by Large-Angle X-ray Scattering and NMR, T. Takamuku, Y. Kyoshoin, H. Noguchi, S. Kusano, and T. Yamaguchi, *J. Phys. Chem. B*, **111**, 9270-9280 (2007). 査読有り

⑬ Structure and Dynamic Properties of Liquids Confined in MCM-41 Mesopores, T. Yamaguchi, K. Yoshida, P. Smirnov, T. Takamuku, S. Kittaka, S. Takahara, Y. Kuroda, and M.-C. Bellissent-Funel, *Eur. Phys. J. Special Topics*, **141**, 19-27 (2007). 査読有り

⑭ Alkali Chlorides-Induced Phase Separation of Acetonitrile-Water Mixtures Studied by Small-Angle Neutron Scattering, T. Takamuku, Y. Noguchi, E. Yoshikawa, T. Kawaguchi, M. Matsugami, and T. Otomo, *J. Mol. Liquids*, **131/132**, 131-138 (2007). 査読有り

〔学会発表〕(計 25 件)

① 混合溶液がつくるミクロな不均一性と溶媒環境, 高椋利幸, 日本化学会第 89 回春季年会 特別企画「非常態の水の機能と計測科学」, 船橋, 3 月, (2009).

② イミダゾリウム系イオン液体とメタノールとの混合状態, 下村拓也, 本田裕介, 高椋利幸, 日本化学会第 89 回春季年会, 船橋, 3 月, (2009).

③ アミド誘起によるフッ化アルコール-水混合溶液の相分離の研究, 高椋利幸, 下村拓也, 藤井健太, 和田 浩, 立川真衣, 飛石真理絵, 中性子科学会第 8 回年会, 名古屋, 12 月, (2008).

④ HFIP-水混合溶液がつくる溶媒環境と相分離, 高椋利幸, 和田 浩, 藤井健太, 竹内宗孝, 第 31 回溶液学シンポジウム, 大阪, 11 月, (2008).

⑤ 1-アルキル-3-メチルイミダゾリウム系イオン液体のナノ相分離構造に関する実験および理論的研究, 藤井健太, 高椋利幸, 梅林泰宏, 金久保光央, 亀田恭男, 石黒慎一,

第 31 回溶液学シンポジウム, 大阪, 11 月, (2008).

⑥ 各種分子性液体とイミダゾリウム系イオン液体との混合, 下村拓也, 高椋利幸, 第 31 回溶液学シンポジウム, 大阪, 11 月, (2008).

⑦ SANS および NMR 法による分子性液体中でのイミダゾリウム系イオン液体の会合体形成, 高椋利幸, 本田裕介, 藤井健太, 日本分析化学会第 57 回年会, 福岡, 9 月, (2008).

⑧ イオン液体中で形成する特殊反応場構造とそのアルキル鎖長依存性, 藤井健太, 福田周平, 高椋利幸, 小原真司, 金久保光央, 亀田恭男, 梅林泰宏, 石黒慎一, 日本分析化学会第 57 回年会, 福岡, 9 月, (2008).

⑨ イミダゾリウム系イオン液体の C2 メチル化が液体構造に及ぼす効果, 光木卓志, 福田周平, 藤井健太, 高椋利幸, 山口敏男, 梅林泰宏, 石黒慎一, 日本分析化学会第 57 回年会, 福岡, 9 月, (2008).

⑩ イミダゾリウム系イオン液体の液体構造とそのアルキル鎖長依存性, 藤井健太, 福田周平, 高椋利幸, 小原真司, 金久保光央, 亀田恭男, 梅林泰宏, 石黒慎一, 電気化学会第 75 回大会, 甲府, 3 月, (2008).

⑪ 広角 X 線散乱実験および MD シミュレーションによるイオン液体, 1-ethyl-3-methylimidazolium bis-(trifluoromethanesulfonyl) imide の液体構造解析, 藤井健太, 福田周平, 高椋利幸, 神崎亮, 梅林泰宏, 石黒慎一, 電気化学会第 75 回大会, 甲府, 3 月, (2008).

⑫ Alkyl-chain Dependence on Meso- and Micro-scale Liquid Structure of Imidazolium Based Room Temperature Ionic Liquid, K. Fujii, T. Takamuku, S. Fukuda, R. Kanzaki, M. Kanakubo, Y. Kameda, Y. Umebayashi, S. Ishiguro, EUCHEM 2008 Conference on Molten Salts and Ionic Liquids, Copenhagen, Denmark, August 24-29 (2008).

⑬ X 線及び中性子散乱でみるイオン液体と分子性液体の混合, 高椋利幸, 本田裕介, 教正院康裕, 藤井健太,

橘高茂治, 山口敏男,
中性子科学会第 7 回年会, 福岡, 11月,
(2007).

⑭ Solvation Behavior of Diol Molecule in Alcohol-Water Mixtures,
T. Takamuku, M. Tanaka, T. Sako, K. Fujii, and M. Takeuchi,

Joint Conference of JMLG/EMLG Meeting 2007 and 30th Symposium on Solution Chemistry of Japan,
Fukuoka, Japan, November 21-25 (2007).

⑮ Molecular and Liquid Structures of Low-viscosity Room Temperature Ionic Liquid, 1-Ethyl-3-methylimidazolium Bis(fluoro sulfonyl) Imide,

K. Fujii, S. Seki, S. Fukuda, T. Takamuku, S. Kohara, Y. Kameda, Y. Umebayashi, and S. Ishiguro,

Joint Conference of JMLG/EMLG Meeting 2007 and 30th Symposium on Solution Chemistry of Japan,
Fukuoka, Japan, November 21-25 (2007).

⑯ Theoretical and Experimental Studies on the Structures of Ionic Liquids Composed of 1-Ethyl-3-methylimidazolium,

Y. Umebayashi, S. Fukuda, M. Takeuchi, R. Kanzaki, K. Fujii, T. Takamuku, and S. Ishiguro,

Joint Conference of JMLG/EMLG Meeting 2007 and 30th Symposium on Solution Chemistry of Japan,
Fukuoka, Japan, November 21-25 (2007).

⑰ Raman 分光及び中性子小角散乱による混合溶媒ホルムアミド-*N,N*-ジメチルホルムアミドの混和性と Zn^{2+} イオンの選択的溶媒和,
光木卓志, 藤井健太, 高椋利幸, 梅林泰宏, 石黒慎一,
2007 年電気化学秋季大会, 東京, 9月, (2007).

⑱ Behavior of Water Molecules Absorbed in Imidazolium Ionic Liquid,

T. Takamuku, Y. Kyoshoin, K. Fujii, S. Kittaka, and T. Yamaguchi,

2nd International Congress on Ionic Liquids,
Yokohama, Japan, August 5-10 (2007).

⑲ Anion Conformation of Low-Viscosity Room-Temperature Ionic Liquid, 1-Ethyl-3-Methylimidazolium Bis(fluorosulfonyl) Imide

K. Fujii, S. Shiro, T. Takamuku, Y. Umebayashi, and S. Ishiguro,

2nd International Congress on Ionic Liquids,
Yokohama, Japan, August 5-10 (2007).

⑳ Molecular and Liquid Structures of 1-Ethyl-3-methylimidazolium Ionic Liquids with Various Anions,

Y. Umebayashi, S. Fukuda, M. Takeuchi, R. Kanzaki, K. Fujii, T. Takamuku, and S. Ishiguro,
2nd International Congress on Ionic Liquids,
Yokohama, Japan, August 5-10 (2007).

㉑ X-ray Diffraction Study on Structure of Imidazolium Ionic Liquids,

T. Takamuku, K. Fujii, R. Kanzaki, Y. Umebayashi, S. Ishiguro, and T. Yamaguchi,
30th International Conference on Solution Chemistry, Perth, Australia, July 16-20 (2007).

㉒ Solvent Composition Effects on Relaxation of Bulk Water Molecules and on Water Molecule Exchange Reaction of Aquanickel(II) in Aqueous Mixed Solvents with 2-Propanol or 1-Propanol,
M. Tabata, M. Baba, E. Goto, and T. Takamuku,
30th International Conference on Solution Chemistry, Perth, Australia, July 16-20 (2007).

㉓ *N,N*-ジメチルホルムアミド-ホルムアミド混合溶媒の液体構造と Zn^{2+} イオンの溶媒和,
光木卓志, 藤井健太, 高椋利幸, 梅林泰宏, 石黒慎一,
第 44 回化学関連支部合同九州大会, 北九州,
7月, (2007).

㉔ ホルムアミド-*N,N*-ジメチルホルムアミド混合溶媒の液体構造と金属イオン溶媒和,
藤井健太, 光木卓志, 高椋利幸, 梅林泰宏, 石黒慎一,
電気化学会第 74 回大会, 野田, 3月, (2007).

㉕ Solvation Field Provided by Alcohol-Water Mixtures (Invited),

T. Takamuku,
第 4 回九州溶液化学懇談会, 福岡, 3月,
(2007).

[その他]
ホームページ
<http://solution.chem.saga-u.ac.jp/>

6. 研究組織
(1) 研究代表者
高椋利幸 (TAKAMUKU TOSHIYUKI)
佐賀大学・理工学部・准教授
研究者番号: 70291838

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし