

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005 ~ 2009

課題番号：17073017

研究課題名（和文） イオン液体の電解質機能設計

研究課題名（英文） Functional design of ionic liquid electrolytes for novel electrochemical devices

研究代表者

松本 一 (MATSUMOTO HAJIME)

独立行政法人産業技術総合研究所・ユビキタスエネルギー研究部門・主任研究員

研究者番号：80358043

研究成果の概要（和文）：

イオン液体の主としてリチウム電池への適用を目指し、特に電気化学窓の広い脂肪族四級アンモニウムからなるイオン液体の低粘性、低融点化のための新規アニオンの開発、ならびにリチウム二次電池特性に及ぼすイオン液体構造の効果について詳細に検討し、優れた特性を示すイオン液体の設計指針の導出を試みた。

研究成果の概要（英文）：

To develop a lithium secondary battery electrolyte with using ionic liquids (ILs) as a safe electrolyte, new perfluoroanions were investigated to lower both melting point and viscosity of ILs containing aliphatic quaternary ammonium. Through the charge and discharge of a Li/LiCoO₂ test cell using various ILs, the structure of anion was the most important factor to achieve better battery performance using ILs.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	7,800,000	0	7,800,000
2006年度	7,800,000	0	7,800,000
2007年度	7,800,000	0	7,800,000
2008年度	7,800,000	0	7,800,000
2009年度	7,800,000	0	7,800,000
総計	39,000,000	0	39,000,000

研究分野：電気化学

科研費の分科・細目：再生可能エネルギー

キーワード：イオン液体、電解質、電気化学デバイス、第一原理計算

1. 研究開始当初の背景

近年の温暖化問題の高まりにより、乗用車等の内燃機関を用いた移動体の電動車両化が急速に進展し、それに伴い蓄電システムの高容量化、高出力化の要望が高まっている。そのため従来のニッケル水素電池から、電解液に有機溶媒を用い、水の分解電位を遥かに

上回る4Vもの出力を発生するリチウム二次電池に期待が集まっているが、安全性の観点から電解液等の難燃化に関する研究開発が活発化している。難燃化の方法の一つとして、溶媒を全く含まず難燃性が期待されるイオン液体の新規な電解質としての可能性が注目されている。しかしながら、イオン液体は

正負イオン間の強い静電相互作用が存在するため、粘性や融点が分子液体に比べて高いという問題点があること、さらに電極、セパレータ等との親和性（ぬれ性）が分子液体とは異なる可能性があるため、電気化学システム特にリチウム二次電池に適用可能なイオン液体の機能設計が求められている。

2. 研究の目的

1. で述べた背景から、(1) 低粘性、低融点を与えるイオン液体の創製を行う。特にリチウム二次電池系に必要な電気化学的に安定な脂肪族四級アンモニウムからなるイオン液体系の物性改良に必要なバルク物性とイオン構造の相関に関する基礎的検討を行い分子構造の導出と新規イオン液体の合成を行う。次に (2) リチウム二次電池性能に及ぼす内部抵抗とイオン液体構造および物性との相関性について詳細に検討し、性能の高いリチウム二次電池を得るためのイオン液体構造について指針を得る。最後に (3) 電気化学デバイスで想定される電極やセパレータ材料等の固相とこれらイオン液体の界面特性に関する実験的手法ならびに計算科学的手法の両面について多角的に調べると共に、イオン液体構造との相関について明らかにする。これらを通じ、リチウム二次電池系に適したイオン液体の電解質機能発現に必要な分子設計指針を示すことを目標とする。

3. 研究の方法

(1) 脂肪族四級アンモニウムとして、粘性が低くなることが知られている五員環状構造さらに六員環構造を選択し、環内部、あるいは側鎖への酸素原子の有無について検討した。アニオン種としては最も代表的な TFSA^- ($[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}]^-$) 等のアミド系ではなく、脂肪族四級アンモニウムとはイオン液体を形成しにくい BF_4^- 中の一つのフッ素原子をパーフルオロアルキル鎖に置き換えた R_fBF_3^- を主として検討した。合成法は水中でのイオン交換法、ならびにイオン交換樹脂を用いた中和法を適宜使い、NMR、MS、元素分析による構造確認ならびに蛍光 X 線分析により純度の確認を行った。イオン液体物性と構造の相関にみならず、イオン液体の液体構造を検討するために小角 X 線散乱測定による構造推定について検討した。

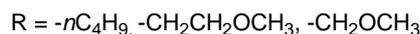
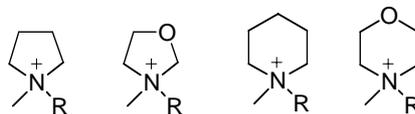
(2) リチウム二次電池試験評価セルとして、アルミラミネートセルを用いた。正極には、厚さ約 $8\mu\text{m}$ の一般的な組成のコバルト酸リチウム合剤電極（結着剤: PVDF、導電助剤: アセチレンブラック）、負極には金属リチウムを用いた。セパレータにはガラスフィルター (Whatmann GF/A、厚み $220\mu\text{m}$) を使い、 0.32 mol kg^{-1} の Li 塩を溶解させたイオン液体を電解液として使用した。

(3) 電池性能に影響を与えると考えられる電極界面におけるイオン液体と電極間の相互作用解析のモデルとして、Li 金属負極 / イオン液体界面を設定し、イオン液体と Li 電極の間の相互作用や界面での原子・電子挙動を微視的スケールから理解し、界面特性の支配因子を解明することを目的に、イオン液体 / 金属 Li 界面の第一原理計算 (密度汎関数理論に基づくスーパーセル計算) を実行した。

4. 研究成果

(1) アニオン種としては、 R_fBF_3^- ($\text{R}_f = n\text{C}_m\text{F}_{2m+1}$, $m=1-4$)、カチオン種として、図 1 に示すような環状の四級アンモニウムカチオンからなる塩を合成した。比較として、 TFSA^- 、 BF_4^- 塩の合成も同時に合成した。環状カチオンからなる 52 種の塩を合成した中で 14 種類については融点が室温以上であり固体であった。残る 38 種類の塩について、DSC、

Cation



Anion

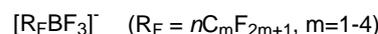


図 1 本研究で検討したイオン液体を構成するイオン種

TG、密度、粘度、導電率の各測定を検討した。アニオン種の粘性への影響については、概ね、 $[\text{C}_2\text{F}_5\text{BF}_3]^- \approx [\text{TFSA}]^- < [\text{nC}_3\text{F}_7\text{BF}_3]^- < [\text{CF}_3\text{BF}_3]^-$ 、 $[\text{nC}_4\text{F}_9\text{BF}_3]^- \ll [\text{BF}_4]^-$ の順序で増加することがわかった。粘性を支配する因子として、カチオン種での議論と同様に、静電相互作用（クーロン相互作用、双極子-双極子相互作用）、アニオンのフレキシビリティの観点から多くは説明できるが、 $[\text{CF}_3\text{BF}_3]^-$ からなる塩の粘性がよりサイズの大きな $[\text{C}_2\text{F}_5\text{BF}_3]^-$ 、 $[\text{nC}_3\text{F}_7\text{BF}_3]^-$ からなる塩よりも高い点が興味深く、 $[\text{TFSA}]^-$ が $[\text{C}_2\text{F}_5\text{BF}_3]^-$ よりもさらに大きなサイズを有しながら粘性がほぼ同じであることを合わせて考慮すると、コンフォメーションの自由度が高いフレキシブルな構造を持つ事が粘性の低減に重要であることが分かった。また、自由度との関連からガラス転移点 (T_g) と粘性の相関について検討したが、これまでのところ異なるアニオン種間の比較においては明確な相関は認められなかった。粘性低減のための現時点での設計指針としては、 $[\text{C}_2\text{F}_5\text{BF}_3]^-$ よりもフレキシブルな特徴を有するもの、また $[\text{TFSA}]^-$ よりも小さな分子量でかつより小さな四級アンモニウムカチオンと組み合わせる事が考えられる。

これらのイオン液体物性とイオン構造の相関性に関する検討から、次にイオン液体構造に関する知見を得るために、小角X線散乱測定を検討した。一例として、非対称脂肪族四級アンモニウム塩をカチオンとしたイオン液体における小角散乱測定の結果を図2に示す。 $q = 7\text{-}8 \text{ nm}^{-1}$ および $12\text{-}14 \text{ nm}^{-1}$ にそ

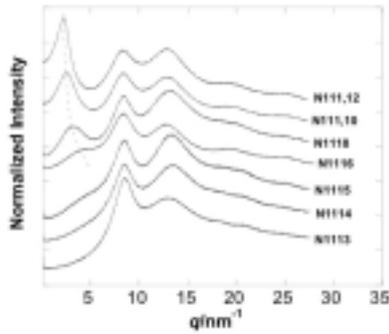


図2 トリメチルアルキルアンモニウム塩 (アニオン: TFSA)の小角X線散乱測定の結果

れぞれピークが認められた。これらはそれぞれカチオンおよびアニオン構造における散乱に起因し、いずれもほぼ同じ q 値を有する。特に $12\text{-}14 \text{ nm}^{-1}$ はハロゲン化物では認められなかったことから TFSA⁻に起因する散乱と考えられる。長いアルキル鎖を有する試料、すなわち N1116 においてわずかに認められるようになり、そのピークはアルキル鎖長の増加とともに低 q 値にシフトする明確な移動が認められるようになった。これは、隣接するアルキル鎖が互いに van der Waals 力により相互作用を有するようになり、アルキル鎖間に相当する相互作用により生じた周期構造に起因するものと考えられる

一方、環状アンモニウム構造との比較のためにいくつかの鎖状アンモニウムと R_4F_3B を組み合わせた塩を検討した中から、融点が 95 と高く室温では固体であるものの、DSC 測定による融解エントロピーが図3に示すように融解のエントロピーも $7.4 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ と Timmermans の定義を満たす柔粘性結晶相を有する塩 (N,N-diethyl-N-methyl-N-propylammonium trifluoromethyltrifluoroborate,

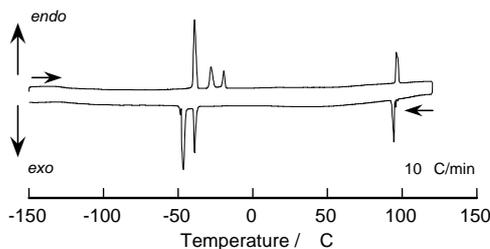


図3 $N_{2,2,1,3}[\text{CF}_3\text{BF}_3]$ のDSC測定の結果

$N_{2,2,1,3}[\text{CF}_3\text{BF}_3]$) が存在することがわかった。この塩は、従来の報告例には見られない、透明かつフレキシブルな自立膜を形成することが特徴であり、さらに例えばわずか 5mol% の Li^+ をドーブすることによって、導電率が 2 桁以上増加し、室温 25 で $10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ オーダーの固体電解質となる可能性を秘めていることが示唆された。

以上の結果より、アニオン構造にフレキシブルな要素を持ち込むことによっても、粘性や融点が劇的に低下することが明らかとなった。液体でありながら構造性を有する可能性が存在することは、イオン液体を電池電解質等へ応用するにあたり、従来の分子液体からなる電解液とは異なる要素を考慮する必要があることを示唆する。またこのような液体における構造性は、イオン液体とほぼ同じイオン構造からなる室温で固体の塩が優れた特性を有する柔粘性結晶を形成しうる事と関係があるものと考えられる。

(2) Li/LiCoO₂ セルの充放電電流密度依存性 (レート特性) に及ぼすイオン液体物性、特にリチウムイオンの輸送特性に影響を及ぼす粘性の効果を検討するために、カチオン種を、EMI 等のイミダゾリウム塩よりも広い電位窓を有し、かつ多くのアニオン種とイオン液体を形成する事が分かった、N,N-diethyl-N-methyl-N-(2-methoxymethyl) ammonium (DEME⁺) からなるイオン液体合成し、 0.32 mol kg^{-1} 一定となるように Li 塩を添加して得られた電池のレート特性を調べたところ、図4に示すようにアニオン種によってレート特性が大きく変化することが分かった。またその序列は用いたイオン液体の粘性に単純に比例しないことが分かった。

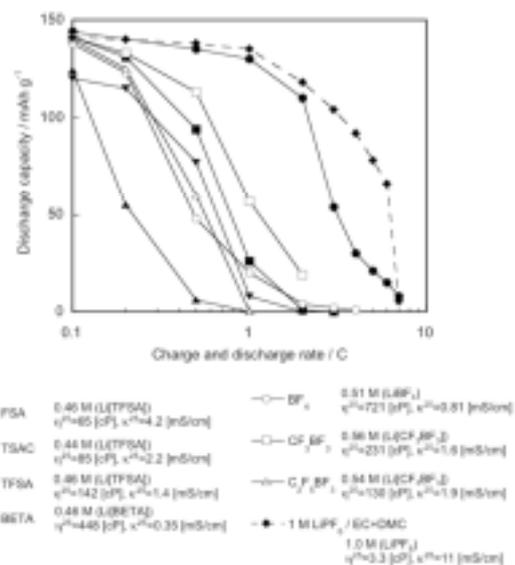


図4 種々の DEME 塩を用いた Li/LiCoO₂ セルのレート特性 (測定温度 $T=25$, $1 \text{ C}=0.2 \text{ mAcm}^{-2}$)

充電状態のセルの電気化学インピーダンススペクトル測定の結果から得られる、電極界面抵抗成分や Li イオン部分伝導度成分を求めたところ、これらについて、従来の分子液体やポリマー電解質系では強い粘性依存性が報告されているものの、イオン液体系では、レート特性の結果を同じくこれらの物性についても粘性と単純な相関性が見られなかった。これらの結果は、リチウム二次電池系において、アニオン種が重要な役割を果たしている事を強く示唆する。本研究では FSA アニオン ($[(\text{FSO}_2)_2\text{N}]^-$) が最も優れたレート特性を発現することが明らかとなったが、リチウムイオンとの相互作用が弱い事が関連しているものと考えられる。

(3) 上述のように、リチウム二次電池系ではアニオン種の影響が大きく、特に電極界面抵抗については、レート特性を支配する重要な因子であることから、電極/イオン液体界面のモデル計算として、Li(100)/EMI[BF₄] (一イオン対) の密度汎関数理論 (密度勾配近似(GGA))に基づく平面波基底 PAW 法での計算を検討した。さらにイオン液体側をより現実的な凝縮系構造で表すため、EMI[BF₄]結晶と Li(100)との間の界面の計算を行った。EMI[BF₄]結晶の第一原理計算では、van der Waals 相互作用を正確に扱えない GGA の弱点のため安定体積が過大に評価されるが、分子内構造や近接分子間の構造は良好に再現される。EMI[BF₄]結晶/Li 界面の安定構造を図に示す。分子ペア吸着の場合と同様、表面 Li 原子が BF₄ アニオンに引かれて変位し、Li 原子周囲の電子が EMI⁺に移動し部分的に還元している。図の塗られた部分は減った電子密度と増えた電子密度の分布で、BF₄ と相互作用する Li 原子の周りから電子が失われ、EMI⁺の軌道的な LUMO に電子が溜まっている。電子のやり取りは界面の 1~2 分子層以内に納まっている。イオン液体が結晶基盤上で規則的な局所構造を取ることを示す実験があり、今回の結晶/結晶の界面は実際のイオン液体/Li 界面とそれほど大きくは異ならないと考えられる。界面近傍の原子・電子

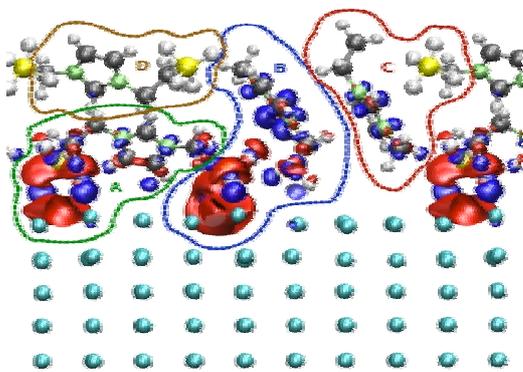


図5 EMI[BF₄]結晶/Li 界面の原子配列と電子移動

挙動は分子ペア吸着のものと定性的には同様で、分子ペアの吸着計算からも多くの示唆が得られると言える。

以上得られた知見を総括すると、イオン液体の物性を支配する因子のみならず、リチウム二次電池系における性能を左右する因子のいずれもが、イオン液体を構成するアニオン種に大きく依存する事が判明した。アニオン種の構造との相関性について、得られた知見を子細に見ると、イオン液体を構成する正負イオン間の相互作用、運動の自由度、またはリチウムイオンとアニオン間の相互作用、配位構造等に影響する正負イオン間相互作用がすべての鍵を握っているものと考えられ、物性との相関を吟味した結果、その一つの指標としては磁場勾配 NMR による自己拡散係数から理論的に得られるモル導電率と実測のモル導電率の比として求められるイオンシティーの高いイオン液体を設計することが電解質として優れたイオン液体となる可能性が高いとの結論を得た。

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 13 件)

松本 一, リチウム二次電池電解質としてのイオン液体の開発, 査読無, 科学と工業, 83 巻, 11 号, 2009, pp. 515-521.

Hajime Matsumoto, Hikari. Sakaebe, and Kuniaki Tatsumi, "Li/LiCoO₂ Cell Performance Using Ionic Liquids Composed of *N,N*-Diethyl-*N*-methyl-*N*-(2-methoxyethyl) ammonium - Effect of Anionic Structure", 査読有, *ECS Transactions.*, Vol. 16(35), 2009, pp. 59-66.

Hubert Valencia, Masanori Kohyama, Shingo Tanaka and Hajime Matsumoto, "Ab initio study of EMIM-BF₄ crystal interaction with a Li surface as a model for ionic liquids/Li interfaces in Li-ion batteries", 査読有, *J. Chem. Phys.*, Vol. 131, 2009, 244705.

Minoru Mizuhata, Takeshi Minowa, Masanori Maekawa, and Shigehito Deki, "Liquid Ordering Structure in Binary Room Temperature Ionic Liquids Based on Aliphatic Quaternary Ammonium Ions", 査読有, *ECS Transactions*, Vol.16(49), 2009, pp. 69-77.

Minoru Mizuhata, Takeshi Minowa, Shigehito Deki, "Ordering Structure of Binary Aliphatic Quaternary Ammonium Ionic Liquids: AQA-TFSA Systems", 査読有, *Electrochemistry*, Vol. 77(8), 2009, pp. 725-729.

Hubert Valencia, Masanori Kohyama, Shingo Tanaka, and Hajime Matsumoto, "Ab initio study of EMIM-BF₄ molecule adsorption on Li surfaces as a model for ionic liquids/Li interfaces in Li-ion batteries", 査読有, *Phys. Rev. B.*, Vol. 78(20), 2008, 205402.

Daisuke Oyamatsu, Takeshi Fujita, Satoshi Arimoto, Hirokazum Munakata, Hajime Matsumoto, Susumu Kuwabata, "Electrochemical desorption of a self-assembled monolayer of alkanethiol in ionic liquids", *Journal of Electroanal. Chem.*, 615(2), 2008, pp.110-116.

松本 一, フルデンによる中温域アンモニウム溶融塩の電気化学特性とその測定, 査読無, 溶融塩および高温化学, 51 巻, 1 号, 2008, pp.155-160.

Zhi-Bin Zhou, Hajime Matsumoto, "Lithium-doped, organic ionic plastic crystal electrolytes exhibiting high ambient temperature conductivities", 査読有, *Electrochem. Commun.*, Vol. 9, 2007, pp. 1017-1022.

Minoru Mizuhata, Masanori Maekawa, and Shigehito Deki, "Ordered structure in Room Temperature Molten Salts Containing Aliphatic Quaternary Ammonium Ions", 査読有, *ECS Transactions*, Vol. 3(35), 2007, pp. 89- 95.

Zhi-Bin.Zhou, Hajime Matsumoto, Kuniaki Tatsumi, "Cyclic quaternary ammonium ionic liquids with perfluoroalkyltrifluoroborates: Synthesis, Characterization, and Properties", 査読有, *Chem. Eur. J.*, Vol. 12, 2006, pp. 2196- 2212.

Hajime Matsumoto, Hikari Sakaebe, Kuniaki Tatsumi, Manabu Kikuta, Eriko Ishiko, Michiyuki Kono, "Fast cycling of Li/LiCoO₂ cell with low-viscosity ionic liquids based on bis(fluorosulfonyl)imide [FSI]", 査読有, *J. Power Sources*, Vol. 160, 2006, pp. 1308- 1313.

Hajime Matsumoto, Zhi-Bin Zhou, Hikari Sakaebe, Kuniaki Tatsumi, "Electrodeposition of sodium and lithium in room temperature ionic liquid: N-methyl-N-butylpyrrolidinium trifluoromethyltrifluoroborate", 査読有, *J. Rare Earths*, Vol. 23, 2005, pp.26-29.

[学会発表](計 18 件)

松本 一, イオン液体のリチウム二次電池電解質への応用, 日本化学会第 90 春季年会, 2010, 近畿大学 (依頼講演).

松本 一, イオン液体の電解質機能設計, 2009 年電気化学秋期大会, 2009 (依頼講

演) 東京農工大学.

Hajime Matsumoto, "Effect of Structure of Ionic Liquids on Li/LiCoO₂ Cell Performance", *4th International Conference on Polymer Batteries and Fuel Cells (PBFC2009)*, 2009, Yokohama, Japan (Invited).

Hajime Matsumoto, Hikari Sakaebe, Tatsuya Umecky, Naohiro Terasawa, Kuniaki Tatsumi, "Effect of Anionic Structure on Physical and Electrochemical Properties of Ionic Liquids as Lithium Metal Battery Electrolyte", *3rd Congress on Ionic Liquids (COIL-3)*, 2009, Cairns, Australia.

Hubert Valencia, Masanori Kohyama, Shingo Tanaka, and Hajime Matsumoto, "Ab initio study of Room Temperature Ionic Liquid interactions with Li metal surfaces as a model for ionic-liquids based Li batteries", *3rd Congress on Ionic Liquids (COIL-3)*, 2009, Cairns, Australia.

Hajime Matsumoto, Zhi-bin Zhou, Kuniaki Tatsumi, "Highly Conductive Organic Ionic Plastic Crystal Based on Perfluoroalkyltrifluoroborate", *International Meeting on Lithium Batteries (IMLB2008)*, 2008, Tianjin, China.

松本 一, リチウム二次電池電解質としての脂肪族四級アンモニウムからなるイオン液体の合成と物性, 日本化学会第 87 春季年会, 2008, 立教大学 (依頼講演).

Hajime Matsumoto, Hikari Sakaebe, Kuniaki Tatsumi, "Effect of Cationic Structure on Electrochemical and Physical Properties of Aliphatic Quaternary Ammonium Ionic Liquids Based on TFSA", *2008 Joint Symposium on Molten Salts*, 2008, Kobe, Japan (Invited).

Minoru Mizuhata, Takeshi Minowa, Masanori Maekawa, Shigehito Deki, "Ordered Structure Binary Ionic Liquids Based on Aliphatic Quaternary Ammonium Ions", *2008 Joint Symposium on Molten Salts*, 2008, Kobe, Japan.

Hajime Matsumoto, Hikari Sakaebe, Kuniaki Tatsumi, "Dependence of Anionic Species on Li/LiCoO₂ Cell Performance Using Ionic Liquids Composed of N, N-Diethyl-N-methyl-N-(2-methoxyethyl) ammonium", *Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-state Science (PRiME2008)*, 2008, Honolulu, USA. (Invited)

Minoru Mizuhata, Takeshi Minowa,

Masanori Maekawa, Shigehito Deki, "Thermophysical Properties of Binary Aliphatic Quaternary Ammonium Ionic Liquids: TMPAFSIXTFSII-x", *Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-state Science (PRiME2008)*, 2008, Honolulu, USA.

Minoru Mizuhata, Takeshi Minowa, Masanori Maekawa, Shigehito Deki, "Ordering Structure of Binary Aliphatic Quaternary Ammonium Ionic Liquids", *Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-state Science (PRiME2008)*, 2008, Honolulu, USA.

Hajime Matsumoto, Zhi-bin Zhou, Hikari Sakaebe, Kuniaki Tatsumi, "Charge-Discharge Property Of Li/LiCoO₂ Cell Using Ionic Liquids Comprised Of Aliphatic Quaternary Ammonium And Perfluoroalkyltrifluoroborate", *2nd International congress on ionic liquids (COIL-2)*, 2007, Yokohama, Japan. (Invited)

Minoru Mizuhata, Takeshi Minowa, and Shigehito Deki, "Ordered Structure in Single and Binary Ionic Liquids Containing Aliphatic Quaternary Ammonium Ion", *2nd International congress on ionic liquids (COIL-2)*, 2007, Yokohama, Japan.

松本 一, パーフルオロアニオンからなるイオン液体のリチウム二次電池への応用, 第31回フッ素化学討論会, 2007, 弘前市(依頼講演).

Zhi-bin Zhou, Hajime Matsumoto, Kuniaki Tatsumi, "Physicochemical Properties of Quaternary Ammonium Ionic Liquids with Perfluoroalkyltrifluoroborates", *International Meeting on Lithium Batteries (IMLB2006)*, 2006, Biarritz, France.

Zhi-bin Zhou, Hajime Matsumoto, Kuniaki Tatsumi, "Cyclic Quaternary Ammonium Ionic Liquids with Perfluoroalkyltrifluoroborates", *The Electrochemical Society 208th Meeting*, 2005, Los Angeles, USA.

〔図書〕(計7件)

松本 一(分担), 溶融塩(イオン液体), 電池ハンドブック, 2010, pp. 164-166, オーム社.

松本 一(分担), パーフルオロアニオンが拓く新規電解質, 高性能蓄電池—設計基礎研究から開発・評価まで, 2009, pp. 81-86, エヌ・ティー・エス.

松本 一(分担), イオン液体を使った電池, 次世代自動車用リチウムイオン電池の材料開発, 2008, pp. 149-158, シーエムシー出版.

松本 一(分担), リチウム二次電池系

におけるイオン液体電解質の可能性, 全固体二次電池の開発, 2007, pp. 255-268.

松本 一(分担), イオン液体の開発状況と展望, ユビキタスエネルギーの最新技術, 2006, pp. 39-45, シーエムシー出版.

松本 一, 栄部 比夏里(分担), リチウム金属電池への新展開, イオン液体 II -驚異的な進歩と多彩な近未来-, 2006, pp. 224-228, シーエムシー出版.

Hajime Matsumoto in *Electrochemical Aspects of Ionic Liquids*; Hiroyuki Ohno Ed.; John Wiley & Sons, New Jersey. 2005; Chapters 4,14,15.

〔産業財産権〕
出願状況(計1件)

名称: プラスチッククリスタル
発明者: 松本一, 周志彬
権利者: 独立行政法人産業技術総合研究所
種類: 特許
番号: WO2008/081811A1
出願年月日: 2007/12/26
国内外の別: 外国

〔その他〕
論文の引用回数等
<http://www.researcherid.com/rid/B-5372-2008>

プラスチッククリスタルに関する広報 HP
http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/aist_today/vo109_05/p12.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 一 (MATSUMOTO HAJIME)
独立行政法人産業技術総合研究所・ユビキタスエネルギー研究部門・主任研究員
研究者番号: 80358043

(2) 研究分担者

香山 正憲 (KOUYAMA MASANORI)
独立行政法人産業技術総合研究所・ユビキタスエネルギー研究部門・上席研究員
研究者番号: 60344157

水畑 穰 (MIZUHATA MINORU)
神戸大学工学部・准教授
研究者番号: 10283871

栄部 比夏里 (HIKARI SAKAEBE)
独立行政法人産業技術総合研究所・ユビキタスエネルギー研究部門・主任研究員
研究者番号: 80357491