

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03874

研究課題名(和文)電気化学界面における溶媒和イオン液体の特異な電荷移動反応

研究課題名(英文)Charge Transfer Reaction at the Electrode/Solvate Ionic Liquid Interface

研究代表者

獨古 薫 (DOKKO, Kaoru)

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：70438117

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、アルカリ金属塩と溶媒から構成される溶融した錯体(溶媒和イオン液体)を電解質として用い、これらの錯体の特異な電気化学反応に関して基礎的な研究を行った。電解液中におけるイオンと溶媒の相互作用について、分光学的な手法や計算化学の手法により解析を進め、これらが電極/電解液界面における電気化学反応に及ぼす影響を解析した。その結果、塩濃度が3 mol/Lを超えるような溶媒和イオン液体では、ほぼ全ての溶媒分子は金属イオンの溶媒和に参加しており、フリーな溶媒はほとんど存在せず、その結果、溶媒活量は極めて小さくなり、これが電気化学反応過程に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

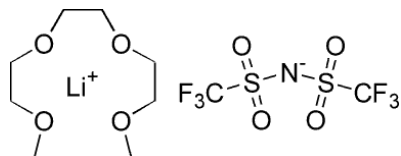
研究成果の概要(英文)：Alkali metal salts and solvents (ligands) form complexes (solvates) in certain molar ratios. The complexes having melting points below room temperature are called solvate ionic liquids (SILs). The interaction between the metal ions and solvents were elucidated using spectroscopic and computational methods. The concentration of salt exceeds 3 mol/L in SILs. Almost all the solvent molecules are involved in the solvation of the metal ions in SILs, and free (uncoordinated) solvents scarcely exist. This results in the very low activity (chemical potential) of the solvents in the SILs. This study revealed that the activity of solvent gives significant effects on the electrochemical reaction process at the electrode/SIL interface.

研究分野：電気化学

キーワード：電解液 イオン液体 溶媒和物 インターカレーション 電池

1. 研究開始当初の背景

溶媒和イオン液体は、溶媒(配位子)と塩から構成される。溶媒と塩(イオン)の相互作用が強い場合、定比で溶媒和物を形成することが知られている。Li 塩や Na 塩などのアルカリ金属塩はエーテルなどの溶媒と溶媒和物を形成し、その結晶構造などは詳細に検討されている。我々のグループでは、アルカリ金属塩を構成するアニオンの構造と溶媒(配位子)の種類を適切に選ぶと、溶媒和物(錯体)の融点が室温以下になり、イオン液体(常温熔融塩)に類似の性質(難燃性、難揮発性、高イオン伝導性など)を示すことを見出し、“溶媒和イオン液体”と命名した。グライム(glyme: $\text{CH}_3\text{-O-(CH}_2\text{-CH}_2\text{-O)}_n\text{-CH}_3$)などのエーテル系溶媒は、エーテル酸素の非共有電子対(ローンペア)により、ルイス塩基性(電子供与性)が比較的強く、ローンペアをルイス酸である Li^+ イオンに供与して配位(溶媒和)する力が強い。グライム類は一つの分子内に複数のエーテル酸素を有する多座配位子であり、 Li^+ と寿命の長い錯カチオンを形成する。上記グライムの鎖長が $n = 3$ (トリグライム, G3) および $n = 4$ (テトラグライム, G4) の場合には、グライム分子と Li^+ イオンが 1:1 で錯カチオン $[\text{Li}(\text{glyme})]^+$ を形成する (Figure 1)。この溶融錯体は、 Li^+ イオンが溶媒和されて生成する錯カチオン $[\text{Li}(\text{glyme})]^+$ と $[\text{TFSA}]^-$ (TFSA: $\text{N}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2$) などのアニオンから成るイオン液体とみなすことができる。

Figure 1. Structure of $[\text{Li}(\text{G3})][\text{TFSA}]$.

2. 研究の目的

本研究では、電解液中におけるイオンと溶媒の相互作用、および、これらの活量が電極/電解質界面における電荷移動反応に及ぼす効果について研究を進めた。超濃厚電解液ではフリーな溶媒はほとんど存在しないため、溶媒活量は極めて小さくなる。本研究では、様々な配位子構造と金属塩の組み合わせについて検討を進め、溶媒和イオン液体を構成する溶媒の構造やアニオンの構造が液体の熱物性、粘度、イオン伝導性、液体中におけるイオン対形成、溶媒およびイオンの活量に及ぼす影響を系統的に明らかにする。また、様々な電極/溶媒和イオン液体の界面で起きる電荷移動反応について解析を進める。溶媒和イオン液体を構成する溶媒の構造およびアニオンが、界面電荷移動反応過程に及ぼす影響について系統的に明らかにする。

3. 研究の方法

電極/溶媒和イオン液体の界面で起きる特異な電荷移動反応の本質に迫るため、溶媒和イオン液体中におけるイオンと溶媒の相互作用、および、界面反応に関して基礎的研究を進めた。特に、溶媒とアニオンの構造およびルイス塩基性が、錯カチオンの構造やイオン対形成に及ぼす影響について解析した。さらに、溶媒和イオン液体の液体構造およびその動的挙動がイオンと溶媒の活量に及ぼす影響を解析し、これらが界面電荷移動反応過程に与える効果について検討した。

4. 研究成果

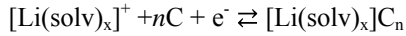
(1) 電解液中の溶媒活量が電気化学反応過程に及ぼす影響

これまでの研究から、 $\text{Li}[\text{TFSA}]$ をグライム (G3 または G4) に溶解させた電解液を用いて、グラファイト電極への Li^+ インターカレーション反応を解析したところ、モル比 $\text{Li}[\text{TFSA}] : \text{グライム} = 1 : 1$ の溶媒和イオン液体では Li^+ がグラファイト/電解液の界面で脱溶媒和し、 Li^+ がグラファイト層間に挿入されるが、グライム が過剰な電解液 $\text{Li}[\text{TFSA}] : \text{グライム} = 1 : x$ ($x > 1$) を用いた場合には、 Li^+ と溶媒であるグライム がグラファイト層間に共挿入されることが分かっている。

そこで、本研究では、グライム類以外の様々な溶媒(配位子)を用いて Li 塩濃厚電解液を調製してグラファイト電極への Li^+ 挿入・脱離反応に関して検討した。ここでは、一例として、ジメチルスルホキシド (DMSO) を溶媒とした電解液を用いて検討を行った結果を紹介する。 $\text{Li}[\text{TFSA}]/\text{DMSO}$ 溶液のラマン散乱スペクトルのリチウム塩濃度依存性を Figure 2 に示す。669 および 676 cm^{-1} に観測されるラマンバンドは free な (Li^+ に配位していない) DMSO および Li^+ に配位している (bound) DMSO 分子の C-S 対称伸縮振動に帰属される。698 および 709 cm^{-1} は同様に free および bound DMSO 分子の C-S 非対称伸縮振動のモードに帰属される。リチウム塩濃度の増加に伴い free DMSO に対応するバンドは減少し bound DMSO のピークが増大していくことがわかる。特に、一般にリチウムイオンの溶媒和数であると考えられるモル比 1:4 よりも濃厚になると free のピークはほとんど見られず、bound のピークはさらに高波数シフトしていくため、系中に存在する溶媒はほぼすべてリチウムイオンの配位に参加しており free な溶媒の活量が極めて低いことが確認された。

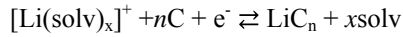
$\text{Li}[\text{TFSA}] : \text{DMSO} = 1 : 2$ (3.4 mol/L) 溶液中でのグラファイト電極の定電流充放電試験結果を Figure 3 に示す。3 mol dm^{-3} を超える高濃度領域では 350 mAh g^{-1} 以上の可逆容量が得られ、可逆な挿入脱離反応の進行が確認された。ここで、グラファイト極の電極反応式と Nernst 式は下記のように表される。

・ 溶媒共挿入の場合



$$E_{\text{COI}} = E_{\text{COI}}^0 + \frac{2.303RT}{F} \log a_{[\text{Li}(\text{solv})_x]^+}$$

・ 脱溶媒和を伴う場合



$$E_{\text{LiGIC}} = E_{\text{LiGIC}}^0 + \frac{2.303RT}{F} \log \frac{a_{[\text{Li}(\text{solv})_x]^+}}{a_{\text{solv}}^x}$$

で表される。上式で脱溶媒和過程の場合のみフリーな溶媒の活量がNernst式の対数項において分母に現れるため、溶媒活量が極めて低いとき、すなわち高濃度領域において脱溶媒和過程の電極電位が貴に大きくシフトし、充電時に脱溶媒和反応が優先して起こると考えられる。

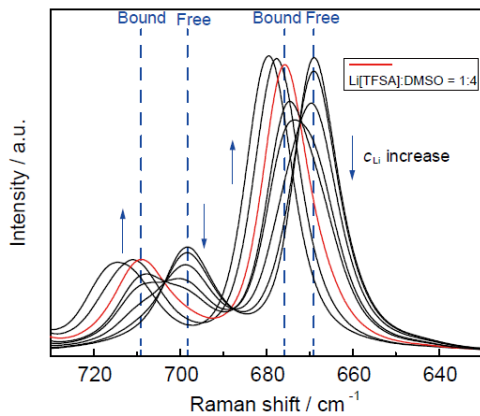


Figure 2. Normalized Raman spectra of Li[TFSA]/DMSO mixtures with various molar ratio of Li[TFSA].

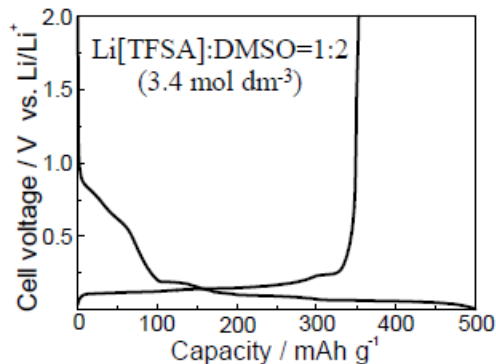


Figure 3. Galvanostatic charge-discharge curves of [Li metal | Li[TFSA]:DMSO=1:2 | graphite] cell measured at a current density of 18.6 mA g⁻¹.

(2) 電解液中のアニオンの構造が電解液の特性に及ぼす影響

Li 塩のアニオンの構造が電解液の輸送特性や電気化学反応に及ぼす影響について検討した。これまで、グライムと Li[TFSA]

(TFSA = N(SO₂CF₃)₂)からなる電解液については検討を行っていたが、異なる Li 塩を用いた溶媒和イオン液体や電解液については、十分な検討が行われていない。そこで、ここでは Li[FSA] (FSA=N(SO₂F)₂)をグライムに高濃度で溶解させた電解液の基礎物性および電池適用について検討した。

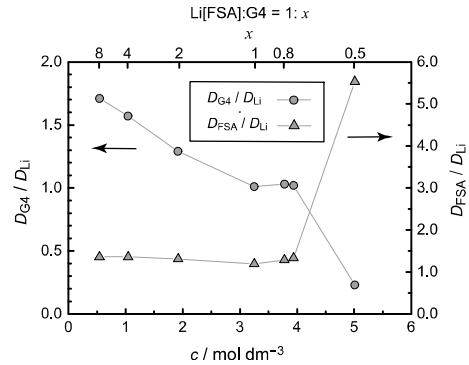


Figure 4. Concentration dependencies of self-diffusion coefficient ratio for Li[FSA]/G4.

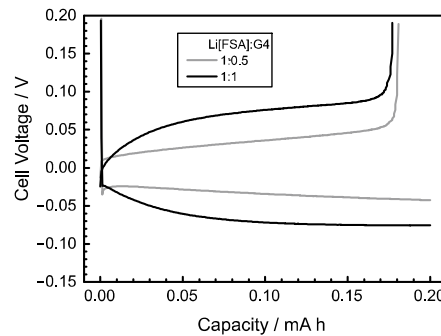
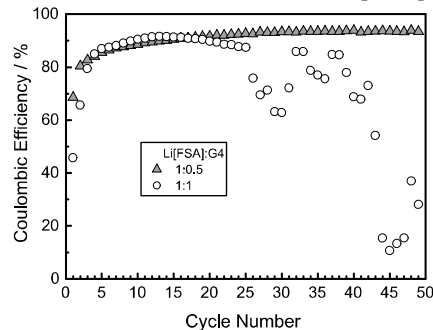


Figure 5. Coulombic efficiency for Li metal deposition/dissolution in [Li | Li[FSA]/G4 | Cu] cell (upper) and voltage profile of the cell at 20th cycle (lower) measured at 100 μA cm⁻².

Figure 4 に Li[FSA]とテトラグライム(G4)を混合して調製した電解液中における Li⁺と G4 および [FSA]⁻の自己拡散係数の比を示す。Li⁺と G4 の自己拡散係数比(D_{G4}/D_{Li})は Li 塩濃度の上昇に伴い減少し、Li[FSA]:G4=1:1 で 1.0 となった。これは溶液中で錯体寿命の長い錯カチオン[Li(G4)]⁺が生成したためだと考えられる。さらなる高濃度領域の 5 mol/L 付近においては、 D_{G4}/D_{Li} が 1.0 以下となり、Li⁺が G4 よりも速く拡散することが分かった。一方、Li⁺と[FSA]⁻の自己拡散係数比は 4 mol/L 付近までほぼ 1.0 であったが、高濃度領域で

は大きく増加した。G4 に対して Li[FSA]が過剰の溶液では $[\text{Li}(\text{G4})]^+$ の他に $\text{Li}[\text{FSA}]_y$ のような錯アニオンが生成すると考えられるが、このような高濃度電解液中では、従来の 1 mol/L 程度の濃度の電解液や $\text{Li}[\text{FSA}] : \text{G4} = 1 : 1$ の熔融錯体（溶媒和イオン液体）とは異なるイオン伝導メカニズムで Li^+ が輸送されている可能性が示唆された。

Figure 5 に $[\text{Li} | \text{Li}[\text{FSA}]/\text{G4} | \text{Cu}]$ セルを用いて Li の析出・溶解を行った結果を示す。電解液組成によらず初期の溶解/析出のクーロン効率は低くなったが、サイクルを重ねるごとに高くなり $\text{Li}[\text{FSA}] : \text{G4} = 1 : 0.5$ の系では 30 サイクル付近から 93% 以上となった。一方で $\text{Li}[\text{FSA}] : \text{G4} = 1 : 1$ の系では 25 サイクル目以降から溶解挙動が不安定となった。また、20 サイクル目の Li の析出・溶解の電位を比較したところ、 $\text{Li}[\text{FSA}] : \text{G4} = 1 : 1$ の系は析出・溶解の過電圧が 1 : 0.5 の系に比べ大きいことが分かった。今後、Li 金属と電解液界面に形成される表面皮膜の解析や界面電荷移動反応の速度論的な解析が必要である。

(3) グライム - Na 塩錯体を電解質とした電解液の開発

グライムと Li 塩から成る濃厚電解液や溶媒和イオン液体に関してこれまで様々な解析を行ってきたが、溶媒和カチオンの中心金属イオンが電解液の特性に及ぼす影響について検討を行うため、Na 塩をグライムに溶解させた電解液の検討を行った。

ペンタグライム ($\text{G5} : \text{CH}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_5\text{CH}_3$) に $\text{Na}[\text{TFSA}]$ ($\text{TFSA} : \text{N}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2$) および $\text{Na}[\text{FSA}]$ ($\text{FSA} : \text{N}(\text{SO}_2\text{F})_2$) を溶解させた電解液を調製した。G5 と Na 塩をモル比 1 : 1 で混合したところ、融点が室温以上の錯体（溶媒和物）を形成することが分かった。そこで、これらの錯体を低粘性かつ不燃性のフッ素系溶媒（1,1,2,2-tetrafluoroethyl-2,2,3,3-tetrafluoropropyl ether, 以下、HFE と略記する）と混合することで電解液を調製し、これらの基礎物性や電気化学反応について検討した。

Figure 6 に $[\text{Na}(\text{G5})][\text{FSA}]/\text{HFE}$ および $[\text{Na}(\text{G5})][\text{TFSA}]/\text{HFE}$ のイオン伝導率の濃度依存性を示す。いずれの電解液も 1 mol/L 程度の濃度でイオン伝導率は最大となった。アニオンが TFSA の錯体よりも FSA の錯体の方が高いイオン伝導率を示した。これは、アニオンのイオン半径が FSA の方が小さく、移動度が高いためと考えられる。電解液中における Na 金属電極の安定性を評価するため、交流インピーダンス測定を行った。 $[\text{Na}(\text{G5})][\text{TFSA}]/\text{HFE}$ を電解液に用いた場合、Na 金属電極の界面インピーダンスは時間とともに増大し続け、Na 金属はこの電解液中では不安定であった。一方、 $[\text{Na}(\text{G5})][\text{FSA}]/\text{HFE}$ を電解液に用いた場合には、界面インピーダンスは 30 時間程度で一定となり、Na 金属が比較的安定に存在することが分かった。そこで、イオン伝導率が

最大となった $[\text{Na}(\text{G5})][\text{FSA}]$ と HFE をモル比 1:4 で混合した電解液を用いてハードカーボン電極への Na^+ イオンの挿入・脱離反応について定電流充放電試験を行ったところ (Figure 7), ハードカーボンは可逆に Na を吸蔵・放出が可能であり、安定な充放電を繰り返すことが可能であることが分かった。

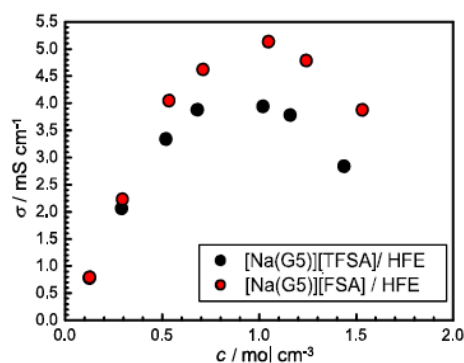


Figure 6. Concentration dependencies of ionic conductivity for $[\text{Na}(\text{G5})][\text{FSA}]/\text{HFE}$ and $[\text{Na}(\text{G5})][\text{TFSA}]/\text{HFE}$ at 30 °C.

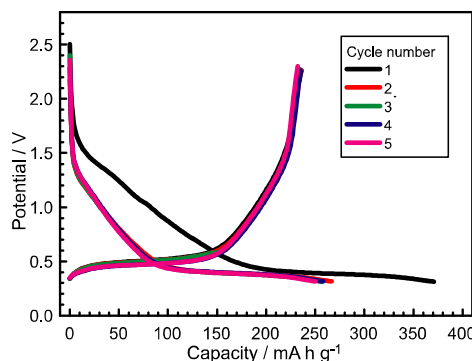


Figure 7. Charge and discharge curves of a hard carbon electrode in $[\text{Na}(\text{G5})][\text{FSA}]/\text{HFE}$. Measured at $25 \mu\text{A cm}^{-2}$ at 30 °C. Reference electrode: Li metal in 1 mol/L $\text{Li}[\text{TFSA}]/\text{G3}$; Counter electrode: Na metal.

(4) グライム - Mg 塩錯体の基礎物性に関する検討

グライム - Mg 塩錯体についても基礎的な検討を行い、 $\text{Mg}[\text{TFSA}]_2$ は、グライム分子 (G3, G4, G5 など) と 1:1 で錯体を形成することが分かった。これらの錯体は、融点が室温以上であるが、グライム分子に非対称構造を導入することにより、融点が室温以下となる錯体を調製できることが分かった。この溶融グライム - Mg 塩錯体を電解液に用いて、金属 Mg の析出・溶解が可能であることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 15 件)

Magnesium

bis(trifluoromethanesulfonyl)amide

complexes with triglyme and asymmetric

homologues: phase behavior, coordination

structures and melting point reduction, K. Hashimoto, S. Suzuki, M. L. Thomas, T. Mandai, S. Tsuzuki, K. Dokko, M. Watanabe, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **20**, 7998-8007 (2018). 査読有
DOI: 10.1039/C7CP08367J
Electrolyte Composition in Li/O₂ Batteries with LiI Redox Mediators: Solvation Effects on Redox Potentials and Implications for Redox Shuttling, A. Nakanishi, M. L. Thomas, H.-M. Kwon, Y. Kobayashi, R. Tatara, K. Ueno, K. Dokko, M. Watanabe, *J. Phys. Chem. C*, **122**, 1522-1534 (2018). 査読有
DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b11859
Polymer Electrolytes Containing Solvate Ionic Liquids: A New Approach to Achieve High Ionic Conductivity, Thermal Stability, and a Wide Potential Window, Y. Kitazawa, K. Iwata, R. Kido, S. Imaizumi, S. Tsuzuki, W. Shinoda, K. Ueno, T. Mandai, H. Kokubo, K. Dokko, M. Watanabe, *Chem. Mater.*, **30**, 252-261 (2018). 査読有
DOI: 10.1021/acs.chemmater.7b04274
Application of Ionic Liquids to Energy Storage and Conversion Materials and Devices, M. Watanabe, M. L. Thomas, S. Zhang, K. Ueno, T. Yasuda, K. Dokko, *Chem. Rev.*, **117**, 7190-7239 (2017). 査読有
DOI: 10.1021/acs.chemrev.6b00504
Oxygen Reduction Reaction in Highly Concentrated Electrolyte Solutions of Lithium
Bis(trifluoromethanesulfonyl)amide/Dimethyl Sulfoxide, R. Tatara, D. G. Kwabi, T. P. Batcho, M. Tulodziecki, K. Watanabe, H.-M. Kwon, M. L. Thomas, K. Ueno, C. V. Thompson, K. Dokko, Y. Shao-Horn, M. Watanabe, *J. Phys. Chem. C*, **121**, 9162-9172 (2017). 査読有
DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b01738
Effect of the Cation on the Stability of Cation-Glyme Complexes and Their Interactions with the [TFSA]⁻ Anion, S. Tsuzuki, T. Mandai, S. Suzuki, W. Shinoda, T. Nakamura, T. Morishita, K. Ueno, S. Seki, Y. Umebayashi, K. Dokko, M. Watanabe *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **19**, 18262-18272 (2017). 査読有
DOI: 10.1039/C7CP02779F
Stability of Glyme Solvate Ionic Liquid as an Electrolyte for Rechargeable Li-O₂ Batteries, H.-M. Kwon, M. L. Thomas, R. Tatara, Y. Oda, Y. Kobayashi, A. Nakanishi, K. Ueno, K. Dokko, M. Watanabe, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **9**, 6014-6021 (2017). 査読有
DOI: 10.1021/acsami.6b14449
Suppression of Water Absorption by Molecular Design of Ionic Liquid Electrolyte for Li-Air Battery, M. L. Thomas, Y. Oda, R. Tatara, H. Kwon, K. Ueno, K. Dokko, M.

Watanabe
Adv. Energy Mater., **7**, 1601753 (2017). 査読有
DOI: 10.1002/aenm.201601753
A Design Approach to Lithium-Ion Battery Electrolyte Based on Diluted Solvate Ionic Liquids, K. Ueno, J. Murai, H. Moon, K. Dokko, M. Watanabe, *J. Electrochem. Soc.*, **164**, A6088-A6094 (2017). 査読有
DOI: 10.1149/2.0121701jes
Si/Li₂S Battery with Solvate Ionic Liquid Electrolyte, Z. Li, Y. Kamei, M. Haruta, T. Takenaka, A. Tomita, T. Doi, S. Zhang, K. Dokko, M. Inaba, M. Watanabe, *Electrochemistry*, **84**, 887-890 (2016). 査読有
DOI: 10.5796/electrochemistry.84.887
Dissociation and Diffusion of Glyme-Sodium Bis(trifluoromethanesulfonyl)amide Complexes in Hydrofluoroether-Based Electrolytes for Sodium Batteries, S. Terada, H. Susa, S. Tsuzuki, T. Mandai, K. Ueno, Y. Umebayashi, K. Dokko, M. Watanabe, *J. Phys. Chem. C*, **120**, 23339-23350 (2016). 査読有
DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b06804
Li⁺ Solvation and Ionic Transport in Lithium Solvate Ionic Liquids Diluted by Molecular Solvents, K. Ueno, J. Murai, K. Ikeda, S. Tsuzuki, M. Tsuchiya, R. Tatara, T. Mandai, Y. Umebayashi, K. Dokko, M. Watanabe, *J. Phys. Chem. C*, **120**, 15792-15802 (2016). 査読有
DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b11642
Effects of Compatibility of Polymer Binders with Solvate Ionic Liquid Electrolytes on Discharge and Charge Reactions of Lithium-Sulfur Batteries, T. Nakazawa, A. Ikoma, R. Kido, K. Ueno, K. Dokko, M. Watanabe, *J. Power Sources*, **307**, 746-752 (2016). 査読有
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2016.01.045
Thermal and Electrochemical Stability of Tetraglyme-Magnesium
Bis(trifluoromethanesulfonyl)amide Complex: Electric Field Effect of Divalent Cation on Solvate Stability, S. Terada, T. Mandai, S. Suzuki, S. Tsuzuki, K. Watanabe, Y. Kamei, K. Ueno, K. Dokko, M. Watanabe, *J. Phys. Chem. C*, **120**, 1353-1365 (2016). 査読有
DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b09779
Lithium-tin Alloy/Sulfur Battery with a Solvate Ionic Liquid Electrolyte, K. Ikeda, S. Terada, T. Mandai, K. Ueno, K. Dokko, M. Watanabe, *Electrochemistry*, **83**, 914-917 (2015). 査読有
DOI: 10.5796/electrochemistry.83.914

[学会発表](計15件)

溶媒和イオン液体の物理化学特性と電池適用(口頭・招待講演)獨古 薫, 上野 和英, 渡邊 正義, 電気化学会第 85 回大会(東京), 2018 年 3 月

異種 Li 塩混合高濃度電解液の溶液物性と高電位正極への適用(口頭), 宇賀田洋介, 渡部大樹, 寺田尚志, 上野和英, 獨古薫, 渡邊正義, 電気化学会第 85 回大会(東京), 2018 年 3 月

グライム-ナトリウム塩混合電解液の炭素系負極への適用(口頭), 寺田尚志, 獨古薫, 上野和英, 渡邊正義, 第 58 回電池討論会(福岡), 2017 年 11 月

Charge Transport Mechanism and Electrochemical Properties of Glyme-Li[FSA] Highly Concentrated Electrolytes(口頭), S. Terada, Y. Matsumae, K. Dokko, M. Watanabe, 232nd ECS Meeting, October 1, 2017 - October 5, 2017, National Harbor, MD, USA

スルホランを溶媒に用いた Li 塩高濃度電解液の輸送特性と電池適用, 渡部大樹, 寺田尚志, 松前義治, 多々良涼一, 獨古薫, 渡邊正義, 電気化学会第 84 回大会, 2017 年 3 月 25 日~2017 年 3 月 27 日, 首都大学東京(東京都八王子市)

Solvate Ionic Liquid Electrolytes for Next-Generation Batteries, K. Dokko, M. Watanabe, International Battery Association (IBA) 2017 (招待講演) 2017 年 3 月 5-10 日(奈良県奈良市)

Physicochemical and Electrochemical Properties of Na-Glyme Solvate Ionic Liquids/Hydrofluoroether Mixtures, S. Terada, H. Susa, K. Dokko, M. Watanabe, International Battery Association (IBA) 2017, 2017 年 3 月 5-10 日(奈良県奈良市)

Mechanism of Reversible Li Intercalation into Graphite Anode in Concentrated Electrolyte, J. Zhang, D. Watanabe, S. Terada, R. Tatara, K. Dokko, M. Watanabe, International Battery Association (IBA) 2017, 2017 年 3 月 5-10 日(奈良県奈良市)

リチウム塩濃厚電解液中における溶媒活量とグラファイト負極反応メカニズム, 多々良涼一, 張旌君, 渡辺健太, 寺田尚志, 松前義治, 獨古薫, 渡邊正義, 7 回 電池討論会, 2016 年 11 月 29-12 月 1 日, 幕張メッセ(千葉県千葉市)

Physicochemical and Electrochemical Properties of Glyme-Na Salt Molten Complex/Hydrofluoroether Mixtures, S. Terada, H. Susa, K. Dokko, M. Watanabe, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME2016), October 2-7, 2016, Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA

Compatibility of Polymer Binders with Solvate Ionic Liquid Electrolytes in Lithium-Sulfur Batteries, K. Dokko, T.

Nakazawa, A. Ikoma, R. Kido, Y. Kitazawa, K. Ueno, M. Watanabe, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME2016), October 2-7, 2016, Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA

Physicochemical Properties and Electrochemical Stabilities of Highly Concentrated Electrolytes, D. Watanabe, S. Terada, Y. Matsumae, R. Tatara, K. Dokko, M. Watanabe, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME2016), October 2-7, 2016, Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA

Transport Properties of Highly Concentrated Li Salt Solutions, K. Watanabe, R. Tatara, K. Dokko, M. Watanabe, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME2016), October 2-7, 2016, Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, USA

Solvent Activity in Highly Concentrated Electrolyte and Reversible Li Intercalation into Graphite Electrode, R. Tatara, H. Moon, A. Hirai, K. Yoshida, K. Ueno, M. L. Thomas, K. Dokko, M. Watanabe, 18th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB 2016), June 19-24, 2016 Hyatt Regency Chicago, USA

Electrochemical Properties of Glyme-Based Complex Electrolytes for Na and Mg Batteries, S. Terada, H. Susa, S. Suzuki, Y. Kamei, K. Dokko, M. Watanabe, 18th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB 2016), June 19-24, 2016 Hyatt Regency Chicago, USA

〔図書〕(計 2 件)

イオン液体研究最前線と社会実装(溶媒和イオン液体)

獨古 薫, 渡邊 正義, (監修: 渡邊 正義), シーエムシー出版, (頁 142-150), 2016. ナトリウムイオン二次電池の開発と最新技術(有機電解液の開発とナトリウムイオン二次電池への適用可能性)

獨古 薫, 渡邊 正義(編集: 岡田 重人, 駒場 慎一, 山田 淳夫), 技術教育出版社(頁 134-145), 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

獨古 薫 (DOKKO, Kaoru)

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 70438117

(2) 研究分担者

都築 誠二 (TSUZUKI, Seiji)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・
材料・化学領域・上級主任研究員

研究者番号: 10357527