

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06053

研究課題名(和文) 常温溶融錯体に基づく新規イオン液体型イオン伝導体の創製

研究課題名(英文) Ionic liquid-type liquid electrolytes based on molten Li salt complexes

研究代表者

上野 和英 (Ueno, Kazuhide)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：30637377

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,500,000円

研究成果の概要(和文)：リチウム塩溶媒和物をイオン液体系電解質「溶媒和イオン液体」として捉え、これを基に次世代二次電池の実現に向けた新しい電解液の設計コンセプトを提案することを目的とした。具体的な成果として、溶媒和イオン液体の概念を確立するとともに、低誘電率で弱配位性の希釈溶媒をリチウム塩溶媒和物に加えることで、イオン伝導率を従来の有機電解液レベルまで増加させた。また、カチオン、アニオン共に錯イオンからなる新しい酸化還元性溶媒和イオン液体を創製し、これをカソライトとした半液体型リチウム系二次電池を実証した。さらに、高分子やナノ粒子と複合化させることで溶媒和イオン液体の擬固体化にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では次世代高容量・高信頼性二次電池の実現に向けた新しい電解液の設計コンセプトを提案することを目的とした。具体例として、リチウム塩が高濃度で溶媒和と混合したリチウム塩溶媒和物の溶融状態を新しいイオン液体「溶媒和イオン液体」として捉え、従来の電解液との溶液構造的および機能的な類似点や相違点を実験的に明らかにした。これにより新たなイオン液体群としての溶媒和イオン液体の物性概念を各種実験パラメータによって整理した。また、この概念を元に、これまでにない新しい機能性電解液の設計指針を提案し、そのリチウム系二次電池としての優れた特性を示すことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to propose a new design concept for liquid electrolytes of next-generation high-energy and high-power secondary batteries. In addition to establishing the concept of solvate ionic liquids, ionic conductivity of solvate ionic liquids was increases to that of conventional organic electrolytes with addition of low-polar and non-coordinating solvents. We also synthesized novel redox-active solvate ionic liquids composed solely of complex cations and anions, and semi-liquid type lithium secondary batteries were demonstrated with the redox-active solvate ionic liquids as catholyte. Furthermore, quasi-solid electrolytes of solvated ionic liquids were prepared by combining them with polymers and nanoparticles.

研究分野：電気化学

キーワード：イオン液体 リチウム二次電池 電解液

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ある種の溶媒 (または配位子) と塩を任意のモル比で混合すると、塩の溶媒和物 (あるいは錯体) が形成される。この溶媒和物は古くから研究され、現在では錯体化学・超分子化学・溶液化学などの学問分野の範疇の下、膨大なデータや分子科学的知見の蓄積がある。しかし、これらはほとんどの場合、結晶固体状態もしくは多量の溶媒に溶けた溶液状態で研究対象と扱われ、その溶媒和物の融点以上の液体状態で性質を調べた研究例は極めて少なかった。

一方、近年イオン液体という室温付近で液体状態の塩 (常温溶融塩) を新しい液体材料として用いる研究が爆発的に増えている。イオン液体は、(i) 液体でありながら蒸気圧が極めて低く揮発せず燃えにくいこと、(ii) 熱分解耐性があり

広い温度範囲で液体状態をとること、(iii) 化学的・電気化学的に安定で高いイオン伝導性を持つことなどの特徴を有する。このような一般的な分子性溶媒には無い物理化学的性質から、イオン液体はリサイクル可能な合成・分離・抽出溶媒や安全性、信頼性の高い電気化学デバイス用の電解質として世界中で検討が行われている。

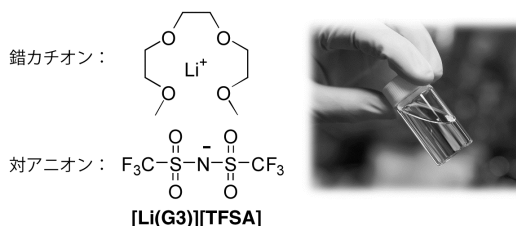


図 1. Li[TFSA]-トリグライム等モル錯体 [Li(G3)][TFSA] .

ここで、イオン性溶媒和物の溶融状態とイオン液体との関連性を考慮すると、「錯イオンから成る溶融溶媒和物はイオン液体の一種とみなすことが出来るであろうか?」、「溶媒和物の溶融状態と塩濃度が非常に高い従来の濃厚電解液との間に違いはあるであろうか?」など学術的に興味深い点が数多くあるものの、それについて詳しく検討した研究例はほとんど無かった。研究開始当時、ある種のリチウム塩(Li[TFSA])とグライム類の等モル混合錯体が溶融状態でイオン液体類似の性質を示すことを見出され(図 1)、このような錯イオンを構成成分とする溶融錯体を溶媒和イオン液体(Solvate ionic liquid)という新しいイオン液体の種類の一つとして分類する提案があった。しかし、溶媒和イオン液体の詳細な概念や分子論的クライテリアは未だ明確でなく、検討の余地があった。

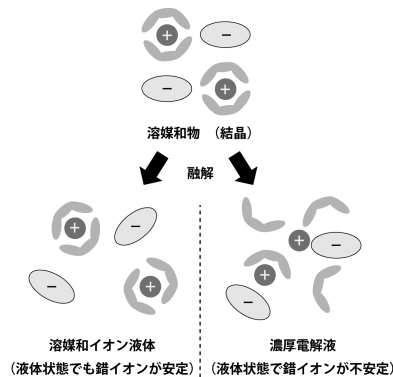


図 2. 溶媒和イオン液体と濃厚電解液の違いに関する概念図 .

2. 研究の目的

本研究ではリチウム塩が高濃度で溶媒と混合されたりチウム塩溶媒和物の溶融状態を新しいイオン液体群の一つである溶媒和イオン液体として捉え、従来の濃厚電解液との構造及び物性の分子論的類似点・相違点を明らかにすることで、新たなイオン液体群としての溶媒和イオン液体の概念を確立することを第一の目的とした。次に、この概念に基づいて、溶媒和イオン液体を用いた新規リチウムイオン伝導体を創製し、既存の電解液設計に捉われない新しい電解液のデザインコンセプトを提案することを目的とした。本研究では、これを従来のリチウムイオン電池の電解液として応用展開し、さらに次世代高容量・高信頼性二次電池の実現に向けた電解液設計への足掛かりとした。

3. 研究の方法

本研究では溶媒和イオン液体を用いた新規リチウムイオン電解液を創製し、これまでに無い電解液設計指針を提示するため、下記の項目について検討した。

- 溶媒和イオン液体を定義する分子論的要件の抽出：リチウム溶媒和イオン液体を形成し得る対アニオン、配位子(溶媒)の構造要件を明確化し、パラメータを用いて整理した。
- 新規溶媒和イオン液体の設計と希釈系電解液：配位子(溶媒)や対アニオンの構造設計、第2希釈溶媒との混合等により実用的なりチウム系電解液としての特性を追求した。
- カチオン/アニオン溶媒和イオン液体の創製：対アニオンも錯イオンから成る溶媒和イオン液体を創製し、さらにアニオンへの機能性付与を図ることで、溶媒和イオン液体による電解液設計の自由度の高さを例示した。

実験手法として、様々な手法を組み合わせることで、溶融した溶媒和物中のイオンの配位環境を把握し、溶媒和イオン液体を形成し得る分子論的要件を明らかにした。具体的には、多核 NMR、FT-IR、ラマン分光等、各種分光法や単結晶構造解析を駆使し、液体および結晶状態でのカチオン・アニオンおよび配位子の溶媒和状態に関する情報を得た。また、磁場勾配 NMR 法やコンダクトメトリー、粘度測定から、イオンダイナミクスやイオン性 (自己解離性) などの評価を行った。さらに熱分析測定によって、溶媒和物の融点や熱分解温度を調べ、電気化学的手法によって電気化学的安定性や液体中の Li イオンの活量、Li イオン輸率について調査した。更に、各種リチウム系二次電池の電極材料と組み合わせ、リチウム二次電池の電解質としての評価を行った。

4. 研究成果

溶媒和イオン液体を定義する分子論的要件の抽出：

いくつかのリチウム塩と鎖長の異なるグライム系配位子の組合せから成る溶融リチウム塩溶媒和物を検討し、安定な溶媒和イオン液体を形成するためにはアニオンの電子対供与性やイオン間の結合エネルギー、単座・多座配位子の錯形成定数などのパラメータが重要な因子であることが分かった。これらのパラメータの違いによって、混合液中の未配位の溶媒量が著しく異なり、溶媒和イオン液体的挙動を示すものと濃厚溶液的挙動を示すものの2種類に分類できることを明らかにした(図3)。弱配位性のアニオンを有するリチウム塩と多座配位子を有する溶媒を組み合わせた系のみが特に安定な溶媒和イオン液体を形成することを明らかにした。また、この分類によって物理化学特性や熱的特性のみならず、これらの溶融リチウム塩溶媒和物に対する物質の溶解性も劇的に変化することを見出した。この溶解性の違いはリチウム硫黄電池やリチウム空気電池の電池特性にも大きな影響を与え、溶媒和イオン液体を形成する系が優れた電解質であることを実証した。また、各イオン間の相互相関に係るイオンダイナミクスを詳細に調べたところ、溶媒和イオン液体に分類される溶融リチウム塩溶媒和物中では、従来の溶融塩やイオン液体と

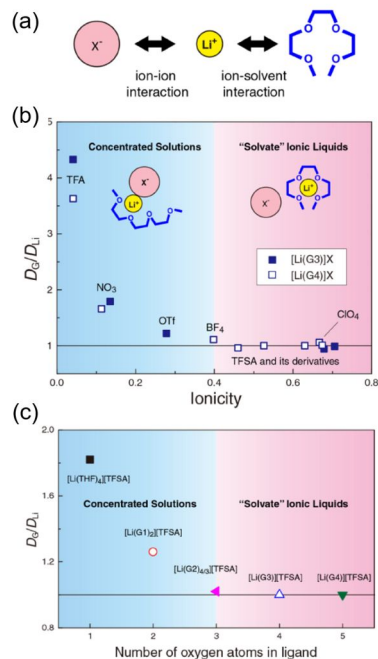


図3. (a) イオン間、イオン-溶媒間相互作用, (b) アニオン依存性, (c) 溶媒依存性の分類.

同様に、カチオン-カチオン、アニオン-アニオン、カチオン-アニオンのイオンダイナミクスが負の相関を示すことを明らかにした。このことから、イオンダイナミクスも溶媒和イオン液体中ではイオン液体類似の挙動でイオン伝導していることが明らかになった。

本研究では、上記の検討をその他の Li 塩やグライム類以外の配位子(単座配位の水などの分子性溶媒、多座配位の非対称グライム、ケトエステルなど)から成る溶媒和物に展開し、液体状態における錯イオン構造の安定化に関わるパラメータを明らかにした。また、熔融リチウム塩溶媒和物の Li 塩に弱配位性で且つ長鎖パーフルオロ基を含むイミド系アニオンを適用すると、溶媒和イオン液体の疎水化が可能になることも明らかにした(図4)。一方、溶媒を水とした熔融リチウム塩溶媒和物では、水と Li 塩のモル比が 2.6:1 の超濃厚状態であっても、未配位状態の水が多く残っており、その活量が 0.18 であることを明らかにした。すなわち、溶媒を水とした熔融リチウム塩溶媒和物は溶媒和イオン液体に分類されないことを明らかにした。その他、ケトエステル系溶媒を用いた熔融リチウム塩溶媒和物では、上記の分類以外にも、系中の拡散種の中でリチウムイオンが対アニオンや溶媒分子よりも速く拡散する現象を発見した。この実験事実が主にホッピング機構を介して輸送されていることを示唆している。ケトエステル系熔融リチウム塩溶媒和物の検討では、このようなりチウムイオンホッピング伝導の発現とリチウムイオンの溶媒和構造の相関性を見出すなど、新たな学術的知見と応用展開の基礎を築くことができた。

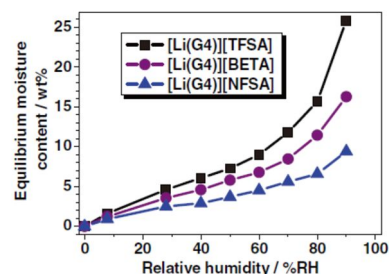


図 4. 異なる疎水性アニオンを有する溶媒和イオン液体の平衡含水率と相対湿度の関係 .

新規溶媒和イオン液体の設計と希釈系電解液 :

溶媒和イオン液体は有機電解液に比べ本質的に粘性が高く、配位子・アニオン構造の最適化によっても有機電解液レベルの低い粘性率は得られない。そのため、本研究では溶媒和イオン液体を構成する錯イオンの配位構造を壊さない低誘電率、弱配位性の分子性溶媒(トルエンやヒドロフルオロエーテル HFE) を第 2 成分として添加し、これによって溶媒和イオン液体特有の電気化学特性を保持したまま、系全体の粘性率を低下させ、イオン伝導性を有機電解液レベル(> 5 mS/cm)まで引き上げることを実現した。ここでは、イオン解離は溶媒和物および溶媒和イオン液体自身の自己解離能が担い、第 2 溶媒は粘性低下と難燃性付与など、それぞれの構成成分に対する明確な役割分担に基づいた電解液設計を行った。一方、高極性の水やプロピレンカーボネート(PC)を第 2 溶媒として添加した場合、第 2 溶媒との配位子交換により錯カチオンが不安定化することを明らかにした。

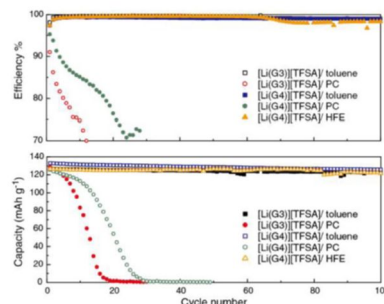


図 5. 様々な第 2 溶媒を添加した溶媒和イオン液体中を電解液に用いたリチウムイオン電池 (Li/LiCoO₂ 電池)の充放電サイクル特性 .

リチウムイオン二次電池の電解液の選択肢は電極材料との適合性の問題のためそれほど多くなく、これまでカーボネート系溶媒を用いたものに限られていた。本研究では溶媒和イオン液体系電解液をリチウムイオン電池 (4V 級 LiCoO₂ 正極、黒鉛負極)に適用し、その適合性を評価した。本研究では第 2 溶媒として、従来電解液の構成成分として想定すらされてこなかった非極性

溶媒(トルエン等)を用いても、 LiCoO_2 正極や黒鉛負極がうまく作動することを確認し、リチウムイオン電池の電解質としての適応可能性を実証した(図 5)。このように、溶媒和イオン液体を希釈した電解液をリチウムイオン電池の電解液設計の新しい選択肢として提案した。

カチオン/アニオン溶媒和イオン液体の創製

従来型の溶媒和イオン液体はカチオン成分が錯イオンである。一方、本研究ではアニオンの錯形成も利用した機能性溶媒和イオン液体を創製した。従来のイオン液体や熔融塩の研究において、錯アニオン形成による融点・ガラス転移温度の低下は古くから研究されてきた。本研究ではこの知見を溶媒和イオン液体に活用し、結晶固体のリチウムハライド-グライム系溶媒和物にルイス酸 ($\text{FeBr}_3, \text{I}_2$ など)を添加し、錯アニオンの FeBr_4^- 、 I_3^- 等を形成させることで溶媒和物の融点・ガラス転移温度の低下と錯カチオン構造の安定化を試みた。さらに、レドックス対 $\text{Fe(III)Br}_4^-/\text{Fe(II)Br}_4^{2-}$ や $\text{I}_3^-/3\text{I}^-$ は比較的 reversible な酸化還元反応を示すアニオンとして知られており、これらのアニオンを含む溶媒和イオン液体をリチウムイオン電池の電解液として用いると、錯カチオンは Li^+ を運ぶ担い手となり、錯アニオンは酸化還元活性アニオンとして働く。本研究では、更に上記の溶媒和イオン液体の電気化学的な酸化還元特性を利用し、カチオン/アニオン溶媒和イオン液体をカソライト、リチウム金属を負極に用いた半液体型リチウム二次電池を作製し、その可逆な充放電反応を確認した(図 6)。

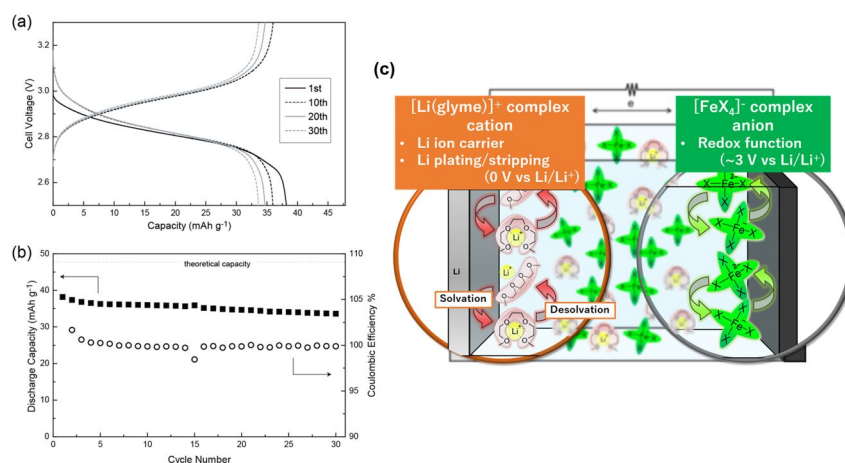


図 6. $\text{Fe(III)X}_4^-/\text{Fe(II)X}_4^{2-}$ を対アニオンとするカチオン/アニオン溶媒和イオン液体をカソライト、リチウム金属を負極に用いた半液体型リチウム二次電池の(a)充放電曲線、(b) 充放電サイクル特性と(c) その模式図。

このようにこれまで Li^+ の電荷補償のためだけに存在していた対アニオンにも機能を持たせることで、溶媒和イオン液体への新規機能性付与を実現し、その電気化学デバイスへの適用可能性を実証した。上記の検討で、溶媒和イオン液体の配位子および錯イオンの選択による設計の自由度の高さを例示し、新しい電気化学デバイス用の電解質設計コンセプトを提案した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Keisuke Shigenobu, Kaoru Dokko, Masayoshi Watanabe, Kazuhide Ueno	4. 巻 -
2. 論文標題 Solvent effects on Li ion transference number and dynamic ion correlations in glyme- and sulfolane-based molten Li salt solvates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cp02181d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shobukawa Hitoshi, Shigenobu Keisuke, Terada Shoshi, Kondou Shinji, Ueno Kazuhide, Dokko Kaoru, Watanabe Masayoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of fluoroethylene carbonate addition to Li-glyme solvate ionic liquids on their ionic transport properties and Si composite electrode performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 136559 ~ 136559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2020.136559	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yanagi Masato, Ueno Kazuhide, Ando Ayumi, Li Shanglin, Matsumae Yoshiharu, Liu Jiali, Dokko Kaoru, Watanabe Masayoshi	4. 巻 167
2. 論文標題 Effects of Polysulfide Solubility and Li Ion Transport on Performance of Li/S Batteries Using Sparingly Solvating Electrolytes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 070531 ~ 070531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/ab7a81	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 MARIUM Mayeesha, UENO Kazuhide, DOKKO Kaoru, WATANABE Masayoshi	4. 巻 88
2. 論文標題 Molten Li Salt Solvate-Silica Nanoparticle Composite Electrolytes with Tailored Rheological Properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 174 ~ 177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.20-00016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kemimizaki Yuta, Katayama Yu, Tsutsumi Hiromori, Ueno Kazuhide	4. 巻 10
2. 論文標題 Redox-active glyme?Li tetrahalogenoferrate(iii) solvate ionic liquids for semi-liquid lithium secondary batteries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 4129 ~ 4136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9RA10149G	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Arai Nana, Watanabe Hikari, Yamaguchi Tsuyoshi, Seki Shiro, Ueno Kazuhide, Dokko Kaoru, Watanabe Masayoshi, Kameda Yasuo, Buchner Richard, Umebayashi Yasuhiro	4. 巻 123
2. 論文標題 Dynamic Chelate Effect on the Li+-Ion Conduction in Solvate Ionic Liquids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 30228 ~ 30233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b10770	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shigenobu Keisuke, Nakanishi Azusa, Ueno Kazuhide, Dokko Kaoru, Watanabe Masayoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Glyme-Li salt equimolar molten solvates with iodide/triiodide redox anions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 22668 ~ 22675
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9RA03580J	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 MATSUMAE Yoshiharu, OBATA Kenzo, ANDO Ayumi, YANAGI Masato, KAMEI Yutaro, UENO Kazuhide, DOKKO Kaoru, WATANABE Masayoshi	4. 巻 87
2. 論文標題 Effects of Sulfur Loading, Cathode Porosity, and Electrolyte Amount on Li-S Battery Performance with Solvate Ionic Liquid Electrolyte	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 254 ~ 259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.19-00021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakanishi Azusa, Ueno Kazuhide, Watanabe Daiki, Ugata Yosuke, Matsumae Yoshiharu, Liu Jiali, Thomas Morgan L., Dokko Kaoru, Watanabe Masayoshi	4. 巻 123
2. 論文標題 Sulfolane-Based Highly Concentrated Electrolytes of Lithium Bis(trifluoromethanesulfonyl)amide: Ionic Transport, Li-Ion Coordination, and Li/S Battery Performance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 14229 ~ 14238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b02625	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kondou Shinji, Thomas Morgan L., Mandai Toshihiko, Ueno Kazuhide, Dokko Kaoru, Watanabe Masayoshi	4. 巻 21
2. 論文標題 Ionic transport in highly concentrated lithium bis(fluorosulfonyl)amide electrolytes with keto ester solvents: structural implications for ion hopping conduction in liquid electrolytes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 5097 ~ 5105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CP00425D	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 KEMMIZAKI Yuta, TSUTSUMI Hiromori, UENO Kazuhide	4. 巻 86
2. 論文標題 Redox Active Glyme-Li Salt Solvate Ionic Liquids Based on Tetrabromoferrate(III)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 46 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.17-00075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ueno Kazuhide	4. 巻 50
2. 論文標題 Soft materials based on colloidal self-assembly in ionic liquids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 951 ~ 958
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-018-0083-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kondou Shinji, Nozaki Erika, Terada Shoshi, Thomas Morgan L., Ueno Kazuhide, Umebayashi Yasuhiro, Dokko Kaoru, Watanabe Masayoshi	4. 巻 122
2. 論文標題 Enhanced Electrochemical Stability of Molten Li Salt Hydrate Electrolytes by the Addition of Divalent Cations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 20167 ~ 20175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b06251	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Masayoshi, Dokko Kaoru, Ueno Kazuhide, Thomas Morgan L.	4. 巻 91
2. 論文標題 From Ionic Liquids to Solvate Ionic Liquids: Challenges and Opportunities for Next Generation Battery Electrolytes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1660 ~ 1682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20180216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kondou Shinji, Thomas Morgan L., Mandai Toshihiko, Ueno Kazuhide, Dokko Kaoru, Watanabe Masayoshi	4. 巻 21
2. 論文標題 Ionic transport in highly concentrated lithium bis(fluorosulfonyl)amide electrolytes with keto ester solvents: structural implications for ion hopping conduction in liquid electrolytes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 5097 ~ 5105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CP00425D	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryansu Sai, Kazuhide Ueno, Kenta Fujii, Yohei Nakano, Naho Shigaki, Hiromori Tsutsumi	4. 巻 19
2. 論文標題 Role of polar side chains in Li ⁺ coordination and transport properties of polyoxetane-based polymer electrolytes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 5185-5194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C6CP08386B	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masayoshi Watanabe, Morgan L. Thomas, Shiguo Zhang, Kazuhide Ueno, Tomohiro Yasuda, Kaoru Dokko	4. 巻 117
2. 論文標題 Application of ionic liquids to energy storage and conversion materials and devices	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Reviews	6. 最初と最後の頁 7190-7239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemrev.6b00504	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Andre Cook, Kazuhide Ueno, Masayoshi Watanabe, Rob Atkin, Hua Li	4. 巻 121
2. 論文標題 Effect of variation in anion type and glyme length on the nanostructure of the solvate ionic liquid/graphite interface as a function of potential	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 15728-15734
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b03414	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ryansu Sai, Kazuhide Ueno, Kenta Fujii, Yohei Nakano, Hiromori Tsutsumi	4. 巻 7
2. 論文標題 Steric effect on Li ⁺ coordination and transport properties in polyoxetane-based polymer electrolytes bearing nitrile groups	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 37975-37982
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7RA07636C	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Kemmizaki, Hiromori Tsutsumi, Kazuhide Ueno	4. 巻 86
2. 論文標題 Redox active glyme-Li salt solvate ionic liquids based on tetrabromoferrate(III)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 46-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.17-00075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kazuhide Ueno, Junichi Murai, Kohei Ikeda, Seiji Tsuzuki, Mizuho Tsuchiya, Ryoichi Tatara, Toshihiko Mandai, Yasuhiro Umebayashi, Kaoru Dokko, Masayoshi Watanabe	4. 巻 120
2. 論文標題 Li+ solvation and ionic transport in lithium solvate ionic liquids diluted by molecular solvents	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 15792-15802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.5b11642	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Soshi Saito, Hikari Watanabe, Kazuhide Ueno, Toshihiko Mandai, Shiro Seki, Seiji Tsuzuki, Yasuo Kameda, Kaoru Dokko, Masayoshi Watanabe, Yasuhiro Umebayashi	4. 巻 120
2. 論文標題 Li+ local structure in hydrofluoroether diluted Li-glyme solvate ionic liquid	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 3378-3387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.5b12354	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Soshi Saito, Hikari Watanabe, Yutaka Hayashi, Masaru Matsugami, Seiji Tsuzuki, Shiro Seki, Jose N Canongia Lopes, Rob Atkin, Kazuhide Ueno, Kaoru Dokko, Masayoshi Watanabe, Yasuo Kameda, Yasuhiro Umebayashi	4. 巻 120
2. 論文標題 Li+ local structure in Li-tetraglyme solvate ionic liquid revealed by neutron total scattering experiments with the 6/7Li isotopic substitution technique	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 2832-2837
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcclett.6b01266	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kazuhide Ueno	4. 巻 84
2. 論文標題 Categorizing molten salt complexes as ionic liquids and their applications to battery electrolytes	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 674-680
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.84.674	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kazuhide Ueno, Junichi Murai, Heejoon Moon, Kaoru Dokko, Masayoshi Watanabe	4. 巻 164
2. 論文標題 A design approach to lithium-ion battery electrolyte based on diluted solvate ionic liquids	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 A6088-A6094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.0121701jes	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件(うち招待講演 9件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 上野 和英
2. 発表標題 溶融リチウム塩錯体電解液の溶媒和構造とリチウムイオン輸送特性
3. 学会等名 日本化学会 電気化学ディビジョン 化学電池材料研究会 第44回講演会・夏の学校(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野 和英
2. 発表標題 酸化還元特性を有するリチウム溶媒和イオン液体の創製
3. 学会等名 第49回セミコンファレンス, 第31回東北若手の会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野 和英
2. 発表標題 常温溶融錯体のイオン液体への分類とエネルギー貯蔵デバイスへの応用
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会 溶液反応化学研究懇談会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuhide Ueno
2. 発表標題 Solvation structure and Li ion transport in molten Li salt solvate electrolytes
3. 学会等名 ACS Spring 2019 National Meeting & Exposition (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野和英, 獨古薫, 渡邊正義
2. 発表標題 リチウム溶媒和イオン液体電解質の開発とその電池適用
3. 学会等名 クリーンエネルギー材料技術フォーラム (神奈川県立産業技術総合研究所) 産技総研/横浜国立大学グリーンマテリアルイノベーション(GMI)研究拠点 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuhide Ueno
2. 発表標題 Glyme-Li salt molten complexes: classification into ionic liquids and use as electrolyte in lithium-sulfur batteries
3. 学会等名 7th Australian Symposium on Ionic Liquids (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 上野和英
2. 発表標題 グライム-Li塩溶融錯体: イオン液体への分類とリチウム二次電池電解質としての応用
3. 学会等名 トークイン・シャワー九州2016 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 上野和英
2. 発表標題 リチウム系二次電池用電解質としての溶媒和イオン液体の設計
3. 学会等名 関西電気化学研究会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kazuhide Ueno
2. 発表標題 Categorizing Molten Salt Complexes as Ionic Liquids and Their Applications to Battery Electrolytes
3. 学会等名 International Symposium on Molecular Science - Physical Chemistry/ Theoretical Chemistry, Chemoinformatics, Computational Chemistry - Cosponsored by Japan Society for Molecular Science（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>横浜国立大学 大学院工学研究院 機能の創生部門 / 大学院理工学府 化学・生命系理工学専攻 電気化学研究室ホームページ https://ynu-estlab.jp/</p>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考