

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：32708

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23750221

研究課題名(和文)新規エネルギー-貯蔵デバイス用溶媒としての有機フッ素化合物の特性

研究課題名(英文)Physical and electrolytic properties of organofluorine compounds and their application to lithium secondary batteries

研究代表者

南部 典稔(NAMBU, Noritoshi)

東京工芸大学・工学部・准教授

研究者番号：40329214

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：有機フッ素化合物の物理的性質や化学的性質、有機フッ素化合物を溶媒とする電解質溶液の特性およびリチウム二次電池の特性を系統的に検討した。トリフルオロメチル基は、電子求引性誘起効果が強く働き、高い。鎖状ジエーテルおよび鎖状トリエーテルのエチル基の末端にフッ素原子を3個導入すると、質量密度、比誘電率、粘性率が増加したが、物質濃度、屈折率は減少した。高温側におけるトリフルオロ体の動粘性率は、対応する無置換体のものに近かった。トリフルオロ体における酸素原子の電子対供与性は低かった。トリフルオロ体を無置換体の代わりに使用すると、高サイクル数におけるク-ロン効率や放電容量の低下が抑制された。

研究成果の概要(英文)：A trifluoromethyl group (CF₃-) is a strong electron-withdrawing substituent. The trifluoromethyl is much larger than a methyl group. We have investigated the physical and electrolytic properties of trifluorinated linear ethers as solvents and their application to lithium secondary batteries. We synthesized trifluorinated linear diether (TFEME) and trifluorinated linear triether (TFEMEE). The mass densities, relative permittivities, viscosities, and anodic stabilities of TFEME and TFEMEE were higher than those of the corresponding nonfluorinated linear ethers. The presence of the trifluoromethyl group can weaken the attractive forces between molecules. The kinematic viscosities of TFEME and TFEMEE were as low as those of the corresponding nonfluorinated linear ethers especially at high temperatures. The use of an ethylene carbonate (EC)-TFEME or an EC-TFEMEE binary mixture improved the cycling efficiency of a lithium anode and the discharge capacity of a Li|LiCoO₂ coin cell.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学、機能材料・デバイス

キーワード：有機フッ素化合物 リチウム電池

1. 研究開始当初の背景

自然環境保護，省エネルギーに基づく低負荷型社会の実現に向け，携帯電子機器，体内埋め込み型医療機器，電動工具，電気自動車，電力貯蔵等の電源に用いられるエネルギー貯蔵デバイスの開発・高性能化が進められている。リチウム二次電池および電気二重層キャパシタは，代表的なエネルギー貯蔵デバイスである。電解質および溶媒から構成される「電解質溶液」あるいは「電解液」と呼ばれる溶液の設計がエネルギー貯蔵デバイスの特性向上の鍵を握る。

リチウム二次電池の溶媒には，高誘電率溶媒と低粘性溶媒との混合物が一般に使用される。これは，高誘電率と低粘性の相乗効果により電解質溶液の導電率を高めるためである。高誘電率溶媒として環状炭酸エステルであるエチレンカーボネート(EC)，低粘性溶媒としてジメチルカーボネート(DMC)，エチルメチルカーボネート(EMC)，ジエチルカーボネート(DEC)等の鎖状炭酸エステルが使われる。電解質にはヘキサフルオロリン酸リチウム(LiPF₆)等のリチウム塩が通常使用される。環状炭酸エステルであるプロピレンカーボネート(PC)は，電気二重層キャパシタの溶媒として使用される。

われわれの研究グループでは，溶媒分子の設計方法の一つとして既存の溶媒分子にフッ素原子を部分的に導入し，溶液内部の特性およびエネルギー貯蔵デバイスの特性の改善，向上を試みている。フッ素は，以下に示す特異的な性質を有する。

- (1) 電気陰性度が最大
ポ - リングの電気陰性度 F: 4.0 > Cl: 3.0 > Br: 2.8 > I: 2.5 > H: 2.1
- (2) 水素に次いで立体的に小さい
C-X 間の結合距離 $r(\text{C-H}) (= 0.1091 \text{ nm}) < r(\text{C-F}) (= 0.1317 \text{ nm}) < r(\text{C-Cl}) (= 0.1766 \text{ nm}) < r(\text{C-Br}) (= 0.194 \text{ nm}) < r(\text{C-I}) (= 0.213 \text{ nm})$
- (3) イオン化エネルギー (E_{ion})が高い
 $E_{\text{ion}}(\text{F}) (= 1680 \text{ kJ mol}^{-1}) > E_{\text{ion}}(\text{H}) (= 1312 \text{ kJ mol}^{-1}) > E_{\text{ion}}(\text{Cl}) (= 1255 \text{ kJ mol}^{-1}) > E_{\text{ion}}(\text{Br}) (= 1142 \text{ kJ mol}^{-1}) > E_{\text{ion}}(\text{I}) (= 1007 \text{ kJ mol}^{-1})$
- (4) C-F 間の結合エンタルピー ($\Delta H^\circ(\text{C-F})$)が高い
 $\Delta H^\circ(\text{C-F}) (= 484 \text{ kJ mol}^{-1}) > \Delta H^\circ(\text{C-H}) (= 411 \text{ kJ mol}^{-1}) > \Delta H^\circ(\text{C-Cl}) (= 323 \text{ kJ mol}^{-1}) > \Delta H^\circ(\text{C-Br}) (= 269 \text{ kJ mol}^{-1}) > \Delta H^\circ(\text{C-I}) (= 212 \text{ kJ mol}^{-1})$
- (5) C-F 結合の分極率($\alpha(\text{C-F})$)が比較的小さい
 $\alpha(\text{C-H}) (= 0.66 \times 10^{-30} \text{ m}^3) < \alpha(\text{C-F}) (= 0.68 \times 10^{-30} \text{ m}^3) \ll \alpha(\text{C-Cl}) (= 2.58 \times 10^{-30} \text{ m}^3) < \alpha(\text{C-Br}) (= 3.72 \times 10^{-30} \text{ m}^3) < \alpha(\text{C-I}) (= 5.77 \times 10^{-30} \text{ m}^3)$

部分的にフッ素化された有機化合物の分子間には強い相互作用が働き，これらの有機フッ素化合物は種々の特性に対して強い「極性効果」を及ぼす。これは，パーフルオロ化

やポリフルオロ化された有機化合物の特性が，分子間や分子内での相互作用が弱いことに基づくことと異なる。われわれは，フッ素原子の導入位置および導入個数を変化させた一連の有機フッ素化合物を合成してきた。フッ素原子の導入対象とする有機化合物は，汎用的で，かつ比較的単純な構造を有する炭酸エステル，カルボン酸エステル，エーテル，アミド，カルバメート，カルバミド，ニトリルである。これらの有機化合物のうち，鎖状エーテルは，比較的low粘性であるだけでなく，耐還元性にも優れている。

2. 研究の目的

本研究では，鎖状エーテルのエチル基の末端(メチル基部分)にフッ素原子を3個導入したときの種々の特性に及ぼす影響について検討することを目的とした。1-エトキシ-2-メトキシエタン(EME)および1-エトキシ-2-(2-メトキシエトキシ)エタン(EMEE)を基本構造とした。それらのエチル基の片末端にフッ素原子を3個導入したトリフルオロ体:1-(2,2,2-トリフルオロエトキシ)-2-メトキシエタン(TFEME)および1-(2,2,2-トリフルオロエトキシ)-2-(2-メトキシエトキシ)エタン(TFEMEE)を合成した。TFEMEおよびEMEは鎖状ジエーテル(エーテル結合(C-O-C)が2個)，TFEMEEおよびEMEEは鎖状トリエーテル(エーテル結合が3個)である。

3. 研究の方法

(1) 物理的，化学的および電気化学的性質

鎖状エーテルの物理的性質として，比誘電率(ϵ_r)，粘性率(η)，質量密度(密度)(d)，屈折率(n)の温度(θ)変化を検討した。液体内部におけるこれらの物理定数は，エネルギー貯蔵デバイスの特性と密接に関係する。比誘電率は，誘電分極(配向分極，原子分極，電子分極など)の起こりやすさを表し，電解質溶液中での電解質の電離度や溶解度に影響する。屈折率は，比誘電率における電子分極の寄与を考慮するとき重要な役割を果たす。粘性率は分子間力に基づく内部摩擦を表し，電解質のイオン移動度を左右する。粘性率はそのモル質量にも大きく依存する。質量密度はモル質量と物質濃度(モル濃度)との積で与えられる:質量密度 = モル質量 × 物質濃度。したがって，液体の動粘性率(=粘性率/質量密度)に対するモル質量の影響は小さくなりうる。これらの物理定数の温度変化には物質濃度の変化が密接に関係する。質量密度の測定結果より，次式を用いて物質濃度(モル濃度) c を算出した: $c = d/M$ 。ここで， d ， M は，それぞれ質量密度(密度)，モル質量(1 mol当たりの質量)である。電解質の溶解性を高めるために要求される溶媒の性質は，一般に，電気双極子モーメントが大きい
比誘電率が高い
電子対供与性(ドナ - 数)が大きい

電子対受容性(アクセプタ - 数)が大きい
物質量濃度が高い

である。鎖状エ - テルにトリフェニルシラノ
- ルを 0.1 mol dm^{-3} 溶解させたときの ^{29}Si
NMR の化学シフトより、鎖状エ - テルのド
ナ - 数(DM)を間接的に算出した。

電解質溶液の導電率(κ)は、エネルギー - 貯蔵
デバイスの内部抵抗や充放電時の電流負荷
特性に大きく影響する。導電率は、イオン移
動度、イオン電荷数、電解質濃度、電解質の
電離度等によって支配される。鎖状エ - テル
を単一溶媒とする電解質溶液の導電率の温
度変化を検討した。鎖状エ - テルを単一溶媒
とする電解質溶液を用い、電流 - 電位曲線を
25 °C において測定した。白金ディスクを作
用電極、リチウム箔を基準電極および補助電
極とする 3 電極式セルを使用した。電解質に
は LiPF_6 (25 °C において 1 mol dm^{-3})あるいは
リチウムビス(トリフルオロメタンスルホニ
ル)アミド(LiTFSA , 25 °C において 1 mol
 dm^{-3})を使用した。

(2) リチウム二次電池への応用

3 電極式セルを用いてリチウムの還元析出
(充電)と酸化溶解(放電)とを繰り返したと
きのク - ロン効率(サイクル効率)のサイク
ル数による変化を 25 °C において検討した。
ニッケル板を作用電極、リチウム箔を基準電
極および補助電極とし、電流密度を $\pm 1 \text{ mA}$
 cm^{-2} とした。リチウムの還元析出・酸化溶解
を繰り返した後のニッケル基板表面を高分
解能走査型電子顕微鏡(SEM)により分析し、
サイクル効率との相関性も検討した。さらに
、実用に向けてコバルト酸リチウム(LiCoO_2)を
正極、リチウム金属を負極とする 2025 型コ
インセルを作製し、25 °C において定電流 -
定電圧(CC-CV)充電、定電流(CC)放電を行
うことによりこれらの性能も評価した。これら
の評価では、鎖状エ - テルを低粘性溶媒、EC
を高誘電率溶媒とし、これらを等モル含む混
合物を使用した。電解質には LiPF_6 (25 °C にお
いて 1 mol dm^{-3})あるいは LiTFSA (25 °C にお
いて 1 mol dm^{-3})を使用した。

4. 研究成果

(1) 物理的、化学的および電気化学的性質

4 種類の鎖状エ - テルの質量密度、物質量
濃度、比誘電率、屈折率、粘性率は次の順に
低下した。

質量密度： $\text{TFEME} \approx \text{TFEMEE} > \text{EMEE} >$
 EME

物質量濃度： $\text{EME} > \text{TFEME} > \text{EMEE} >$
 TFEMEE

比誘電率： $\text{TFEME} > \text{TFEMEE} > \text{EMEE} >$
 EME

屈折率： $\text{EMEE} > \text{EME} > \text{TFEMEE} > \text{TFEME}$

粘性率： $\text{TFEMEE} > \text{EMEE} > \text{TFEME} > \text{EME}$

動粘性率：低温側 $\text{TFEMEE} > \text{EMEE} >$
 $\text{TFEME} > \text{EME}$

高温側 $\text{TFEMEE} \approx \text{EMEE} >$

$\text{TFEME} \approx \text{EME}$

鎖状エ - テルの比誘電率(ϵ_r)および動粘性率
(ν)の温度(θ)変化を図 1 に示す。

無置換体どうしあるいはトリフルオロ口体
どうしというように、単にエチレンオキシド
($-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-$)単位の数異なる鎖状エ - テル
間の物理定数の大小は、分子サイズやモル質
量の順序により支配されている場合が多か
った。EME 系列よりもエチレンオキシド単位
が 1 個多い EMEE 系列の物質量濃度は低か
ったが、屈折率および粘性率は高かった。EME
のものよりも EMEE の質量密度や比誘電率
は高かったが、TFEME と TFEMEE の質量密
度はほぼ同じであった。TFEMEE のものよ
りも TFEME の比誘電率は高かった。一方、エ
チレンオキシド単位の数と同じ鎖状エ - テル
間での比較においては、分子サイズやモル質
量以外に、電気双極子モ - メントの順序によ
り支配されている傾向があった。電気双極子
モ - メントは、 $\text{TFEMEE} > \text{TFEME} > \text{EMEE} >$
 EME の順に低下すると考えられる。エチル基
の末端にフッ素原子を 3 個導入すると、質量
密度、比誘電率、粘性率が増加したが、物質
量濃度、屈折率は減少した。モル質量の影響
の小さい動粘性率における差のほうが、粘性
率における差よりも小さかった。特に、高温
側におけるトリフルオロ口体の動粘性率は、対
応する無置換体のもに近かった(図 1(b))。

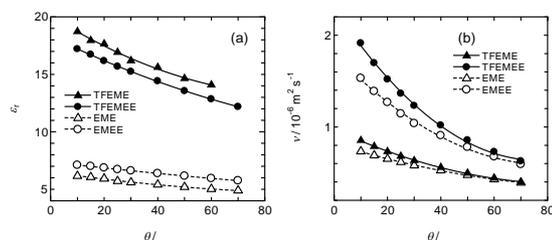


図 1 (a) 鎖状エ - テルの比誘電率(ϵ_r)の温度
(θ)変化。(b) 鎖状エ - テルの動粘性率(ν)の温
度変化。

水素原子 2 個とフッ素原子 1 個が同一の炭
素原子に結合しているモノフルオロ口体の物
質量濃度、質量密度、比誘電率、屈折率、粘
性率は、対応する無置換体のもよりも高い。
これらの特性には、電気双極子モ - メントの
増加に基づく極性効果が現れていること以外
に、 $\text{CF-H}\cdots\text{O}=\text{C}$ や $\text{C-F}\cdots\text{H}-\text{C}$ で表される
弱い水素結合の形成が影響していると考え
ている。フッ素原子 3 個が同一の炭素原子に
結合しているトリフルオロ口体の場合、種々
の特性に及ぼす水素結合の形成の影響は小
さいと思われる。

フッ素原子の強い電子求引性誘起効果に
より、鎖状エ - テル分子内に電荷の偏りが生
じる。この電荷の偏りは分子間引力を強める
働きをする。同一炭素原子におけるフッ素原
子の導入個数の増加とともに、フルオロメチ
ル基の電子求引性誘起効果が強くなり、誘起
置換基定数 σ_1 の値は正側に大きくなる： CF_3-

($\sigma_1 = 0.38$) > CHF₂- ($\sigma_1 = 0.29$) > CH₂F- ($\sigma_1 = 0.15$) > CH₃- ($\sigma_1 = 0.01$)。一方、フッ素原子の導入により嵩高さが増し、立体置換基定数 E_S の値は負側に大きくなる: CF₃- ($E_S = -1.16$) > CHF₂- ($E_S = -0.67$) > CH₂F- ($E_S = -0.24$) > CH₃- ($E_S = 0.00$)。トリフルオロメチル基の嵩高さは、*tert*-ブチル基((CH₃)₃C-, $E_S = -1.54$)よりも小さいが、*sec*-ブチル基(CH₃CH₂(CH₃)CH-, $E_S = -1.13$)と同程度である。トリフルオロ口体(TFEME, TFEMEE)の分子サイズが、対応する無置換体(それぞれ EME, EMEE)のものよりも大きいことは、トリフルオロ口体の物質量濃度が無置換体のものより低いことからわかる。トリフルオロメチル基の立体障害、隣接する分子の非共有電子対間の反発、C-F結合の比較的小さな分極率、トリフルオロメチル基の低い水素結合形成能は、分子間引力を弱める方向に働く。トリフルオロ口体の物理的、化学的、電気化学的性質は、正味の結果として生じる分子間引力の弱さに基づくことが多いと思われる。

溶媒のドナ - 数(DN)は、電子対供与性(ルイス塩基性)を表し、電解質カチオン(本研究では、リチウムイオン)に対する溶媒和の強さの尺度となる。エチレンオキシド単位の数が1個多いEMEE系列のドナ - 数は、EME系列の場合よりも大きかった。4種類の鎖状エ - テルのドナ - 数は、次の順に減少した: EMEE (21) > EME (19) > TFEMEE (18) > TFEME (14.4)。エチル基の末端にフッ素原子を3個導入すると、エ - テル結合における酸素原子の電子対供与性が低くなることかわかる。

トリフルオロ口体を単一溶媒とする電解質溶液の導電率は、相当する無置換体の場合よりも低かった。トリフルオロ口体では、酸素原子の電子対供与性が低いことから、カチオンに対する溶媒和も弱いと考えられる。リチウム塩の電離度が低下するため、トリフルオロ口体を単一溶媒とする電解質溶液の導電率は低いと解釈できる。エ - テル結合における酸素原子の電子対供与性の低下は、耐酸化性の向上をもたらした。鎖状エ - テルを単一溶媒とする電解質溶液を用い、25 °Cにおいて測定した電流 - 電位曲線を図2に示す。

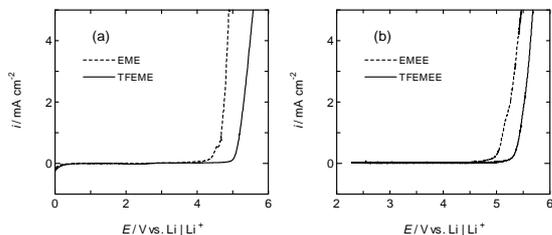


図2 鎖状エ - テルを単一溶媒とする電解質溶液を用い、25 °Cにおいて測定した電流 - 電位曲線。白金ディスクを作用電極、リチウム箔を基準電極および補助電極とする3電極式セルを使用した。電解質: LiPF₆ (1 mol dm⁻³) あるいはリチウムビス(トリフルオロメタン

スルホニル)アミド(LiTFSa, 1 mol dm⁻³)。掃引速度: 5 mV s⁻¹

(2) リチウム二次電池への応用

3 電極式セルを用いてリチウムの還元析出(充電)と酸化溶解(放電)とを繰り返したときのク - ロン効率(サイクル効率)のサイクル数による変化を図3に示す。EC-EME系およびEC-EMEE系では、15サイクル以降、70%から20%にサイクル効率が低下した。ところが、EC-TFEME系およびEC-TFEMEE系では、30サイクルにおいて60%以上のサイクル効率を示した(図3)。SEMによる表面観察の結果、リチウム酸化溶解後の表面被膜の形態が均一で、粒径のそろった析出物が残存するときにリチウムの還元析出と酸化溶解の可逆性が向上する傾向が見られた。

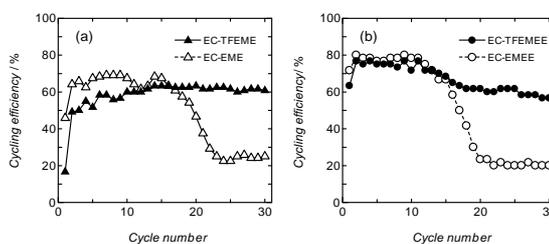


図3 リチウムの還元析出(充電)と酸化溶解(放電)とを繰り返したときのク - ロン効率(サイクル効率)のサイクル数による変化(25 °C)。電解質溶液: (a) 1 mol dm⁻³ LiPF₆を含むEC-鎖状ジエ - テル等モル混合物、(b) 1 mol dm⁻³ LiTFSaを含むEC-鎖状トリエ - テル等モル混合物。ニッケル板を作用電極、リチウム箔を基準電極および補助電極とした。電流密度: ±1 mA cm⁻²。

2025 型コインセルの充放電サイクルに伴う放電容量の変化を図4に示す。この評価においてもサイクル効率の結果と同様に、導電率等の溶液バルク特性と無関係であった。EC-TFEME系の放電容量は、50サイクルにおいて約110 mAh g⁻¹であり、他の混合溶媒系における値よりも高かった。TFEMEを使用すると、高サイクル数における放電容量の低下を抑制できた。EC-TFEMEE系の放電容量は、EC-EMEE系の放電容量よりもわずかに高かった。

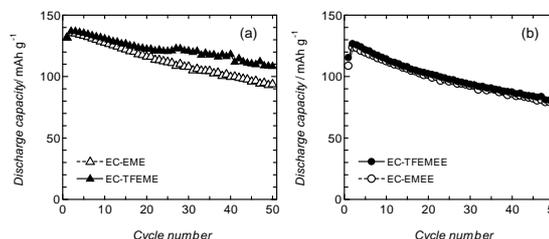


図4 25 °CにおけるLi/LiCoO₂コインセルの放電容量のサイクル数による変化。電解質溶液: (a) 1 mol dm⁻³ LiPF₆を含むEC-鎖状ジエ - テル等モル混合物、(b) 1 mol dm⁻³ LiTFSa

を含む EC-鎖状トリエ - テル等モル混合物 . 定電流(0.2 C) - 定電圧(4.2 V)で合計 5 時間充電し, 定電流(0.2 C)で 3.0 V まで放電した .

リチウム負極上には, トリフッ素化鎖状エ - テルの還元により表面皮膜(不動態皮膜, SEI)が生成する. TFEME と TFEMEE におけるエチレンオキシド単位の数は違うが, この表面皮膜はリチウムデンドライトの成長を抑制し, リチウムイオンの高い透過性を有すると考えている .

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 10 件, 全て査読有)

Noritoshi Nambu and Tomohiro Satoh, “Electrolytic Characteristics of Tetramethylammonium Compounds and Performance of Electric Double-Layer Capacitors Evaluated by Using Transmission-Line Model,” *ECS Transactions*, 査読有, Vol. 50, Issue 43, pp. 163-174 (2013).

Tomohiro Satoh, Noritoshi Nambu, Masahiro Takehara, Makoto Ue, and Yukio Sasaki, “Physical and Electrolytic Properties of Trifluorinated Linear Ethers and Their Application to Lithium Secondary Batteries,” *ECS Transactions*, 査読有, Vol. 50, Issue 48, pp. 127-142 (2013).

Noritoshi Nambu, Ryosuke Takahashi, Keita Suzuki, and Yukio Sasaki, “Electrolytic Properties of Tetramethylammonium Compound in Highly Concentrated Solutions and Its Application to Electric Double-Layer Capacitors,” *Electrochemistry*, 査読有, Vol. 81, No. 10, pp.811-813 (2013).

Noritoshi Nambu, Dan Kobayashi, and Yukio Sasaki, “Physical and Electrolytic Properties of Different Cyclic Carbonates as Solvents for Electric Double-Layer Capacitors,” *Electrochemistry*, 査読有, Vol. 81, No. 10, pp.814-816 (2013).

Noritoshi Nambu, Ryosuke Takahashi, Masahiro Takehara, Makoto Ue, and Yukio Sasaki, “Electrolytic Characteristics of Fluoroethylene Carbonate for Electric Double-Layer Capacitors at High Concentrations of Electrolyte,” *Electrochemistry*, 査読有, Vol. 81, No. 10, pp.817-819 (2013).

Noritoshi Nambu, Taku Kobayashi, Dan Kobayashi, Ryosuke Takahashi, and Yukio Sasaki, “Effect of Methoxy Group on Physical and Electrolytic Properties of Propylene Carbonate,” *Electrochemistry*, 査読有, Vol. 81, No. 10, pp.820-822 (2013).

〔学会発表〕 (計 7 件)

渡辺 裕秀, 南部 典稔, “環状カ - ボネ - トの物性および電解液特性に及ぼす置換効果,” 公益社団法人電気化学会第 81 回大会, 関西大学千里山キャンパス, 大阪府吹田市, 3.29 (329-3-31), 2014.

Tomohiro Satoh, Noritoshi Nambu, Masahiro Takehara, Makoto Ue, and Yukio Sasaki, “Physical and Electrolytic Properties of Partially Fluorinated Chain Ethers as Solvents for Lithium Secondary Batteries,” PRiME 2012, October 8 (October 7-12) (Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii), 2012.

Noritoshi Nambu and Tomohiro Satoh, “Electrochemical Behavior of Electrolytes at Porous Electrode Investigated with Transmission-Line Model,” PRiME 2012, October 10 (October 7-12) (Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii), 2012.

佐藤 智宏, 南部 典稔, 竹原 雅裕, 宇恵 誠, 佐々木 幸夫, “リチウム二次電池用溶媒としての含フッ素鎖状エ - テルの物性および電解液特性,” 電気化学会第 79 回大会, アクトシティ浜松, 静岡県浜松市, 3.29 (3.29-3.31), 2012.

Noritoshi Nambu, Ryosuke Takahashi, Dan Kobayashi, Keita Suzuki, Masahiro Takehara, Makoto Ue, Yukio Sasaki, “Physicochemical Properties of Fluoroethylene Carbonate and Performance of Electric Double-Layer Capacitors at High Concentrations of Electrolyte,” 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Toki Messe, Niigata, Sep. 13 (Sep. 11-16), 2011.

〔図書〕 (計 3 件)

南部 典稔, “次世代蓄電池の【最新】材料技術と性能評価,” pp. 202-206, 技術情報協会, (2013.12.27).

南部 典稔, “電気化学/インピ - ダンス測定 のノウハウと正しいデ - タ解釈,” pp. 133-139, 技術情報協会, (2013.5.31).

南部 典稔, “リチウム二次電池部材の測定・分析デ - タ集 - 表面・界面観察,劣化分析, インピ - ダンス測定, 安全性試験 - , ” pp. 306-318, 技術情報協会 (2012.6.29).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

南部 典稔 (Nambu, Noritoshi)
東京工芸大学工学部・准教授

研究者番号 : 40329214

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし