

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K05293

研究課題名(和文)有機電解液中における金属Mgの電気化学的析出溶解反応に関する基礎研究

研究課題名(英文)The study on the electrochemical Mg plating/stripping reaction in the organic solutions

研究代表者

嵯峨根 史洋(Sagane, Fumihito)

静岡大学・工学部・講師

研究者番号：70443538

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：有機電解液中におけるMg金属の電気化学挙動の解明を目的とし、各種添加剤の影響について詳細に調べた。MgCl₂およびMg(BH₄)₂がMg表面の被膜に及ぼす影響について調べた結果、ともにMg表面に吸着し、抵抗成分の原因となるTFSA-の還元分解を抑制することを明らかとした。また、Mg(TFSA)₂/グライム電解液中におけるMg析出反応の可否を決定する要因として、電解液中のMg²⁺が適切な溶媒和状態をとることが必要であることを新たに見出した。これらの成果はマグネシウム二次電池用電解液の設計指針となるだけでなく、Mgの化学に新たな知見をもたらすものであり、学術面・産業面に大きな意義を示すものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：金属MgはLiと異なり、電解液由来の還元被膜がイオン伝導性を示さないため、これまで電解液は耐還元性の高さ、すなわち熱力学的な安定性に着目した研究が主流であった。これに対し本研究は溶媒和能力が析出反応の可否を決定する要因であることを見出し、速度論的な議論もまた重要であることを明らかとした。これは有機電解液中でのMgの化学に新たな発展をもたらすものである。

社会的意義：Mgを用いた二次電池は元素戦略的にポストリチウムイオン二次電池として期待が高い一方、実用化には多くの課題がある。本研究は電解液中のMg²⁺の溶媒和状態と電極反応の相関を議論したものであり、電池設計の指針を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：The effect of the Mg-salt additives on the electrochemical Mg reactions were investigated, aiming at the elucidation of the Mg behavior in the organic solutions. We found that the MgCl₂ or Mg(BH₄)₂ additives adsorbed on the fresh Mg surface and as the result, these Mg salts played as the inhibitor for the TFSA anion decomposition at the Mg surface. The effect of the coordination of the solvent species were also investigated. The Mg plating reaction in Mg(TFSA)₂/diglyme was inhibited by 15-crown-5 ether (15C5) to Mg-ion. On the other hand, Mg plating took place in the solution by reducing the amount of 15C5. FT-IR spectra showed that 15C5 preferentially solvated Mg-ion in the glyme based solutions. The theoretical calculation indicated the interaction between Mg-ion and each O atom in 15C5 was stronger than that with diglyme or larger sized crown ether. The results showed that the coordination ability of the solvent species could be the critical for the Mg plating reaction.

研究分野：電気化学

キーワード：Mg金属 脱溶媒和 配位状態

1. 研究開始当初の背景

金属 Mg は $-2.36 \text{ V (vs. NHE)}$ の低い標準電極電位と $3833 \text{ mA h cm}^{-3}$ の高い理論容量を併せ持つことより、次世代二次電池の電極材料として大きな注目を集めている。一方、Mg は多くの有機電解液と反応しその表面に不導体被膜を形成するため、可逆的な Mg の析出溶解を可能とする電解液には厳しい制約がある。従来、Grignard 試薬や Mg ハロアルミネートを用いた電解液で可逆な Mg 析出溶解の報告がなされてきたが、これらの電解液はイオン伝導性、化学的安定性、耐酸化性に乏しく、電解液としての利用は現実的でない。これに対し、解離性に優れた $\text{Mg}(\text{N}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2)_2$ ($\text{Mg}(\text{TFSA})_2$) を直鎖エーテルであるグライムに溶解させた電解液において可逆な Mg 析出溶解が報告された。この電解液はイオン伝導率が $10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 、耐酸化性も $3.5 \text{ V (vs. Mg}^{2+}/\text{Mg)}$ 程度と優れており、実用的な電解液として注目されている。一方、析出溶解の可逆性は 10% 程度と乏しく、また、析出溶解時の過電圧が 2V 程度と非常に大きい。これは TFSA⁻アニオンの還元分解による被膜形成が主たる要因と考えられている。可逆性を向上可能な添加剤の報告もなされているが、その反応メカニズムは明らかでない。

2. 研究の目的

有機電解液との反応による被膜形成はリチウム金属でも起こるが、Li 金属上の被膜はリチウムイオン伝導性を有するため、被膜を介した電気化学反応が可能となる。このように Li と Mg は同じ s ブロック金属でありながら、その性質は大きく異なる。そこで本研究は、 $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{グライム}$ 電解液中における金属 Mg の電気化学を理解すべく、(1) 各種添加剤が被膜形成に及ぼす影響および (2) 電解液中の Mg^{2+} の配位状態が析出溶解挙動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 各種添加剤が被膜形成に及ぼす影響

添加が確認されている MgCl_2 および $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ を使い、添加剤の有無による被膜形成過程を電気化学的水晶振動子マイクロバランス法 (EQCM) により観察した。また、光学顕微鏡を用いて Mg の析出溶解挙動を“その場”観察し、添加剤が繰り返し Mg 析出溶解挙動に及ぼす影響について調べた。

(2) 電解液中の Mg^{2+} の配位状態が析出溶解挙動に及ぼす影響

環状エーテル(クラウンエーテル)はサイズによってカチオンとの配位能力が異なることが知られている。そこで本研究では種々のクラウンエーテルに配位させた Mg^{2+} の析出溶解挙動について調べ、電解液中の配位状態が電極反応に及ぼす影響について議論した。電解液中の配位状態はフーリエ変換赤外分光法 (FT-IR) および第一原理計算によって決定した。

4. 研究成果

(1) 各種添加剤が被膜形成に及ぼす影響

① 金属 Mg の析出形態が QCM 測定に及ぼす影響

Fig.1-1-1 に $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{diglyme}$ 中における Au 電極のサイクリックボルタモグラム (CV) および対応する QCM 測定結果を示す。 $-0.7 \text{ V (vs. Mg}^{2+}/\text{Mg)}$ 付近より Mg 析出による還元電流と、対応する酸化電流が 1.5 V 付近に認められた。析出溶解に 2V 程度の大きな過電圧が必要であり、また、クーロン効率も 10% 以下と乏しい。これは $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{グライム}$ 系電解液に典型的な挙動である。しかしながら、QCM は Mg の析出過程にもかかわらず質量減少を、Mg 溶解時に質量の増加を示し、明らかに特異な挙動が得られた。一方、優れた可逆性を示す Grignard 試薬においては正常な質量変化を確認した。Grignard 試薬中で析出した Mg は被膜を形成しておらず、また、析出物は緻密で均一な析出形態となる。これに対し $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{グライム}$ 電解液による Mg 析出物は電解液由来の表面被膜を形成する。また、析出形態も Grignard 試薬と大きく異なり、Fig.1-1-2 に示すように粗大な粒子状の析出物が基板に不均一に認められるのみである。そこで $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{グライム}$ 電解液における QCM の特異な挙動が表面被膜によるものであるのか、それとも析出形態によるものであるのかを議論するため、Grignard 試薬で Mg 金属を析出させたのち、電解液を $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{グライム}$ に交換し、Mg 溶解挙動を EQCM により調べた。リニアスイープボルタメトリーおよび QCM により調べた結果を Fig.1-1-3 に示す。 2.2 V 付近より Mg 溶解に起因する酸化電流が確認された。また、QCM 測定より、酸化電流に対応して約 $6 \mu\text{g}$ の質量減少が認められた。本研究で析出させた Mg が $5 \mu\text{g}$ であることを考慮すると、電解液の交換に

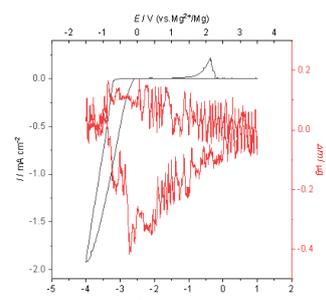


Fig.1-1-1 $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{diglyme}$ における CV および質量変化

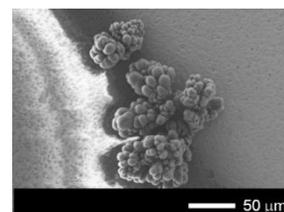


Fig.1-1-2 $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{diglyme}$ における Mg 析出物

よって $1 \mu\text{g}$ 程度の表面被膜が形成され、これが電位の貴掃引によってほぼ完全に溶解したことが伺える。この結果は QCM が正常な挙動を示したことを意味していることより、上述した $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{diglyme}$ における異常な挙動は Mg 表面上の被膜形成が主たる要因ではないことが明らかとなった。

次に Mg の析出形態が QCM の応答に与える影響について調べるため、異なる電流密度での Mg 析出挙動について調べた。一般的に低電流密度での金属析出は基板に印加される核形成過電圧が小さいため、粗大な析出物が不均一に析出する。これに対し高電流密度での金属析出では、核形成過電圧が大きくなるため、緻密な析出物が得られる。電流密度を 0.25 mA cm^{-2} 、 10 mA cm^{-2} の2つの条件で Mg を析出させたところ、低電流密度では CV と同様、QCM において Mg 析出に対応した質量増加は認められなかった一方、高電流密度では Mg 析出に伴い、理論値に近い質量増加が確認された。以上の結果より、QCM の異常な応答は Mg の析出形態が主要因であることが示唆された。

質量増加にもかかわらず QCM が減少応答を示すことは過去に報告があり^[1]、これに依ると、粗大な堆積物が基板に点接触している場合に QCM の減少応答が確認されている。この要因として接点は基板と共に振動するのに対し、粗大堆積物は相対的に静止に近い状態が維持されるため、結果として復元力が発生するというものである。Mg の析出形態を詳細に調べるために断面 SEM 観察を行った結果を Fig.1-1-4(a), (b)に示す。低電流密度における析出物は上面からは $50 \mu\text{m}$ 程度であるのに対し、基板との接点は $10 \mu\text{m}$ 程度となっており、復元力の発生に矛盾しない。一方、高電流密度における析出物は $10 \mu\text{m}$ 程度の直径をもつ半球状であるため、復元力の発生は起こらず、QCM の正常な応答が得られたものと考えられる。

以上の結果より、 $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{グライム}$ 電解液における Mg 析出溶解過程の QCM による観察は、QCM の異常な挙動のため困難となり得ることが明らかとなった。この異常挙動は $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{グライム}$ 電解液における Mg 析出物の特徴的な形状、すなわち、粗大な析出物にもかかわらず基板との接触面積が小さい形状であるため、基板の振動に対し復元力が働くことが原因であることを見出した。以下の研究においては、高電流密度で Mg を析出させることで、QCM による反応解析を可能とした。

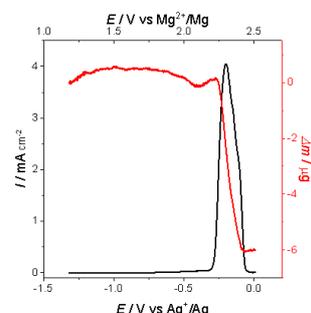


Fig.1-1-3 Mg溶解のLSVおよび質量変化

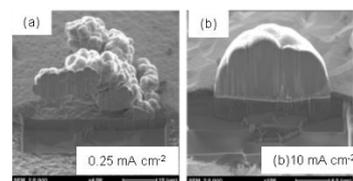


Fig.1-1-4 電流密度によるMg析出形態の変化

② MgCl_2 および $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ 添加が被膜形成に及ぼす影響

前項において Mg 上の被膜を QCM により分析するためには、Mg の緻密な析出形態が必要であることを明らかとした。そこで以後の研究においては、 10 mA cm^{-2} の高電流密度で析出した Mg を対象とし、被膜の形成過程について詳細に調べた。また、 MgCl_2 および $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ の添加が被膜に及ぼす影響について調べた。

0.5 mol dm^{-3} $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{diglyme}$ 中で析出させた Mg 元素分析の結果、表面は $\text{Mg:F} = 100:4.4$ となり、TFSA由来の分解被膜が比較的多く含まれていることが分かる。これは $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{グライム}$ 電解液における反応性の乏しさと矛盾しない結果である。これに対し断面 SEM の元素分析では、 $\text{Mg:F} = 100:0.3$ となり、内部は Mg の純度が著しく高いことが明らかとなった。析出物内部にも分解物由来の成分が確認されていることより、Mg 析出と TFSA の分解が同時に起こっていることが分かるが、分解反応の速度は比較的遅いことが示唆された。

MgCl_2 と $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ の役割の違いを明確にすべく、 $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{diglyme}$ で Mg を析出させた後、電解液を MgCl_2 あるいは $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ を含んだグライム溶液に入れ替えて Mg 電極の電位変化について調べた。その結果を Fig.1-2-1 に示す。 MgCl_2 を含んだ溶液に入れ替えても開回路電位に大きな変化は認められず、理論値よりも 1 V 以上高い電位のままであった。これに対し、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ を含んだ溶液に入れ替えた系では直後から開回路電位が減少し、理論値に近い値を示した。これは TFSA由来の被膜成分が BH_4^- によって分解され、純粋な Mg 表面が維持された一方、 MgCl_2 には被膜の破壊効果は無く、異なるメカニズムで Mg 表面に作用することが明らかとなった。

MgCl_2 の添加メカニズムを検討するため、 MgCl_2 の有無による、Mg 析出物の開回路電位の変化を調べた結果を Fig.1-2-2 に示す。 MgCl_2 を含まない $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{diglyme}$ では測定直後から電位の上昇が認められた。これは析出した Mg が電解液と反応し、TFSA由来の被膜に覆われたこ

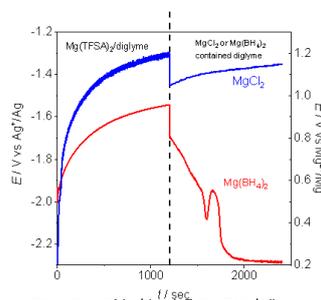


Fig.1-2-1 添加剤によるOCPの変化

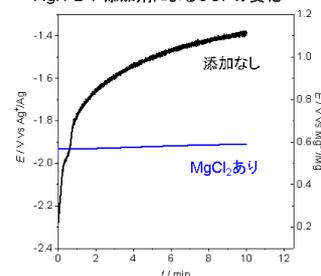


Fig.1-2-2 MgCl_2 の有無によるOCPの変化

とを示している。これに対し MgCl_2 を含んだ電解液中では、 0.6 V 程度と理論値よりは高いものの、時間による電位上昇は認められず、安定な値を示した。これは継続的な電解液の分解が抑制されていることを示唆している。一方、 Mg 析出過程における質量変化は理論値よりも大きな値を示した。また、析出物の断面 SEM-EDS からは、TFSA由来の成分が検出されなかった一方、 Cl が検出された。電解液の分解が抑制されているにもかかわらず質量変化が理論値よりも大きいこと、結晶内部に Cl が検出されたことを考慮すると、 Cl は Mg 表面に吸着しており、これにより TFSA と Mg 金属との接触を妨げているものと考えられる。

$\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ は被膜の分解効果があることが明らかとなったが、 Mg 表面で TFSA の分解を抑制するのか、それとも被膜形成とその破壊を繰り返しているのかは不明である。そこで Mg 基板の繰り返し溶解挙動を光学顕微鏡で”その場”観察することで、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ の添加効果の詳細について検討した。Fig.1-2-3(a)にサイクリックボルタモグラム(CV)を、Fig.1-2-3(b)には 0.5 V における光学顕微鏡像を示す。 0.3 V 付近より Mg の溶解に起因する酸化電流が認められ、その際、 Mg 表面から黒色の粒子が流れ出る様子が確認された。また、流出の起こった箇所ではピット形成が確認されたことより、 Mg の溶解に伴い、付近の被膜に覆われた Mg 表面が比較的大きな粒子として滑落したものと考えられる。さらに貴掃引を続けると、 0.75 V 付近からは電流値が低下し、溶解反応が抑制される挙動が確認された。しかしながら卑掃引時において、ほぼ同じ電位でスパイク上の電流が確認され、その後再び酸化電流が流れだしたことより、溶解反応の抑制は抵抗被膜のような不可逆な反応によるものではなく、電解液中の成分によって反応サイトが塞がれたものと考えられる。このような挙動は $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ を加えた系でのみ確認されたことより、 BH_4^- あるいはこれを含んだ錯イオンが吸脱着に関与しているものと考えられる。

以上の結果より、 Mg 金属負極の反応性を向上可能な MgCl_2 および $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ の添加効果として、両者ともに活性の高い Mg 表面にアニオンが吸着し、TFSA の還元分解を抑制することを明らかとした。また、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ はその高い還元能により、TFSA由来の被膜成分を分解除去可能であることを明らかとした。

(2) 電解液中の Mg^{2+} の配位状態が析出溶解挙動に及ぼす影響

Fig.2-1(a)に $0.5\text{ mol dm}^{-3}\text{ Mg}(\text{TFSA})_2/\text{tetrahydrofuran (THF)}$ に 18-crown-6 (18C6)、15-crown-5 (15C5) それぞれを 0.5 mol dm^{-3} 加えた電解液における CV を示す。18C6 を含んだ電解液では Mg の析出溶解に起因する還元酸化電流が確認されたのに対し、15C5 を含んだ電解液では明確な電流は確認されなかった。 $\text{Mg}(\text{TFSA})_2$ は THF に溶解しないため、電解液中で Mg^{2+} はクラウンエーテルに配位している。従って Mg 析出反応の可否は、電解液中のクラウンエーテルとの配位能力が関与していることが示唆された。

Fig.2-1(b)に $0.5\text{ mol dm}^{-3}\text{ Mg}(\text{TFSA})_2/\text{diglyme}$ に 0.5 mol dm^{-3} 18C6 あるいは 15C5 を加えた電解液における CV を示す。 $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{diglyme}$ は Mg 析出が可能な電解液であるにもかかわらず、15C5 を添加することで析出反応が阻害される結果となった。この原因として、 Mg^{2+} と 15C5 の相互作用が強く、脱溶媒和過程が困難であること、あるいは、15C5 が還元分解し不導体被膜を形成していることが挙げられる。そこで 15C5 の対還元性を評価すべく、異なる濃度の 15C5 を $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{diglyme}$ に添加した際の電気化学挙動を調べたところ、15C5 を $\text{Mg}(\text{TFSA})_2$ よりも低濃度とした場合において Mg の析出による還元電流が確認された。電解液溶媒の還元分解による被膜は不導体であり、わずかな分解物によって Mg 析出反応は完全に阻害されることが分かっている。従って 15C5 の添加による Mg 析出の阻害効果は 15C5 の還元分解によるものではなく、 Mg^{2+} との相互作用によるものであることを明確にした。

それぞれの電解液における Mg^{2+} の配位状態を明らかにするため、FT-IR 測定を行った結果を Fig.2-2(a)および(b)にそれぞれ示

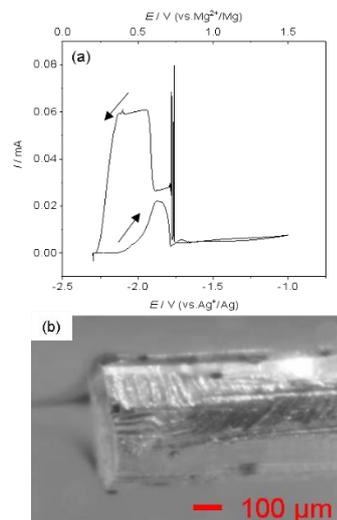


Fig.1-2-3 (a) $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ 含有電解液における Mg の溶解挙動および0.5Vにおける Mg の光学顕微鏡像

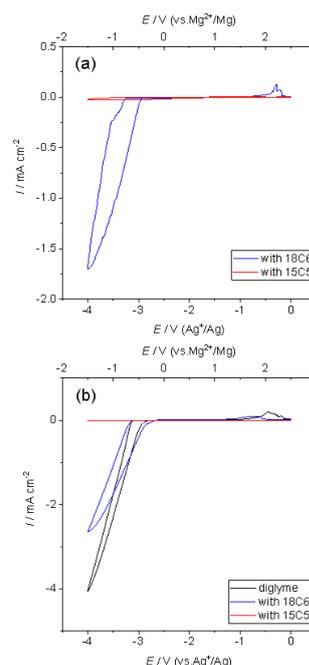


Fig.2-1 (a) $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{THF}$ および (b) $\text{Mg}(\text{TFSA})_2/\text{diglyme}$ にクラウンエーテルを添加した際の Pt 電極のサイクリックボルタモグラム

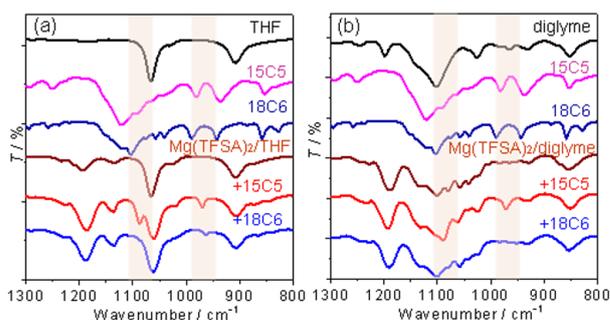


Fig.2-2 (a) Mg(TFSA)₂/THFおよび(b) Mg(TFSA)₂/diglymeにクラウンエーテルを添加した際のFT-IR

Table 2-1. Mg²⁺と各溶媒との配位による安定化エネルギー

酸素の数 (n)	安定化エネルギー (E) (kcal mol ⁻¹)	E / n (kcal mol ⁻¹)
18C6	-303.53	-50.59
diglymex2	-312.48	-52.08
15C5	-276.05	-55.21

(Gaussian03 MP2/6-311G**)

す。Mg(TFSA)₂/THF の場合、クラウンエーテル添加系では 970 cm⁻¹ および 1085 cm⁻¹ 付近に新たなピークが確認された。これはクラウンエーテルが Mg²⁺ と配位状態にあることを意味しており、THF 電解液中では 15C5、18C6 いずれも Mg²⁺ と溶媒和していることが分かる。一方、Mg(TFSA)₂/diglyme の場合、15C5 添加系のみ新たなピークが確認された。すなわち、THF 電解液中では 18C6 に配位された Mg²⁺ は析出可能であるが 15C5 に配位された Mg²⁺ は析出が困難、また、グライム電解液中では 15C5 に配位された Mg²⁺ のみ析出不可能となることが確認された。これは Mg²⁺ と 15C5 の相互作用が強く、析出時における脱溶媒和過程が困難になるためと考えられる。そこで Mg²⁺ と溶媒との相互作用を詳細に議論するため、第一原理計算により各溶媒和状態の安定化エネルギーを算出した結果を Table 2-1 に示す。安定化エネルギーは [Mg²⁺(diglyme)₂] > [Mg²⁺(18C6)] > [Mg²⁺(15C5)] となった。これは電気化学測定結果および FT-IR から得られる配位の優先度と相反するものである。一方、個々の配位子との相互作用、すなわち酸素 1 つ当たりの相互作用は 15C5 が最も大きい値となった。脱溶媒和過程は、配位する酸素が一度にすべて脱溶媒和するのではなく、段階的に脱溶媒和すると考えると、15C5 に配位された Mg²⁺ は脱溶媒和過程が最も困難となり、実験事実と良い一致を示す。

以上の結果より、Mg(TFSA)₂/グライム電解液において、Mg の析出過程には溶媒との適切な配位状態が必要であることを明らかとした。

まとめ

本研究では、有機電解液中における Mg 金属の電気化学挙動の解明を目的とし、マグネシウム二次電池用電解液として注目されている Mg(TFSA)₂/グライム電解液および各種添加剤の影響について詳細に調べた。反応性の改善が報告されている MgCl₂ および Mg(BH₄)₂ が Mg 表面の被膜に及ぼす影響について調べた結果、ともに Mg 表面に吸着し、抵抗成分の原因となる TFSA- の還元分解を抑制することを明らかとした。また、Mg(TFSA)₂/グライム電解液における Mg 析出反応の可否を決定する要因として、これまで提案されてきた対還元性だけでなく、電解液中の Mg²⁺ が適切な溶媒和状態をとることが必要であることを新たに見出した。本研究で得られた結果は、マグネシウム二次電池用電解液の設計指針となるだけでなく、有機電解液における Mg の化学に新たな知見をもたらすものであり、学術面・産業面に大きな意義を示すものである。

参考文献

1. A. Pomorska, D. Shchukin, R. Hammond, M.-A. Cooper, G. Grundmeier and D. Johannsmann, *Anal. Chem.*, **82**, 2237 (2010).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 鈴木拓海、嵯峨根史洋	4. 巻 89
2. 論文標題 Electrochemical N(CF ₃ SO ₂) ₂ - Intercalation/de-intercalation into Graphite Electrode as the Positive Electrode Reaction for Mg Secondary Batteries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 12-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5796/electrochemistry.20-00099	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 Sagane Fumihito, Ogi Kenta, Konno Akinori, Kanamura Kiyoshi	4. 巻 168
2. 論文標題 The Effect of the Coordination Ability on the Mg Plating/Stripping Behavior in Mg(N(CF ₃ SO ₂) ₂) ₂ /Glyme Based Electrolytes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 120528 - 120528
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1149/1945-7111/ac418b	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 SAGANE Fumihito, MURAMATSU Akiya	4. 巻 90
2. 論文標題 The Effect of Mg Morphology on the Irregular Behavior of the Electrochemical Quartz Crystal Microbalance in Mg(N(CF ₃ SO ₂) ₂)/glyme Solutions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 057003 - 057003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5796/electrochemistry.22-00034	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6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 西川尚志、嵯峨根史洋
2. 発表標題 グライム系電解液におけるMg析出溶解挙動の ” その場 ” 観察
3. 学会等名 2020年ヤングエレクトロケミスト研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西川尚志、嵯峨根史洋
2. 発表標題 BH4-を含んだグライム系電解系におけるMg析出溶解反応の"その場"観察
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西川尚志、嵯峨根史洋
2. 発表標題 有機電解液中におけるMg析出溶解反応の"その場"観察
3. 学会等名 電気化学会関西支部・東海支部合同シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西川尚志、嵯峨根史洋
2. 発表標題 グライム系電解系におけるMg析出溶解反応の"その場"観察
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小豆澤修斗、嵯峨根史洋
2. 発表標題 有機電解液における黒鉛電極へのMg ²⁺ イオン挿入脱離挙動
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村松晃弥、嵯峨根史洋
2. 発表標題 Mg二次電池用グライム系電解液における添加剤に関する考察
3. 学会等名 第49回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------