

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510106

研究課題名(和文) セレンをモデルとするレアメタル回収に資する電極反応系の構築

研究課題名(英文) Development of electrode reaction systems which contribute to the recovery of selenium as a model of rare metal recovery

研究代表者

今林 慎一郎 (Imabayashi, Shin-ichiro)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：50251757

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：メチルビオロゲン(MV)添加による亜セレン酸の電極還元反応速度の増加は、MVが電子メディエーター、緩衝液の共役酸がプロトン供与体として働くことで起きていることを明らかにした。この反応を用いて-0.8 V vs. Ag|AgClで定電位電解すると、亜セレン酸を6 $\mu\text{mol dm}^{-3}$ まで除去できた。初濃度1～10 mmol dm^{-3} の場合は電流効率95%以上で99%以上の亜セレン酸を除去でき、その大半が元素態セレンとして回収できることを実証した。電気化学的に還元できないと報告されていたセレン酸もMV添加によって還元可能になるが、回収率は相対的に低く、10%程度であった。

研究成果の概要(英文)：It is found that the addition of methyl viologen (MV) accelerates the reduction of selenium oxanions, HSeO_3^- and SeO_4^{2-} , in the neutral pH region, where MV molecules mediate the electron transfer from electrodes to selenium oxanions and a conjugated acid of buffer supplies proton. The electrolysis at -0.8 V vs. Ag|AgCl based on the MV-mediated reduction reaction is able to lowered the concentration of HSeO_3^- to 6 $\mu\text{mol dm}^{-3}$. When the initial concentration of HSeO_3^- is 1～10 mmol dm^{-3} , more than 99% of HSeO_3^- contained in phosphate buffer is removed with the current efficiency of > 95%, and most of the removed HSeO_3^- is recovered as elemental selenium. While the MV-mediated reaction also enables the electrode reduction of SeO_4^{2-} , which has been reported to be impossible, the efficiency of selenium recovery from SeO_4^{2-} is relatively low 10%.

研究分野：電気化学

キーワード：水溶性セレン 電極還元反応 メディエーター プロトン共役電子移動 セレン回収

1. 研究開始当初の背景

近年、IT 関連産業等の先端産業におけるレアメタルの消費が世界的に急伸している。資源に乏しく、先端産業の国際競争力の高さが重要な日本にとって、レアメタルの安定供給は至上命題である。

セレンは一部の植物と微生物、すべての脊椎動物に必須な元素であるが、必要量と中毒量の差が極めて小さく、摂取量が過剰でも不足でも生体に対して障害を引き起こす。金属製造・精錬業、ガラス製造業、石炭火力発電所排煙脱硫排水など各種産業からの排液、土壌セレン含量の高い地域の農業排水には毒性の強いセレンオキシアニオン(セレン酸、亜セレン酸)が高濃度で含まれるため、毒性の低い元素態セレンに還元して除去する排水処理が必須である。一方、セレン、特に金属セレンは半導体性・光伝導性を有するために太陽電池や半導体など産業界で広く利用されている政府指定のレアメタルである。希少資源の有効利用および持続的社会的の実現のために、セレン回収の重要性が高まっている。

セレンオキシアニオンの除去方法として、現在は主に物理化学的処理法が使用され、生物学的処理法が提案されている。物理化学的処理法は還元、吸着・凝集、濃縮、固定化の各処理法に分類できるが、いずれも還元剤、凝集剤、キレート剤として無機塩などを大量に加えるために高コストであり、必ずしも再利用に適した形態でセレンが回収されない。また、セレン酸の処理には有効でない。生物学的処理法は微生物が持つ還元能を用いるためにコストが低いが、高濃度のセレンオキシアニオン、強酸あるいは強塩基など微生物の生存に厳しい条件では使用できないことが多く、得られる元素態セレンの純度も高くない。このため、既存技術に替わる、あるいは既存技術を補完するセレンオキシアニオンの除去・元素態セレンの回収方法が強く望まれている。

セレンオキシアニオンの電気化学的還元は、亜セレン酸については強酸条件以外では十分な速度で進行しないこと、セレン酸については還元できないことが報告されていた。我々はメチルピオロゲン(MV)を添加することによって、中性pH域でもセレンオキシアニオンを効率よく電極還元できることを見出した。例えば、MVと亜セレン酸を含む電解液(pH 7)中、炭素繊維を電極として電解すると、**図1**のように電極還元によって生成した赤色の元素態セレン微粒子が電極先端から流出し、ビーカーの底に滞留する。この還元により生成する元素態セレンは、電解条件、電極材質、電解質を選ぶことによって析出形態(電解質中に微粒子として析出 or 電極上にフィルム状に析出)や同素体(赤色の単斜セレン or 灰色の金属セレン)をコントロールできる可能性も得られた。

この電極還元反応はMVを含む電解質以外、物理化学的方法のような大量の添加物が不要で、生物学的手法が苦手とする高濃度のセレンオキシアニオンの除去・回収に適用できる可能性

を有している。元素態セレンを凝集粒子として分離でき、メディエーターを含む電解質を繰り返し使用可能にできれば、還元(回収)速度を制御可能な効率的なセレン回収方法に発展できると考え、本研究を実施した。



図1 MVを含むPBS中で亜セレン酸を電極還元したときの写真

2. 研究の目的

レアメタルのモデルとしてセレンを取り上げ、工業排液に含まれる毒性の強いセレンオキシアニオンを除去し、低毒性の元素態セレンとして回収できる、従来の物理化学的あるいは生物学的除去・回収方法を代替するあるいは補完する新規な電極反応系を構築することを目的に、下記3点を検討した。

- (1) MV共存下のセレンオキシアニオンの電極還元反応機構を解明する。
- (2) MV共存下の電極還元反応を利用したセレンオキシアニオン除去、元素態セレン回収プロセス実現の可能性とそのための課題を明らかにする。
- (3) セレン酸還元菌によって生物学的に生成した気体のセレン化合物を元素態セレンへ変換、回収できる電極反応系を構築する。

3. 研究の方法

(1) MV共存下のセレンオキシアニオンの電極還元反応機構の解明

セレンオキシアニオンの電極還元反応について、①MV濃度、②電解質の種類、pH、イオン強度、③電極材質を変えて電気化学測定すると同時に、回転リングディスク電極法によって、カチオンラジカル(MV^{•+})の電極反応挙動や反応に関与する物質の電極への吸着などを解析した。電気化学測定は、作用極にグラッシーカーボン(GC)あるいは金のディスク電極、回転リングディスク電極(RRDE, GCディスク5.61 mmφ-Ptリング6.25~7.92 mmφ)を、参照極にAg/AgCl(飽和KCl)電極を、対極に白金黒線を用い、Arバブリングで除酸素したMVを含む各種緩衝液を電解質として行った。H₂SeO₃とNa₂SeO₃を電解質と同じpHになるように適当な比で混合して添加することで、亜セレン酸添加に伴う電解質のpH変化を防いだ。得られた知見を基に、セレンオキシアニオンの電極還元反応機構、

MVの役割を考察した。

(2) MV共存下の電極還元反応を用いるセレンオキシアニオン除去、元素態セレン回収の検討

未処理の工業排水にオキシアニオンが $10\sim 0.1\text{ mmol dm}^{-3}$ 含まれる(非公開データ)。MV共存下の電極還元反応によるセレンオキシアニオンの除去、元素態セレン回収の効率がオキシアニオンの初濃度によってどのように変化するかを検討した。 1 mmol dm^{-3} MVを含む 1 mol dm^{-3} リン酸緩衝液(PBS, pH 6)に適量の亜セレン酸またはセレン酸を加えた電解質(77 mL)中、カーボンフェルト(厚さ3 mm, 直径 23 mm)を作用極、Ag|AgCl(飽和KCl)を参照極、白金黒線を対極として電解還元を行った。電極で生成したカチオンラジカル(MV \bullet^+)がオキシアニオンの還元で使用されず、電解質が青色に着色し始めた時点で電解を終了し、電解質中のセレン残量(原子吸光あるいはICP測定)からセレン除去率を、析出したセレン量(重量あるいはICP測定)からセレン回収率を、電解電気量と除去率から電流効率をそれぞれ計算した。

また、電解質濃度の低減化、イオン交換樹脂など電解質の代替物質の利用を検討した。さらに、排水中に含まれる物質によるセレンオキシアニオンの電極還元反応妨害の可能性を検討した。

(3) 生物学的セレン回収に資する電極反応系の構築

セレン酸還元菌*Pseudomonas stutzeri* NT-Iによってセレンオキシアニオンは気体のセレン化合物まで還元され、硝酸中にトラップされることがわかっている。気体のセレン化合物がトラップされた硝酸溶液に対して電気化学測定や質量分析を行い、トラップされている化合物について考察した。次いで、その化合物を電気化学的に元素態セレンへ変換できるかについて検討した。

4. 研究成果

(1) MV 共存下のセレンオキシアニオンの電解還元反応機構の解明

pH 7において、 1 mmol dm^{-3} MVの添加により亜セレン酸の還元が促進され、電流値が無添加時の400倍以上に増加した(図2)。還元電流は 5 mmol dm^{-3} まではMV濃度とともに増えるが、それ以上では飽和するミカエリス-メンテン的な挙動を示した。還元中、電極表面近傍に水に不溶の赤色の元素態セレン微粒子が生成した。また、これまで電気化学的に還元不可と報告されてきたセレン酸の還元がMV添加により可能になることが分かった。この場合も元素態セレンまで還元されるが、MVによる電流増幅の程度は亜セレン酸還元よりも小さかった。

図3はリング電極を0.3 Vに固定し、ディスク電極の電位を掃引したときのディスク電極の限

界電流 i_L とリング電極の捕捉率(N)の回転数依存性を示す。 Na_2SeO_3 無添加(Δ , \blacktriangle)では回転数に依らず、 N は一定であり、 i_L はLevich式に従う。しかし、 4 mmol dm^{-3} $[\text{Na}_2\text{SeO}_3]$ では(\circ , \bullet)無添加時よりも大きな i_L が得られ、 N が減少した。 i_L の増加は電極近傍でMVが還元されて生成したMV \bullet^+ が亜セレン酸を還元してMV $^{2+}$ が再生することを、 N の減少はリング電極に到達する前にMV \bullet^+ が亜セレン酸と反応したことを示す。回転速度が大きいほどMV \bullet^+ と亜セレン酸の反応時間が短くなり、メディエーション反応が起こり難くなる。

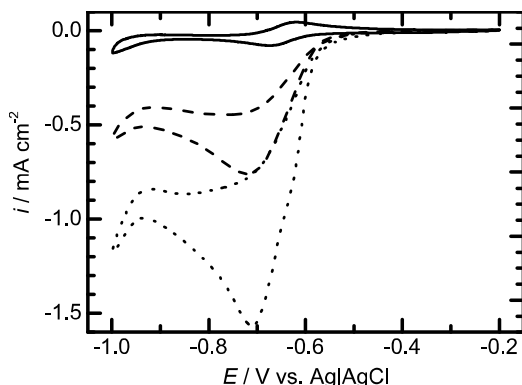


図2 1.00 mmol dm^{-3} MVを含む 0.10 mol dm^{-3} PBS中で測定したCV。 $[\text{Na}_2\text{SeO}_3] = 0$ (実線), 4 (破線), 30.1 (点線) mmol dm^{-3} 。

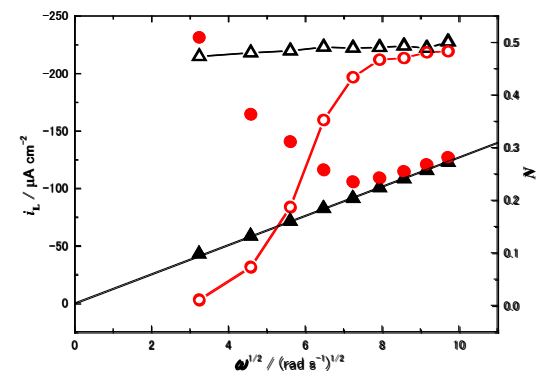


図3 1.00 mmol dm^{-3} MVを含む 0.10 mol dm^{-3} PBS中で測定した Levichプロット(\blacktriangle , \bullet)とMV \bullet^+ の捕捉率(Δ , \circ)。 $[\text{Na}_2\text{SeO}_3] = 0$ (Δ , \blacktriangle), 4 (\circ , \bullet) mmol dm^{-3} 。

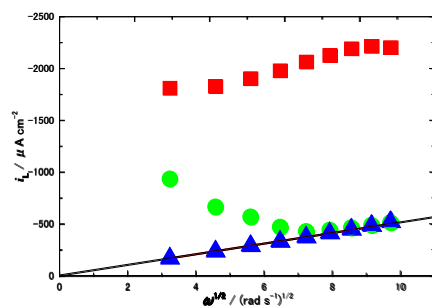


図4 1.00 mmol dm^{-3} MVと 4.0 mmol dm^{-3} Na_2SeO_3 を含むPBS中で測定した Levichプロット。PBS濃度: 0.01 (\blacktriangle), 0.1 (\bullet), 1 (\blacksquare) mol dm^{-3} 。

次いで、 $1 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ MV}$ 、 $4.0 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ Na}_2\text{SeO}_3$ において、PBS 濃度を変えたときの i_L の回転数依存性を図 4 示す。PBS 0.01 mol dm^{-3} では限界電流 i_L と $\omega^{1/2}$ が比例する通常の Levich プロット (実線) が得られ、亜セレン酸の還元が起きていないことを意味する。これに対して、PBS 濃度を $0.1, 1 \text{ mol dm}^{-3}$ に増やすとより大きな i_L が得られ、MV のメディエーション反応による亜セレン酸還元を反映している。PBS 濃度が高いほどプロトン供給能が高いためにメディエーション反応が促進されたと考えられる。しかし、PBS 0.1 mol dm^{-3} ではプロトン供給能が十分大きくないため、電極回転速度が大きくなって MV⁺ の電極表面滞留時間が短くなると、メディエーション反応が起りにくくなり、触媒電流が観られなくなったと考えられる。

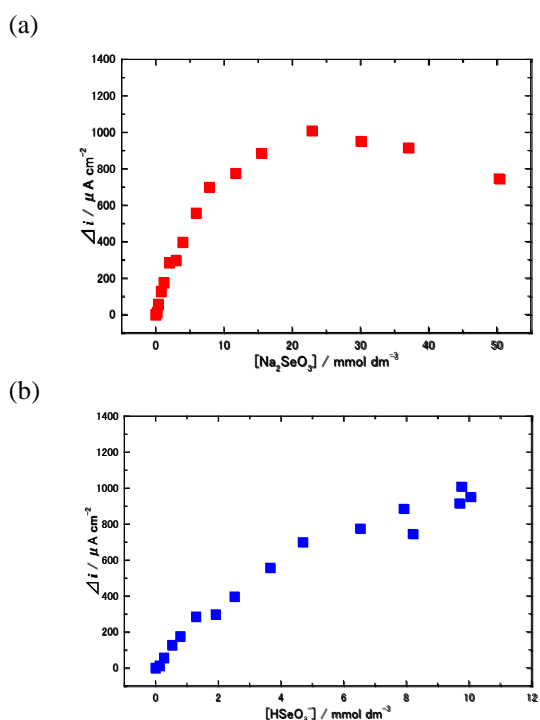


図 5 $1.00 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ MV}$ を含む $0.10 \text{ mol dm}^{-3} \text{ PBS}$ 中で測定した触媒電流 Δi と (a) Na_2SeO_3 濃度、(b) HSeO_3^- 濃度の関係。

図 5a に電流増加量 Δi と $[\text{Na}_2\text{SeO}_3]$ の関係を示す。 $1 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ MV}$ を含む $0.1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ PBS}$ (pH 7) に Na_2SeO_3 を添加すると、添加量と共に亜セレン酸還元電流が増加するが、 $[\text{Na}_2\text{SeO}_3] > 20 \text{ mmol dm}^{-3}$ で減少に転じた。酸塩基平衡 ($\text{HSeO}_3^- \rightleftharpoons \text{SeO}_3^{2-} + \text{H}^+$ $\text{pKa} = 7.31$) により、pH 7 では添加した SeO_3^{2-} の一部はプロトンを奪って HSeO_3^- になるために、溶液の pH を上昇させる。電解質の pH 変化から、 SeO_3^{2-} と HSeO_3^- の存在比を算出し、 Δi を $[\text{HSeO}_3^-]$ に対してプロットし直すと、図 5b のように高濃度域の Δi 減少が無くなった。これは、 HSeO_3^- が反応種であること ($\text{HSeO}_3^- + 5\text{H}^+ + 4\text{MV}^{*+} \rightarrow \text{Se} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{MV}^{2+}$)、 $[\text{Na}_2\text{SeO}_3] > 20 \text{ mmol dm}^{-3}$ で観られた電流減少が pH 上昇によって電気化学不活性な

SeO_3^{2-} のが増えるためであることを示している。したがって、活性種 HSeO_3^- と、緩衝液の共役酸が共存するために「緩衝液の $\text{pKa} > \text{亜セレン酸の pKa}$ 」であり、緩衝液の pKa より酸性域において電解することが必要である。

上記緩衝液の pKa を基に、PBS 以外にも、クエン酸緩衝液、イミダゾール/HCl 緩衝液、Tris/HCl 緩衝液、MES 緩衝液、PIPES 緩衝液が使用できることを確認した。 H^+ 供給源である緩衝液の共役酸濃度が高い方が亜セレン酸の還元電流は大きい。また、還元電流は電解質の粘性率やイオン強度にも依存することがわかった。

以上より、図 6 に亜セレン酸について示すように、MV が電極から電解質中に溶解している亜セレン酸への電子移動を仲介し、緩衝液中の共役酸濃度が還元に必要な H^+ を供給していることがわかった。

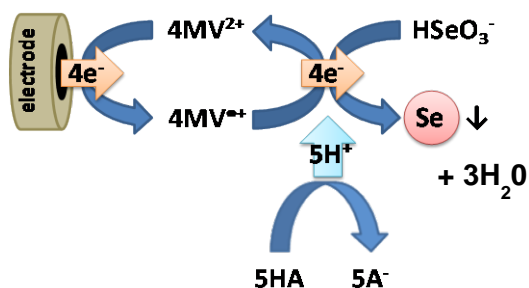


図 6 MV をメディエーターとする亜セレン酸の還元反応機構

MV 以外にも、ビオロゲン化合物 (ベンジルビオロゲン、ヘプチルビオロゲン)、キノン化合物 (アリザリンレッド S、アントラキノンスルホン酸)、フェナジン化合物 (ニュートラルレッド、サフラン O) がメディエーターとして機能し、CV 測定から得られた中点電位が負であるメディエーターほど還元電流が大きい傾向があった。しかし、MV の亜セレン酸還元促進効果が突出して大きい理由は今後の検討課題である。

MV を緩衝液中に溶解させずに、4, 4'-ビピリジニウム基を Au-S 結合を介して金電極表面へ固定化しても、亜セレン酸の触媒的還元が起ることを確認した。固定化すると排液ごとに MV を添加する必要がなくなるため、実用的である。ただし、単分子層吸着による固定化ではメディエーター量が限られるため、溶解系よりも電流が小さかった。現在、カーボンフェルト電極表面への固定化を検討している。

(2) メディエーター型電極還元反応によるセレンオキシアニオン除去、元素態セレン回収の可能性

未処理のセレンを含む工場排液にはオキシアニオンが $10 \sim 0.1 \text{ mmol dm}^{-3}$ 含まれる。電解質中の亜セレン酸初濃度が $10, 1.0 \text{ mmol dm}^{-3}$ の場合、メディエーター型電極還元反応を利用した電解によって電流効率 95% 以上で 99% 以上の亜セレン酸が除去でき、その大半が元素態セ

レンとして回収できた。しかし、亜セレン酸が 0.1 mmol dm^{-3} の場合、除去率は 94% に、回収率は 87% に減少し、電流効率も 70% 程度であった。これは、電解質着色までの電解では $6 \text{ } \mu\text{mol dm}^{-3}$ 程度の亜セレン酸が残ることを反映している。電流効率は低下するが、電解質着色後も電解を続ければ排出規制値 ($1 \text{ } \mu\text{mol dm}^{-3}$) 以下に低減できる (図 7)。本方法において $\text{MV}^{\bullet+}$ による亜セレン酸の還元は電極近傍の電解質中で起こるため、元素態セレンは電極表面に析出せず、電解質に懸濁した状態で得られ、ろ別による回収が容易である。これに対して、 MV を添加しない場合は亜セレン酸の電解は可能であったが、2 倍以上の電解時間を要し、かつ生成した元素態セレンの大半が回収に適さない電極上に析出した状態で得られた。

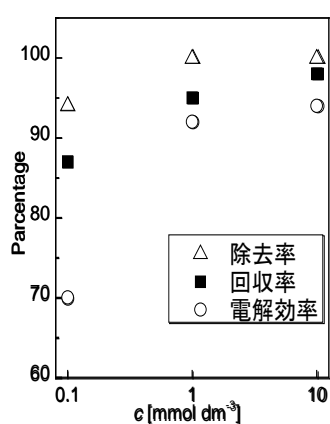


図 7 各亜セレン酸濃度における除去率、回収率、電解効率。

電解質体積を 13 倍に増やした場合、回収率は 93% に、電流効率は 72% に低下したが、除去率は 99% 以上で変わらなかった。また、電解質を除酸素しない場合、電流効率が 5~10% 低下するものの、除去、回収率の大きな変化は認められなかった。以上のように、メディエーター型電解還元反応によって亜セレン酸から元素態セレンの回収が十分可能であると結論される。

一方、セレン酸は 10 mmol dm^{-3} における除去率および回収率がそれぞれ 13%、10% であり、亜セレン酸と比べて除去、回収されにくい。しかし、電流効率は 84% とそれほど低くない。このことは $\text{MV}^{\bullet+}$ によるセレン酸の還元効率が低いために電流が流れにくいことを示唆しており、今後は電流効率の向上を図る。 MV を添加しない場合はセレン酸の還元は検知されず、電気化学的なセレン酸還元もほとんど報告がない。

工業排水中にはセレンオキシアニオン以外に多くの物質が含まれている。その中には、 MV によるセレンオキシアニオンの電極還元を妨害する物質が含まれている可能性がある。そこで、セレンを含む排水に対して実施した元素分析結果 (非公開データ) を基に、妨害する可能性がある物質を抽出し、電気化学測定によって妨害の可

能性を評価した。広義には標準電極電位が MV の還元開始電位 ($-0.5 \text{ V vs. Ag|AgCl}$) よりもポジティブかつ酸化体である物質が妨害物質になり得る。排液に 10 ppm 以上含まれる元素を抽出し、金属製造業や石炭火力発電所などの排水中に含まれる物質と比較することで、 SO_4^{2-} 、 Fe^{2+} 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 CO_3^{2-} を妨害の可能性がある物質と推定した。 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 CO_3^{2-} については、 10 mmol dm^{-3} までの濃度では亜セレン酸の有無によって MV のレドックスは変わらないため、妨害の可能性は低い。しかし、 NO_2^- については MV の還元で生成する $\text{MV}^{\bullet+}$ を亜セレン酸と取り合う妨害が、 Fe^{2+} については電極表面で起こる MV の還元反応と競合する妨害が起こることが予想された。

そこで、 NO_2^- あるいは Fe^{2+} を 10 mmol dm^{-3} 、 1 mmol dm^{-3} MV を含む 1 mol dm^{-3} PBS ($\text{pH } 6$) に加えて、亜セレン酸の電解還元を行い、亜セレン酸の除去率、元素態セレンの回収率、電解の電流効率を測定した。 NO_2^- を加えた場合、亜セレン酸電解還元の電解効率は 93% から 90% に減少したが、除去率、回収率とも大きく変化しなかった。 Fe^{2+} の場合、電流効率は変化しなかったが、除去率は 5% 低下した。さらに、回収率が 130% と、 Fe 化合物が混入していることがわかった。ICP 分析から、電極還元反応ではなく、 Fe^{2+} が溶存酸素によって $\text{Fe}(\text{OH})_3$ に化学的に酸化されて沈殿していることが疑われた。以上のように、メディエーター型電極還元反応を妨害する物質は現時点で確認できていない。

図 4 に示したように、 PBS の場合、 0.01 mol dm^{-3} まで濃度を下げると、十分な速度で電極還元が起こらないことがわかった。 PBS を電解毎に添加するのは、経済的にも操作的にも好ましくない。そこで、他の物質、可能ならば繰り返し利用できる代替物を検討した。その結果、 COOH 基を表面に修飾したイオン交換ビーズが弱酸~中性域 ($\text{pH } 5\sim 8$) で緩衝能を有し、セレンオキシアニオンの還元に必要なプロトンも供給できることがわかった。 H^+ 供給により COOH 基は脱プロトンして COO^- に変化するが、イオンビーズをろ別して酸で処理することによって COOH 基を再生、再利用可能である。しかし、イオン交換ビーズのみでは電解質の導電率が不足するため、塩 (NaCl 、 KCl 、 LiCl など) を添加する必要がある。このとき、カチオンによる差はあるが、塩添加によって表面 COOH 基の解離が進み、そこに静電的に捕捉されることで MV の実効濃度が減少する問題が観られた。今後、メディエーターの電極表面への固定化や廃液に含まれるイオン成分の利用などと併用することで、イオンビーズの利用が可能になるかを検討する予定である。

(3) セレン酸還元菌による生物学的回収に資する電極反応系を構築

セレン酸還元菌を用いた生物学的回収方法で生成する気体のセレン化合物は、ICP-MS 分析から主としてジメチルジセレニド (DMDS₂) であることがわかった。また、硝酸にトラップされた物質はセレン化合物以外に、培地由来の硫黄化合物を多く含むこともわかった。

トラップ溶液のモデルとして DMDS₂ を加えた硝酸の電気化学応答の経時変化を追跡した結果、硝酸と反応してボルタモグラムの形が変化し、5 日後にはほぼ変化が観られなくなった。このボルタモグラム形状はメチルセレニン酸 (MSA) のものと似ているが、完全に一致せず、MSA 以外の物質も生成している可能性を示した。

次いで、MSA が電気化学的に元素態セレンに変換できるかを検討したが、還元的にメチルセレンオールが生成することがわかったが、元素態セレンの生成は確認できなかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

Fumiya Koshikumo, Wakana Murata, Akiyuki Ooya, and Shin-ichiro Imabayashi, "Acceleration of Electroreduction Reaction of Water-Soluble Selenium Compounds in the Presence of Methyl Viologen", *Electrochemistry*, 81(5), 350-52 (2013).
<http://dx.doi.org/10.5796/electrochemistry.81.350>

[学会発表] (計 8 件)

- (1) 赤塚秀太、越雲文也、今林慎一郎、「メデイエータ型水溶性セレン還元反応に基づくセレン回収法の可能性」、電気化学会第 82 回大会、2015/3/17、横浜国立大学
- (2) 赤塚秀太、今林慎一郎、「メデイエータ型亜セレン酸還元反応はセレン回収方法として有用か？—反応機構解析結果に基づく電解還元条件の検討—」、第 60 回ポーラログラフおよび電気分析化学討論会、2014/11/16、京都工繊大
- (3) 越雲文也、今林慎一郎、「電子メデイエーターを介する亜セレン酸の電極還元反応機構の解析」、電気化学会第 81 回大会、2014/3/29、関西大学千里山キャンパス
- (4) 越雲文也、今林慎一郎、「メチルビオロゲン を介した亜セレン酸の電極還元反応に対する緩衝液の影響」、電気化学会第 80 回大会 (東北大学)、2013/3/29、東北大学川内キャンパス
- (5) 越雲文也、今林慎一郎、「回転電極測定法を用いた水溶性セレン化合物の電極還元反応の解析」、第 58 回ポーラログラフおよび電気分析化学討論会 (高尾)、2012/11/27、八王子市高尾の森わくわくビレッジ

(6) F. Koshikumo; W. Murata; A. Ooya; S. Imabayashi, "Electrochemical reduction of selenite and selenate accelerated by methyl viologen", PRiME2012, 2012/10/9, Honolulu, Hawaii.

(7) 越雲文也、今林慎一郎、「メチルビオロゲン共存下における水溶性セレン化合物の電極還元反応の解析」、電気化学会第 79 回大会、2012/3/30、アクシティ(浜松)

(8) 越雲文也、今林慎一郎、「水溶性セレン化合物の電極還元反応におけるメチルビオロゲンの役割」、第 57 回ポーラログラフおよび電気分析化学討論会、2011/12/1、沖縄県男女共同参画センター(那覇)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今林 慎一郎 (IMABAYASHI, Shin-ichiro)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号: 50251757