

令和 4 年 6 月 19 日現在

機関番号：11401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22321

研究課題名(和文)超音波を用いて合成した紡錘形スコロダイト粒子の生成機構の解明と砒素貯蔵特性評価

研究課題名(英文) Investigation of formation mechanism of spindle-shaped scorodite particle synthesized using ultrasound irradiation and evaluation of its arsenic storage property

研究代表者

北村 優弥 (Kitamura, Yuya)

秋田大学・理工学研究科・博士研究員

研究者番号：70885243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：通常多面形とは異なる紡錘形スコロダイト粒子の生成機構を明らかにすることを目的とした。二価の鉄イオンと五価の砒酸イオンを含むpH1.0の酸性溶液(70%)に対して酸素流入と200kHzの超音波を3時間照射することで、高結晶化度(>99%)の紡錘形スコロダイトを合成した。酸素流入のみでは低結晶化度(81%)の紡錘形粒子であった。合成初期の前駆体は繊維状であり、その前駆体中のFe(II)の酸化によって結晶核が形成し、それを起点にした結晶成長により紡錘形粒子が生成することがわかった。砒素溶出試験では、超音波照射により合成した紡錘形スコロダイトは、照射しない場合よりも溶出量が少ない結果となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

銅製錬過程において副産物として高濃度で排出される砒素を、スコロダイトを合成することで結晶構造中に安定に固定する方法が研究されている。通常、スコロダイト粒子の形状は多面形であるが、強酸性溶液下では、紡錘形となる。粒子形状は、比表面積に影響する因子であるため、砒素を安定に貯蔵する上で重要となる。紡錘形粒子の合成に高温長時間の酸化反応が必要であるため、本研究では、低温短時間で結晶性が高い紡錘形粒子を得るために超音波を使用し、反応初期に生成する前駆体の形状を調べることで紡錘形スコロダイトの生成機構を明らかにした。また、その紡錘形のスコロダイト粒子の砒素貯蔵特性も評価した。

研究成果の概要(英文)：The formation mechanism of spindle-shaped scorodite particles which are different from the usual polyhedral shape was investigated. Spindle-shaped scorodite with high crystallinity (>99%) was synthesized by irradiating 200 kHz ultrasound for 3 hours with an inflow of oxygen gas into an acidic solution (70%) with pH 1.0 containing divalent iron ions and pentavalent arsenate ions. In the case of oxygen gas inflow only, spindle-shaped particles with low crystallinity (81%) were obtained. The precursor in the initial stage of synthesis was fibrous, and it was found that the crystal nucleus of scorodite was formed by oxidation of Fe(II) in the precursor, and then the spindle-shaped particles were formed by crystal growth starting from the nucleus. In the arsenic elution test, the amount of arsenic eluted from the highly crystallized spindle-shaped scorodite synthesized by ultrasonic irradiation was lower than that from sample synthesized without irradiation.

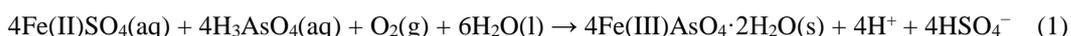
研究分野：資源生産環境工学

キーワード：スコロダイト 砒素貯蔵材料 非鉄製錬 超音波 結晶成長促進

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

銅製錬をはじめとする非鉄製錬業界では、鉱石中の不純物の砒素の含有量の増加に伴い、製錬過程において高濃度の砒素が副産物として排出される。人体に対して有害元素である砒素は、銅製錬過程から回収し、安定に固定することが望まれる。現在、スコロダイト($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)を合成して砒素を結晶構造中に安定に固定化する方法が研究されている¹⁾。スコロダイトは酸性から中性溶液にかけて難溶解特性を有し、高結晶性で、かつ粒子サイズが大きく比表面積が小さい粒子ほどその特性が向上する。非鉄製錬業界で有力とされるスコロダイトの合成法は、 Fe(II) と As(V) を含んだ高温(95°C)の酸性溶液($\text{pH } 1.0$)に、酸素を流入しながら攪拌し、長時間(7時間)をかけ Fe(II) を Fe(III) に酸化する方法である¹⁾。



スコロダイトの生成過程において、 Fe(II) を含む非晶質体(前駆体)が反応初期に生成し、それを酸化することでスコロダイトが生成することが報告されている²⁾。これまで、我々は粗大なスコロダイト粒子の合成において前駆体の酸化が必要なこと、および粗大化させるには前駆体の数を減少させる必要があることに着目し、超音波の利用を検討してきた³⁾。超音波照射によって生成する酸化ラジカルによる前駆体の酸化、また超音波の振動を利用して前駆体の凝集を促すことで、 $\text{pH } 2.0$ の酸性溶液中で従来より低温(70°C)、短時間(3h)にて、結晶性が高く、 $10\ \mu\text{m}$ 以上の粒子サイズを有する粗大で比表面積が小さなスコロダイト粒子の合成を報告した(攪拌の場合 $5\ \mu\text{m}$ 以下)。スコロダイト粒子の形状は一般的に多面形であるが、近年では、合成時の pH が低い -0.3 のときに紡錘形の粒子が得られることが報告されている⁴⁾。粒子の形状は、比表面積に影響する因子であり、スコロダイトとして安定に砒素を固定化する上で重要となる。しかしながら、生成機構は報告されておらず、紡錘形のスコロダイト粒子の砒素貯蔵特性も明らかになっていない。また紡錘形のスコロダイト粒子を合成するには、 Fe(II) と As(V) を含んだ高温(95°C)の強酸性溶液($\text{pH } -0.3$)中で酸化反応を長時間(10h)行う必要がある。これまでの我々の研究から、スコロダイト粒子のサイズは前駆体のサイズに関係することから、形状についても前駆体の形状に関係していると推測される。しかしながら、反応初期の前駆体の形状を調べた報告例はないため、反応溶液の pH が前駆体の形状に与える影響を検討する必要がある。

本研究は、低温短時間にて結晶性が高い紡錘形粒子を得るために超音波を使用し、前駆体からスコロダイトへの結晶成長過程を詳細に観察する。超音波の周波数が粒子の形状にどの程度の影響を及ぼすかを把握する。最終的に砒素の安定貯蔵に適するスコロダイト粒子の形状を明らかにする。

2. 研究の目的

本研究課題は、反応溶液の pH や超音波照射がスコロダイト粒子の形状に与える影響を検討することで、通常の多面形とは異なる紡錘形スコロダイト粒子の生成機構を明らかにするとともに、紡錘形スコロダイト粒子の砒素貯蔵特性を調査することを目的とした。

3. 研究の方法

(1)異なる pH の硫酸酸性溶液中における超音波を用いたスコロダイトの合成

As(V) 源として $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Wako, $\geq 99\%$)、 Fe(II) 源として $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (関東化学、 $\geq 99\%$)を用いた。 As(V)-Fe(II) 酸性溶液(50 mL)の As(V) 濃度は $20\ \text{g/L}$ で、 Fe/As モル比は 1.5 になるようにした。溶液の pH は希硫酸を用いて $0.0, 1.0, 1.5, 2.0$ になるようにそれぞれ調整し、イオン交換水を用いて50 mLの溶液とした。実験装置の概略図を図1に示す。超音波照射は超音波発生装置(Kaijo TA-4021)および周波数 $200\ \text{kHz}$ の投込型振動子(Kaijo)を用いて行った。水の入った水槽内に投込型振動子を入れ、その直上に試料溶液を入れた平底ビーカーをスタンドにて固定した。平底ビーカーは、ビーカー内の温度が設定できるようジャケット付きのものを使用した。超音波は、水槽内の水を介してビーカー内の反応溶液へ間接照射した。ビーカー内の溶液に伝わる超音波強度を調べるため、カロリメトリ法によって測定したところ、 $11.2\ \text{W}$ ($200\ \text{kHz}$)であった。反応を開始する前に、 As(V)-Fe(II) 溶液を酸素ガス($100\ \text{mL/min}$)で20分間置換した。照射時の溶液温度は温水循環装置を利用して約 70°C に維持した。酸素ガス($100\ \text{mL/min}$)を流入しながら超音波照射($200\ \text{kHz}$)を3時間行った。比較のため、超音波を用いずに酸素ガス流入のみ用いた場合も同様に実験を行った。実験後、孔径 $0.45\ \mu\text{m}$ のメンブレンフィルター(Polytetrafluoroethylene, PTFE)を用いてろ過し、沈殿物を回収後、得られた生成物は真空乾燥した。その後、粉末XRD測定装置(Rigaku, RINT-2200V)にて測定し、生成物の同定と結晶化度の算出を行った。結晶化度は、解析ソフト(JADE)を用いてXRD測定によって得られた回折パターンから結晶質と非晶質の回折ピークを分離し、試料全体の積分強度面積中の結晶質の積分強度面積の割合から算出した。以下に結晶化度の算出式を示す。

$$\text{結晶化度 } X_c = \frac{I_c}{I_c + I_a} \times 100 \quad (2)$$

I_c : 結晶性散乱強度

I_a : 非晶性散乱強度

生成物の粒子サイズや形状は走査型電子顕微鏡(SEM; Hitachi TM-1000)観察にて比較を行った。粒子の比表面積は、比表面積・細孔分布測定装置(MicrotracBEL BELSORP MINI II)を用いて測定した。

(2) 紡錘形スコロダイトの砒素溶出試験

溶出試験は日本の環境省が定めた方法に基づいた。まず試料と溶媒の重量体積比が1:10になるように、HClを用いてpH 5.1に調整したイオン交換水20 gに対して試料2 gを投入して、ポリプロピレン容器で6時間振とうする。試験後 ICP 発光分光分析装置(Seiko Instruments, SPS5510)を用いて砒素の溶出量の測定をした。

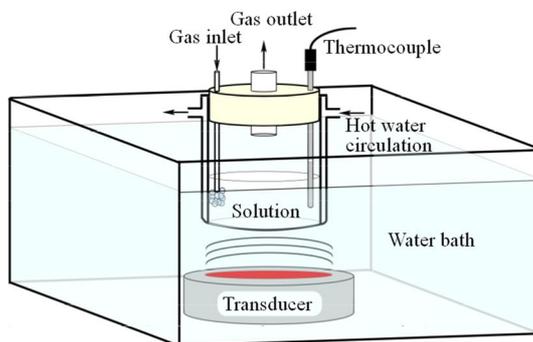


図1 実験装置の概略図

4. 研究成果

(1) 異なる pH の硫酸酸性溶液中における超音波を用いたスコロダイトの合成

図2に各pHにて酸素ガス流入をしながら200 kHzの超音波照射または照射せずに3時間の合成によって得られた生成物の収量を示す。超音波の使用は、使用しない場合と比べて全てpH条件にて、生成物の収量の増加を確認した。また、超音波を使用または使用しないどちらの場合も、合成開始のpHが2.0の条件で最も収量が多く、pH 2.0より低くなることで収量の減少を示した。pH 0.0の条件では超音波を使用せずに酸素ガス流入のみ行った場合、生成物は確認できなく、超音波を用いてもその収量は僅かであった。pH 2.0-1.0で得られた生成物のXRD測定結果を図3(a)および(b)に示す。また、スコロダイトのピーク位置を示すために、powder diffraction file(PDF) No.00-037-0468を図3(a), (b)にそれぞれ記した。pH 0.0の条件では、超音波を使用して得られた生成物は収量が僅かであったため、フィルター(Polytetrafluoroethylene)とともに生成物のXRD測定を行った(図4)。生成物が得られなかったpH 0.0にて超音波を使用しなかった場合を除き、すべてのpH条件にて、スコロダイトに起因するXRDピークを確認した。超音波を使用せずに酸素ガス流入のみ用いた場合、pH 2.0と1.5の条件でスコロダイトのXRDピーク強度は高く、99%以上の結晶化度のスコロダイトが得られた。したがって、これらpH条件では、酸素ガスによる前駆体の酸化反応で、十分に高い結晶性を有するスコロダイトが合成できることがわかった。しかしながら、pH 1.0ではピーク強度が低下し、結晶化度は81%であった。一方、超音波を用いた場合、pH 2.0-1.0の条件でスコロダイトのXRDピーク強度は高く、99%以上の高結晶化度のスコロダイトが得られた。また、超音波を使用することで、pH 0.0の強酸性溶液においても、スコロダイトの生成を確認することができた。合成開始のpHが2.0よりも低下することで、超音波の使用の有無に関わらず収量が低下した要因として、pHの低下に伴う合成初期の前駆体の生成量の低下が起因していると考えられる。前駆体は、Fe(II)とAs(V)を含む酸性溶液に酸素ガスを吹き込みながら加熱することで生成する。そこで、pH 2.0, 1.0, 0.0にて反応温度70 °C

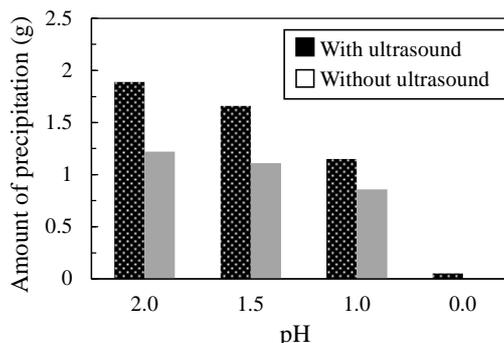


図2 異なる pH の酸性溶液中にて酸素ガスを流入しながら超音波を使用または使用せずに70 °Cで3時間の合成条件で得られた沈殿物量

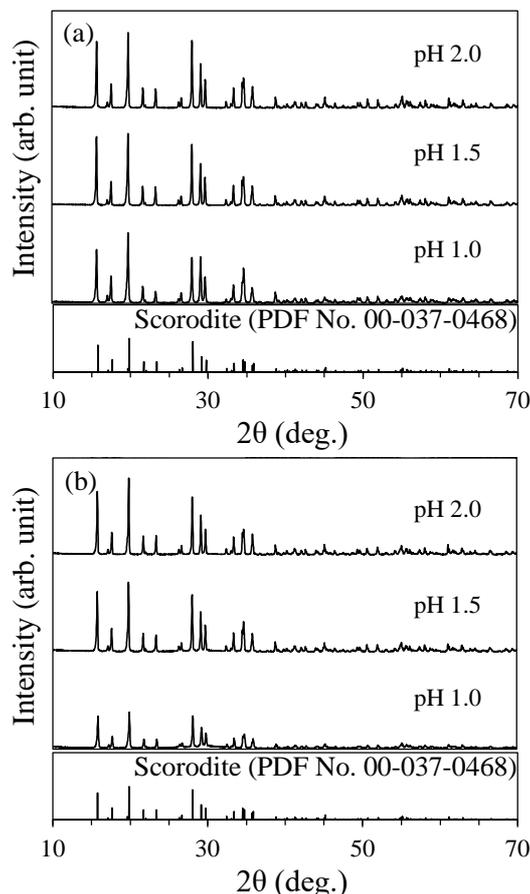


図3 異なる pH の酸性溶液中にて酸素ガスを流入しながら超音波を使用(a)または使用せず(b)に70 °Cで3時間の合成条件で得られた生成物のXRDパターン

に達した時点における反応開始直後(0分)の前駆体の収量を調べたところ、それぞれ 0.30 g(pH 2.0), 0.02 g(pH 1.0)であり、pH 0.0 では生成物は確認できなかった。したがって、70 °C・3時間の合成条件において、pH 1.0 以下の強酸性溶液では、前駆体の生成が困難であり、スコロダイトの結晶核の形成と結晶成長が遅く、酸素ガスのみを用いた場合は低結晶化度のスコロダイトが生成したと考えられる(結晶化度 81%)。高温(95 °C)、長時間(7 h)の反応条件では、酸素ガスを流入しながら攪拌(1000 rpm)を用いることで、pH 1.0 の強酸性溶液にて高結晶化度(>99%)のスコロダイトが得られることが報告されている¹⁾。しかしながら、70 °C・3時間の合成条件において、酸素ガスを流入しながら攪拌(1000 rpm)による合成を行ったところ、pH 2.0 と 1.5 においては高結晶化度(>99%)のスコロダイトが得られたが、pH 1.0 では低結晶化度(83%)のスコロダイトが得られ、酸素ガス流入のみの場合と同様の結果であった。超音波を用いた場合、全ての pH 条件にて超音波を使用しない場合よりも反応後の pH が低下していた。これは、スコロダイトの生成反応に伴い H⁺濃度が増加したことに起因する(式 1)。そこで各 pH におけるスコロダイトの生成に及ぼす超音波の酸化作用を調べるために、反応前後の溶液の酸化還元電位(ORP)を測定した(図 5)。反応前後の ORP 値は、スコロダイト合成における溶液中の Fe(II)の酸化反応を確認するために測定される¹⁾。超音波を用いた場合、すべての pH 条件にて反応後の溶液の ORP 値が高く、溶液中の二価鉄イオンの酸化反応が超音波を使用した場合の方が、使用しない場合よりも進行していることがわかる。pH 1.0 の強酸性溶液にて、反応 10 分時点で生成した生成物の収量およびスコロダイトの結晶化度を調べたところ、収量がそれぞれ 0.14 g(超音波有)、0.12 g(超音波無)であり、結晶化度はそれぞれ 34.7%(超音波有)、3.4%(超音波無)であった。したがって、超音波を使用することによって pH 1.0 の強酸性溶液においても高結晶化度のスコロダイトが得られたのは、超音波照射によって生成する酸化ラジカル(i.e. OH ラジカル, HO₂ ラジカル)[式 3 and 4]が、酸素ガスによる酸化に加えて、二価鉄イオンに対して酸化剤として寄与し、さらに生成した合成初期の前駆体中の二価鉄の酸化を促すことで、スコロダイトへの迅速な結晶化につながったと考えられる。



図 6 に各 pH にて得られたスコロダイトの SEM 写真を示す。合成開始時の pH が 2.0–1.5 の範囲では、超音波を使用または使用しないどちらの場合も多面形のスコロダイト粒子が得られた。pH が 2.0–1.5 の範囲にて得られた多面形粒子のサイズは、超音波を使用することで、使用しない場合と比べて明らかに粗大な 10 μm 以上の一次粒子が観察された。これは、以前報告した超音波の凝集作用が、粒子の粗大化に起因している³⁾。この結果は、

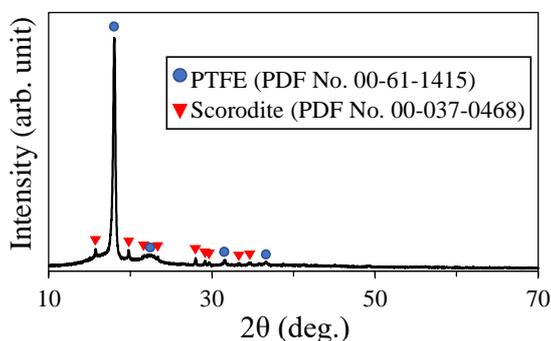


図 4 pH 0.0 の強酸性溶液にて酸素ガスを流入しながら 200 kHz の超音波照射を用いて 70 °C で 3 時間の合成条件で得られた試料の XRD パターン

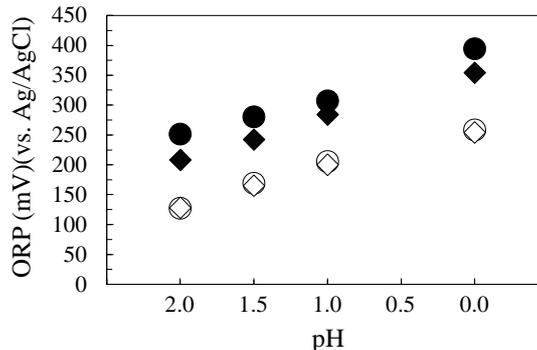


図 5 各 pH にて酸素ガスを流入しながら超音波を使用(丸印)または使用しなかった(ダイヤモンド印)場合の溶液の酸化還元電位(反応前：白色，反応後：黒色)

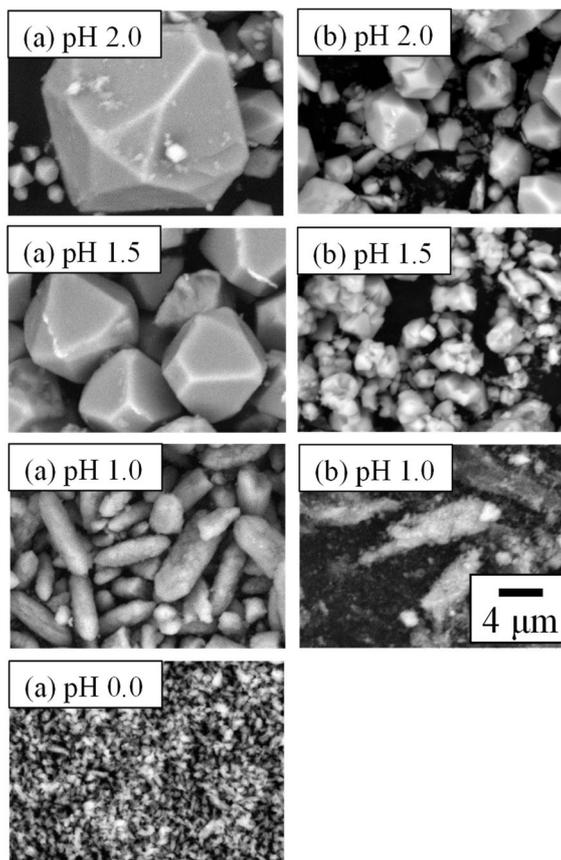


図 6 異なる pH の酸性溶液中にて酸素ガスを流入しながら超音波を使用(a)または使用せず(b)に 70 °C で 3 時間にて合成したスコロダイトの SEM 写真

スコロダイトの合成初期に前駆体が生成する pH 条件であれば、超音波を用いることで粒子成長の促進が期待でき、短時間で粗大なスコロダイト粒子が得られることを示している。一方で、pH 1.0 の強酸性溶液では、超音波の使用の有無に関わらず、通常報告されている多面形ではなく、紡錘形のスコロダイト粒子が観察された。

紡錘形スコロダイト粒子の合成の報告例によると強酸性溶液では、 H^+ 濃度が高いため、 H^+ が特定の結晶面の成長を阻害したことによって紡錘形の粒子が形成したと考察している⁴⁾。しかしながら、報告例自体が少なく生成機構の解明には至っていない。そこで、pH 1.0 の強酸性溶液において、200 kHz の超音波を用いるとスコロダイトの結晶成長が促進されることを利用して紡錘形スコロダイト粒子の成長過程を SEM にて詳細に観察した。反応 10 分においてスコロダイトの結晶化度が 34.7% を示し、既に紡錘形のスコロダイト粒子が形成していることがわかった。このことから、紡錘形スコロダイト粒子は、粒子成長過程において紡錘形に粒子が徐々に成長するのではなく、反応初期に生成する前駆体のサイズ、形状および凝集度合い等が、紡錘形のスコロダイト粒子の形成に起因していると推測した。そこで、pH 1.0 および 2.0 の条件にて 10 分間の 200 kHz の超音波照射後の溶液を採取し、反応初期の前駆体の TEM 観察をすることで前駆体の形状の比較を行った。その結果、論文投稿前で詳細を述べられないが、前駆体の形状は pH に関わらず繊維状であることが明らかになった。しかしながら、pH 2.0 の条件では、pH 1.0 と比べて反応初期の前駆体の生成量が多く、それにより前駆体同士が密に凝集し、網目状の構造になっていた。したがって、pH 1.0 の強酸性溶液では、合成初期の前駆体の生成量の低下により、網目状の構造をとらない前駆体が生成し、その前駆体中の Fe(II)の酸化によってスコロダイトの結晶核が形成するとともに溶解再析出によって繊維状の前駆体を起点に結晶成長することで紡錘形のスコロダイト粒子が形成したと考えられる。次に超音波の周波数が形状に与える影響を調べるため、200 kHz よりも物理作用(攪拌・分散)が強い 28 kHz の低周波数の超音波(11.2 W)を使用した。200 kHz の超音波を用いた場合と同様の反応条件(pH 1.0)にて、28 kHz の超音波を用いてスコロダイト合成を行ったところ、粒径が 3 μm 未満の微細な高結晶性の多面形スコロダイト粒子が得られ、超音波の周波数によって異なる形状のスコロダイト粒子が生成することがわかった。粒子の成長過程を調べたところ、反応 30 分において、200 kHz と同様に紡錘形の粒子(長径<3 μm , 短径<2 μm)の形成がみられ、反応 60 分以降では、紡錘形粒子のサイズの減少とともに多面形の粒子形状へ変化した。これは、溶解再析出による結晶成長過程において、超音波の物理作用が粒子表面の溶解を促し、結晶成長を促進させることでより安定な多面形の粒子に変化したと考えられる。したがって、適切な周波数の超音波を使用することで、安定貯蔵に向けた粒子の形状制御が可能であることが明らかになった。

(2) 紡錘形スコロダイトの砒素溶出試験

pH 1.0 の強酸性溶液にて得られたスコロダイトの砒素溶出試験を行った。スコロダイトの砒素溶出量は、それぞれ 8.7 ppm(200 kHz), 3094 ppm(酸素ガス流入のみ)を示した。200 kHz の超音波を用いて得られた紡錘形のスコロダイトの砒素溶出量は、超音波を使用しない場合と比べて 1/100 以下の低い溶出量を示した。この値は、スコロダイト中に含まれる砒素の濃度に対して、 $2.6 \times 10^{-4}\%$ の低い溶出率を示す。この結果は、200 kHz の超音波を用いて合成したスコロダイトの方が高い結晶化度を有していたことに起因すると考えられる。しかしながら、200 kHz を用いて得られた紡錘形のスコロダイト粒子(1.15 m^2/g)は、28 kHz を用いて合成した多面形のスコロダイト粒子(2.41 m^2/g)よりも比表面積が小さいのにもかかわらず、砒素溶出量は僅かに多い結果が得られた。粒子の比表面積のほかスコロダイトの結晶性も砒素の安定貯蔵に影響するため、砒素溶出試験については今後より詳細に検討を行っていく。

<引用文献>

- T. Fujita, R. Taguchi, M. Abumiya, M. Matsumoto, E. Shibata, and T. Nakamura, Novel atmospheric scorodite synthesis by oxidation of ferrous sulfate solution. Part I, Hydrometallurgy 90, (2008) 92–102
- K. Shinoda, T. Tanno, T. Fujita, and S. Suzuki, Coprecipitation of Large Scorodite Particles from Aqueous Fe(II) and As(V) Solution by Oxygen Injection, Material Transactions 50, (2009) 1196–1201
- Y. Kitamura, H. Okawa, T. Kato, and K. Sugawara, Size and morphology of scorodite particles synthesized using ultrasound irradiation, Japanese Journal of Applied Physics 53, (2014) 07KE05-1–5
- Y. Wang, Z. Rong, X. Tang, S. Cao, X. Chen, W. Dang, and L. Wu, Mechanism analysis of the synthesis and growth process of large spindle-shaped scorodite as arsenic immobilization materials, Materials Letters 254, (2019) 371–374

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5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 0件）

1. 著者名 Yuya Kitamura, Hirokazu Okawa, Kozo Shinoda, Takahiro Kato, and Katsuyasu Sugawara	4. 巻 61
2. 論文標題 Synthesis of porous γ -Fe ₂ O ₃ from scorodite synthesized using ultrasound irradiation and evaluation of its battery performance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SG1056-1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ac4ada	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 北村優弥, 大川浩一	4. 巻 52
2. 論文標題 ソノケミストリーを用いた粗大なスコロダイト粒子の合成	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本電子材料技術協会会報	6. 最初と最後の頁 32-38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 大川浩一, 藤原達央, 北村優弥, 加藤貴宏, 菅原勝康	4. 巻 33
2. 論文標題 超音波照射と塩化カルシウムを用いたモノエタノールアミン溶液からのCO ₂ ガスの低温脱離およびその脱離機構	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 超音波TECHNO	6. 最初と最後の頁 49-54
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 Yuya Kitamura, Hirokazu Okawa, Takahiro Kato, and Katsuyasu Sugawara	4. 巻 60
2. 論文標題 Desorption of carbon dioxide from monoethanolamine solution via calcium chloride addition under ultrasound irradiation and evaluation of the characteristics of generated calcium carbonate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDD12-1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/abec8c	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 Hirokazu Okawa, Hiroyasu Ito, Tatsuo Fujiwara, Yuya Kitamura, Takahiro Kato, and Katsuyasu Sugawara	4. 巻 60
2. 論文標題 Utilization of tertiary amine solutions and ultrasound irradiation for CO ₂ desorption at low temperature in a CCS process	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDD01-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe2e8	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 -

[学会発表] 計5件(うち招待講演 1件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Yuya Kitamura, Hirokazu Okawa, Kozo Shinoda, Takahiro Kato, and Katsuyasu Sugawara
2. 発表標題 Synthesis of porous α -Fe ₂ O ₃ from scorodite synthesized using ultrasound irradiation and evaluation of its battery performance
3. 学会等名 The 42nd Symposium on UltraSonic Electronics (USE2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北村優弥, 大川浩一, 加藤貴宏, 菅原勝康
2. 発表標題 スロロダイト合成過程における超音波照射が粒子のサイズや形状に与える影響
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuya Kitamura, Hirokazu Okawa, Takahiro Kato, and Katsuyasu Sugawara
2. 発表標題 Desorption of carbon dioxide from monoethanolamine solution via calcium chloride addition under ultrasound irradiation and evaluation of the characteristics of generated calcium carbonate
3. 学会等名 The 41st Symposium on UltraSonic Electronics (USE2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北村優弥, 大川浩一, 加藤貴宏, 菅原勝康
2. 発表標題 コロダイト合成過程における超音波照射が粒子形状およびサイズに与える影響～スコロダイト粒子を出発原料とした正極材料の電池特性評価～
3. 学会等名 第29回 ソノケミストリー討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大川浩一, 北村優弥, 加藤貴宏, 菅原勝康
2. 発表標題 スコロダイト合成過程における超音波照射の粒子サイズへの影響
3. 学会等名 令和2年度 日本セラミックス協会 第33回秋季シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2020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