

令和 3 年 4 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03434

研究課題名(和文) 難還元性酸化物の硫化と熔融塩電解還元を利用した金属粉末の製造技術開発

研究課題名(英文) Sulfurization of oxides and electrochemical reduction in molten salt

研究代表者

鈴木 亮輔 (SUZUKI, Ryosuke O.)

北海道大学・工学研究院・特任教授

研究者番号：80179275

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,710,000円

研究成果の概要(和文)：酸化物を硫化物へ高速に、かつ安価に硫化する方法を開発した。炭素と硫黄ガスの組み合わせ、もしくは二硫化炭素液体からの気化ガス、を高温の酸化物に作用させ、各種の酸化物をいずれも硫化物に転換出来た。実験条件をさだめ、品質を向上させる策を講じた。さらに申請者が開発した酸化物の直接還元(OS法)にヒントを得て、硫化物を金属に還元する熔融塩電解還元を行い、金属粉末を得た。Ti, Ta, V, Pb, Biの硫化物の金属Caによる還元成功した他、その還元反応を熔融塩中でも同様に生じさせることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

酸化物のみならず硫化物を熔融塩中で還元して金属粉末を得た。これはCaCl<sub>2</sub>もしくはLiClを主成分とする浴が強い還元性を持つことで統一的に説明できる。20年来の議論であったFFC法とOS法の二つの機構の論争に決着がつく結果である。

硫化物から還元することで不純物の少ない高純度金属が得られ、市販純度のTiが高効率で得られたほか、Ta, V, Pb, Biが製造できることが実証された。

研究成果の概要(英文)：Rapid and cheap sulfurization from oxide was developed by using a combination of carbon and sulfur, or by using CS<sub>2</sub> gas from its liquid. Optimum experimental conditions were examined to get high purity sulfides. In analogy of oxide reduction that the applicant has been studied as OS process, both the Ca reduction and the molten salt electrolysis were successfully conducted to form metallic powders of Ti, Ta, V, Pb and Bi sulfides. Experimental evidences of reaction mechanism and quality of products were discussed.

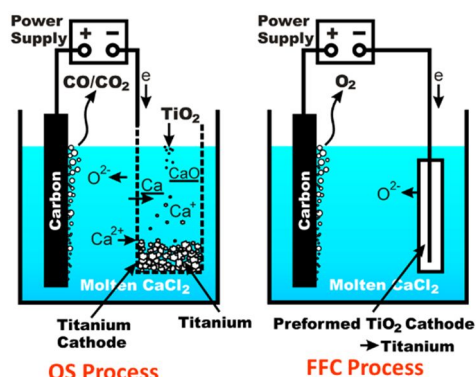
研究分野：材料熱化学

キーワード：硫化物 酸化物 塩化カルシウム 熔融塩電解 二硫化炭素 ガス硫化 熔融塩還元 チタン

## 1. 研究開始当初の背景

**[酸化物還元の変遷と利点]**世界中のチタン製錬のほとんどはバッチ式クロール法を採用している。この方法は加熱冷却および副生成物の除去などに長時間を費やし、鉄製容器から汚染を受けるなど抜本的な改革が必要である。その改善努力の中で、2000年に英国のFray教授らが「熔融CaCl<sub>2</sub>中にTiO<sub>2</sub>の酸素イオンを溶解させる」電解法(FFC法、右図)を発表して世界を驚かせた。

一方、独自に研究を進めていた申請者らは翌年に「熔融CaCl<sub>2</sub>中のCaO電解により生成するCaを用いてTiO<sub>2</sub>を還元し、良好な金属Tiを製造できる」と直接還元法(OS法、左図)に基づいた実験結果と新解釈を発表した。アメリカ金属学会TMSの年間最優秀論文賞を日本人が初受賞との名誉を得て、一連の研究成果は世界的に注目された。両者はともに、「熔融CaCl<sub>2</sub>に溶解するCaOを媒体として、金属酸化物を電気化学的に直接還元する」もので、チタン製錬を高速化できる可能性があり精力的に研究されてきた。特にCaCl<sub>2</sub>-CaOの持つ還元作用は難還元性酸化物の還元にも効果的で、希土類金属以外の酸化物還元=金属製造に適用



できることを申請者らは明示して、この分野をリードしてきた。現在までに約30種の元素の酸化物還元が報告され、熔融塩に関する国際会議では酸化物還元が毎回全発表件数の過半数に上った。また、我が国は熔融塩を用いた還元反応の分野でイギリス、中国と競って研究を牽引している。2015年の熔融塩国際会議MS10では申請者がプレナリー講演を行い、電気化学会熔融塩委員会では申請者が委員長として研究をリードする立場となった。また酸化物の熔融塩還元の特許会議である「第5回熔融塩中でのチタン製錬国際円卓会議(Ti-RT2016)」を2016年に申請者が日本で初開催し、9ヶ国60名の研究者を集めた。なお、イギリスではベンチャー企業がTaの還元を企業化しつつある。

**[酸化物還元の欠点]**酸化物の還元では酸化物から排出されるO<sup>2-</sup>、およびO<sup>2-</sup>と反応して生じるCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>とが熔融塩中に必ず存在するため、これらと生成金属がわずかであるが反応する。活性金属、とくにTiは14mass%という広い酸素溶解度を有するため、Ti中の残留酸素濃度を低減することは容易ではなかった。酸素の除去には強還元雰囲気と高速の固相内酸素拡散が必要であり、炭素汚染の低減には隔膜が必要、等と各種操業因子を最適化する必要がある、申請者らは系統的に高純度金属の生成条件を調査してきた。しかし依然、残留酸素低減は酸化物原料ならではの困難な技術課題であった。

**[硫化物還元の失敗例と成功試験例]**一方、周期律表で酸素の下にあるSとの化合物である硫化物でも、乾式精錬で還元できる硫化物は限られており、熔融塩を用いても無電解で硫化物を還元することは容易ではない。実際、1956年にBi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>の炭酸塩中での還元は効率が悪いとされ、Chenらは2003年に熔融CaCl<sub>2</sub>を用いCu<sub>2</sub>Sの電解還元挑戦したが、硫化物が反応温度で液化することが原因で失敗し、近年上海大のZouらが再挑戦しているが不芳である。MohamadらはCaCl<sub>2</sub>-CaO熔融塩を用いMoS<sub>2</sub>とFeCuS<sub>2</sub>の還元で金属を得たと報告したが、酸素汚染が著しい。科学的に多くの観点から基礎的な深い研究が必要であった。

一方、申請者は酸化物液体V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、酸化物気体CO<sub>2</sub>や塩化物気体TiCl<sub>4</sub>など難還元性物質に対して熔融CaCl<sub>2</sub>-CaOを用いた電解還元で成功していたので、CaS由来の還元剤Caの作用を発想した。すでに試薬TiS<sub>2</sub>およびVS<sub>2</sub>を原料としてCaS添加のCaCl<sub>2</sub>熔融塩中で還元し、金属の製造に世界で始めて成功した。2015年に特許申請し、2016年に2論文を発表した。得られたTi中の残留硫黄濃度は0.02%以下と画期的に低く、TiO<sub>2</sub>よりもTiS<sub>2</sub>の還元は容易であった。バルブメタル一般にSの固溶は小さいから、硫黄による不純物汚染の懸念はなく、工業化へのハードルは低い。

## 2. 研究の目的

(1) バルブメタル(Ti, Ta, Nb, V等)の酸化物は熱力学的に極めて安定で鉱石として安価に入手できる。これら固体酸化物は容易には金属に還元しがたいが、これをS<sub>2</sub>もしくはCS<sub>2</sub>ガスで硫化物に転換する。この反応の物理化学について調査し、硫化法を実用化できる条件を示す。

(2) 次に硫化物を熔融塩電解還元により金属の微粉末に還元する。硫化物の還元反応の基礎原理を熱化学および電気化学の両面から解明し、この硫化物電解還元法を工業的に展開できるよう確立する。

(3A)とくに硫化チタンの高速製造法を検討し、鉱石から出発して市場に受け入れ可能な低酸素濃度の高級チタン粉末の製造が可能であることを実証する。

(3B)バナジウムやタンタルなどの貴重な酸化物を、電池や半導体基板からリサイクルする手法と

しても発展させる。

### 3. 研究の方法

- (1)  $\text{TiO}_2$  の  $\text{CS}_2$  ガス硫化法を導入して、酸化物鉍石  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  や  $\text{TiO}_2$  から硫化物  $\text{TaS}_2$  や  $\text{TiS}_2$  を安価に製造する方法を確立する。V や Zr, Y, Ta, Nb, Sc など難還元性酸化物を  $\text{CS}_2$  ガスで硫化する際の汎用性を実験によって調べ、高速かつ低温硫化が可能であるか試験する。
- (2) 熔融  $\text{CaCl}_2\text{-CaS}$  中の硫化物還元機構は  $\text{CaS}$  由来の  $\text{Ca}$  熱還元と申請者は考えるが、硫化物の直接還元の可能性も残り、還元機構の理解は不十分である。硫化物の熔融塩中での化学反応の学理を、温度依存性や電位依存性を調査して熱化学および電気化学の両面から解明し、反応の基礎を確定する。
- (3A) とくに Ti の製錬に応用するため、硫化物電解還元法の工業化を念頭に、熔融塩中での  $\text{TiS}_2$  の高速還元を検討し、低酸素・低硫黄濃度の高級チタンの製造可能性を実証する。
- (3B) 硫化物として大型蓄電池に利用される V や、酸化物コンデンサーとして使われる Ta などの化合物をリサイクルする手法として、硫化と還元の組み合わせで純度向上を図る方法を提案する。

### 4. 研究成果

- (1) 酸化物  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  から硫化物  $\text{TiS}_2$ ,  $\text{TaS}_2$ ,  $\text{NbS}_2$ ,  $\text{Sc}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{S}_3$  の合成  
硫黄雰囲気能耐る横型管状炉を自作で準備し、C と  $\text{S}_2$  ガスもしくは  $\text{CS}_2$  ガスの雰囲気の下でこれら酸化物を硫化した。 $\text{CS}_2$  ガスは  $40^\circ\text{C}$  で沸騰するので扱いやすい。安全のため装置全体をドラフト内に収容した。粉末 C と固体酸化物を混合し、硫黄分は低温炉から気化させて供給し気化温度と流量で硫化速度を制御した。熱力学データからは  $\text{SO}_x$  は発生せず、 $1000\text{K} \sim 1600\text{K}$  で CO ガス発生硫化反応が進行した。反応試料の X 線回折、走査型電子顕微鏡観察と LECO 法による硫黄、酸素濃度分析を行って反応機構を確定した。酸化物によって経過は異なるが、高温、長時間で高級硫化物が生成した。酸素と硫黄が順次置き換わるようにオキシ硫化物を經由して硫化物が生成した。熱力学データが整備されている系ではおよそ平衡反応で予測される相が生じた。反応容器として流動床の適用を検討した。

$\text{CS}_2$  ガス硫化は酸化物に対して  $\text{S}_2$  ガスより低温で強力な硫化作用があった。温度や粒度の他、反応装置の化学工学的設計が大きく寄与する。 $\text{CS}_2$  ガスの線速度の影響や、固体ペレットの効果や空隙の影響も調査した。 $\text{S}_2$  ガスによる硫化では 2 温度炉の制御を行い、残留炭素が少なく、純度の高い硫化物が得られた。時間に対する反応応答を調べて反応速度論的解析を行った。

$\text{CS}_2$  ガス硫化法を Si の硫化に適用して  $\text{SiO}_2$  は硫化できないが Si から  $\text{SiS}_2$  を高純度に製造することが出来た。これは硫化物電池の原料となる。 $\text{CS}_2$  ガス硫化は熱力学に従うこと、また  $\text{SiS}$  のガスを一旦經由すること、がポイントであることを証明した。

- (2) 硫化物  $\text{MS}_x$  を金属 M(M=V, Ti, Ta, Nb, Bi, Pb, Zn) に転換する熔融塩電解還元

熔融塩電解には 600g の  $\text{CaS-CaCl}_2$  を  $900^\circ\text{C}$  で保持し実験した。予備電解と真空脱ガスで酸素と水分の除去を行った。電解中発生する  $\text{S}_2$  ガスは反応容器内に凝結したが、炭素棒と反応して生成する  $\text{CS}_2$  ガスの分析は NaOH 吸収管での pH 測定とシリンジで抽出しガス検知管で行った。市販硫化物と  $\text{CaS}$  と溶媒  $\text{CaCl}_2$  の混合比、電流密度、還元温度、還元時間、通電量、雰囲気ガスの圧力、充填位置、大気の混入、予備電解の効果、試料粉末の形態の効果、排ガス分析値、還元の均一性、などを調査した。W や Mo を疑似電極として用いた Cyclic voltammetry を実施すると共に、定電圧電解途中で反応を止めた試料について X 線回折測定と走査電子顕微鏡観察で還元相の体積率増大を調査した。これらにより還元機構が  $\text{CaS}$  の電解による  $\text{Ca}$  の熱還元作用であるとの反応メカニズムを解明した。残留し排出される  $\text{S}_2$  および  $\text{CS}_2$  等のアノードガスの安全確実な捕集と無害化廃棄処理に NaOH は有効であった。

金属 Ca を用いた還元実験は、電解還元の対比実験である。ステンレス鋼の密閉容器内に所定のモル比で、酸化物:Ca: $\text{CaCl}_2$ : $\text{CaS}$  を混合して充填する。還元剤 Ca の充填率は蒸散を見込んで、理論必要量よりやや増量した。この対比実験により還元機構が Ca 熱還元である傍証を得た。

市販の数種の  $\text{TiS}_2$  試薬について SEM と粒度分布測定装置を用いて調べたところ、原料硫化物  $\text{TiS}_2$  の粒子サイズや形状、二次粒の形態が還元の進行に影響を与えた。

- (3A) 鉍石から金属への実証

以上、(1)硫化と(2)電解還元のそれぞれの工程が完遂したので、これらを組み合わせた。すなわち、チタン鉍石としてイルメナイトを用い、これを硫化してまず Fe を除去し、ついで  $\text{TiO}(\text{OH})$  を硫化して  $\text{TiS}_2$  を得た。あるいは C と  $\text{N}_2$  を用いて窒化して  $\text{TiN}$  を製造し、これを硫化することで  $\text{TiS}_2$  を得た。 $\text{TiC}$  の硫化は可能であるが、C が多く残留した。 $\text{TiN}$  から最も高純度の  $\text{TiS}_2$  を得ることが出来た。これら合成法の異なる 3 種類の  $\text{TiS}_2$  を熔融塩に入れ電解還元を施したところ、シート状の Ti を得た。これは少ない電気で硫黄濃度が 0.01% 以下に低減することが可能で、電流効率が酸化物の直接還元より大幅に向上した。得られた Ti の純度は原料硫化物の酸素濃度に依存したが、 $\text{TiN}$  由来では市販の純チタンと遜色がない品質であった。

### (3B) Ti 以外の硫化物の還元

硫化物  $V_3S_4$  や  $TaS_2$  から硫化物を高速に還元して金属粉末を得ることに成功した。 $CaCl_2$ - $LiCl$ - $CaS$  を用いて反応温度を下げることに成功した。

$CaCl_2$  のみならず、 $CaCl_2$ - $LiCl$  への  $CaS$  の溶解度を調査し、それぞれ 2.0 mass%  $CaS$  および 0.2 mass%  $CaS$  程度の溶解度を見いだした。

低融点金属である  $Bi$ ,  $Pb$ ,  $Zn$  の硫化物の電解還元では、カソード近傍に液体金属が生成するために、カソードをコップ型に加工し、絶縁被覆したグラファイト電極とすることが必要であった。 $Bi$  は塩化物塩と反応して  $BiOCl$  が生成しやすく、 $Zn$  は沸点が低いため多くの生成金属が飛散した。 $Bi$  と  $Pb$  は反応温度を最適化し、さらに電気量を加減することで短時間に反応させ蒸発を抑制し、金属  $Bi$  および  $Pb$  を得ることに成功した。

不純物の水分や大気成分は電解の効率を低下させた。試料を酸化させないように凝固した熔融塩から取り出すため、水ではなく、メタノールとエチレングリコールが好適であることを見いだした。これらは低温蒸留で再利用できる。

各種二次電池に含まれるバナジウムは資源として有用である。また  $Na_2S$  を含むナトリウム電池は廃棄の際の  $Na$  抽出は安全な廃棄の面から欠かせない。これらを金属にリサイクルする方法に上記の電解還元を応用する。不純物としてアンモニウム塩を含むので、溶液で  $NH_4Cl$  を除去し、 $Na_2S$  由来の  $S$  を用いて  $VS_x$  として回収する方法を検討した。水溶液中で  $VS_x$  は得られなかった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 7件）

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Kaneko Takumi, Yashima Yuta, Ahmadi Eltefat, Natsui Shungo, Suzuki Ryosuke O.          | 4. 巻<br>285                   |
| 2. 論文標題<br>Synthesis of Sc sulfides by CS <sub>2</sub> sulfurization                             | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Solid State Chemistry   | 6. 最初と最後の頁<br>121268 ~ 121268 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.jssc.2020.121268   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Ahmadi Eltefat, Suzuki Ryosuke O.  | 4. 巻<br>51                    |
| 2. 論文標題<br>An Innovative Process for Production of Ti Metal Powder via TiS <sub>x</sub> from TiN | 5. 発行年<br>2019年               |
| 3. 雑誌名<br>Metallurgical and Materials Transactions B   | 6. 最初と最後の頁<br>140 ~ 148       |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s11663-019-01730-w   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Haraguchi Yasushi, Shibuya Ryota, Natsui Shungo, Kikuchi Tatsuya, O. Suzuki Ryosuke    | 4. 巻<br>83                    |
| 2. 論文標題<br>Gas Generation Reactions during TiO <sub>2</sub> Reduction Using Molten Salt          | 5. 発行年<br>2019年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Japan Institute of Metals and Materials                                 | 6. 最初と最後の頁<br>441 ~ 448       |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2320/jinstmet.JAW201901   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Matsuzaki Takahiro, Suzuki Ryosuke O., Natsui Shungo, Kikuchi Tatsuya, Ueda Mikito     | 4. 巻<br>60                    |
| 2. 論文標題<br>Solubility of CaS in CaCl <sub>2</sub> -LiCl Eutectic Melt                            | 5. 発行年<br>2019年               |
| 3. 雑誌名<br>MATERIALS TRANSACTIONS   | 6. 最初と最後の頁<br>411 ~ 415       |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2320/matertrans.MA201809  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Savarsdottir Gudrun, Haarberg Geir Martin, Suzuki Ryosuke O. | 4. 巻<br>60              |
| 2. 論文標題<br>PREFACE   | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>MATERIALS TRANSACTIONS                                       | 6. 最初と最後の頁<br>373 ~ 373 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2320/matertrans.MPR2019901              | 査読の有無<br>無              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Matsuzaki Takahiro, Suzuki Ryosuke O., Natsui Shungo, Kikuchi Tatsuya, Ueda Mikito | 4. 巻<br>60              |
| 2. 論文標題<br>Solubility of CaS in Molten CaCl <sub>2</sub>                                     | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>MATERIALS TRANSACTIONS   | 6. 最初と最後の頁<br>386 ~ 390 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2320/matertrans.MA201803                                      | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>鈴木亮輔                         | 4. 巻<br>66              |
| 2. 論文標題<br>報告 チタン新製錬の第6回国際円卓会議         | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>チタン                          | 6. 最初と最後の頁<br>250 ~ 251 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし         | 査読の有無<br>無              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Suzuki Ryosuke O., Noguchi Hiromi, Haraguchi Yasushi, Natsui Shungo, Kikuchi Tatsuya | 4. 巻<br>86            |
| 2. 論文標題<br>(Invited) Metal Production in CaCl <sub>2</sub> -Based Melts                        | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>ECS Transactions   | 6. 最初と最後の頁<br>45 ~ 53 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1149/08614.0045ecst   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Suzuki Ryosuke O., Suzuki Nobuyoshi, Yashima Yuta, Natsui Shungo, Kikuchi Tatsuya    | 4. 巻<br>-               |
| 2. 論文標題<br>Calciothermic Reduction and Electrolysis of Sulfides in CaCl <sub>2</sub> Melt      | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>Proceedings of the First Global Conference on Extractive Metallurgy (Extraction2018) | 6. 最初と最後の頁<br>763 ~ 771 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/978-3-319-95022-8_60                                       | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Suzuki Nobuyoshi, Suzuki Ryosuke O., Natsui Shungo, Kikuchi Tatsuya   | 4. 巻<br>110           |
| 2. 論文標題<br>Branched morphology of Nb powder particles fabricated by calciothermic reduction in CaCl <sub>2</sub> melt | 5. 発行年<br>2017年       |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics and Chemistry of Solids  | 6. 最初と最後の頁<br>58 ~ 63 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.jpccs.2017.05.032   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                        |
|--|------------------------|
| 1. 著者名<br>Ryosuke O. Suzuki, Erika Takahashi, Mika Kitamura, Yuta Yashima, Hiromi Noguchi, Shungo Natsui and Tatsuya Kikuchi | 4. 巻<br>1              |
| 2. 論文標題<br>Titanium Fabrication via CaCl <sub>2</sub> from FeTiO <sub>3</sub>  | 5. 発行年<br>2017年        |
| 3. 雑誌名<br>Proc. of the 6th Asian Conference on Molten Salts Chemistry and Technology   | 6. 最初と最後の頁<br>0A11.doc |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>無             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Ryosuke O. Suzuki, Fumiya Matsuura, Shungo Natsui and Tatsuya Kikuchi  | 4. 巻<br>1               |
| 2. 論文標題<br>Conversion of CO <sub>2</sub> to CO gas using molten CaCl <sub>2</sub> and ZrO <sub>2</sub> anode   | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>Proceedings of 1st International Conference on Energy and Material Efficiency and CO <sub>2</sub> Reduction in the Steel Industry, (EMECCR2017), | 6. 最初と最後の頁<br>360 ~ 363 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>無              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>NOGUCHI Hiromi, NATSUI Shungo, KIKUCHI Tatsuya, SUZUKI Ryosuke O.                          | 4. 巻<br>86            |
| 2. 論文標題<br>Reduction of CaTiO <sub>3</sub> by Electrolysis in the Molten Salt CaCl <sub>2</sub> -CaO | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>Electrochemistry   | 6. 最初と最後の頁<br>82 ~ 87 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.5796/electrochemistry.17-00078  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Ahmadi Eltefat, Yashima Yuta, Suzuki Ryosuke O., Rezan Sheikh Abdul                 | 4. 巻<br>49                |
| 2. 論文標題<br>Formation of Titanium Sulfide from Titanium Oxycarbonitride by CS <sub>2</sub> Gas | 5. 発行年<br>2018年           |
| 3. 雑誌名<br>Metallurgical and Materials Transactions B  | 6. 最初と最後の頁<br>1808 ~ 1821 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s11663-018-1278-8   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する              |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Natsui Shungo, Sudo Takuya, Shibuya Ryota, Nogami Hiroshi, Kikuchi Tatsuya, Suzuki Ryosuke O. | 4. 巻<br>51            |
| 2. 論文標題<br>Visualization of TiO <sub>2</sub> Reduction Behavior in Molten Salt Electrolysis             | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>Metallurgical and Materials Transactions B  | 6. 最初と最後の頁<br>11 ~ 15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s11663-019-01733-7  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Ahmadi Eltefat, Suzuki Ryosuke O., Kikuchi Tatsuya, Kaneko Takumi, Yashima Yuta   | 4. 巻<br>27                |
| 2. 論文標題<br>Towards a sustainable technology for production of extra-pure Ti metal: Electrolysis of sulfurized Ti(C,N) in molten CaCl <sub>2</sub> | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials   | 6. 最初と最後の頁<br>1635 ~ 1643 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s12613-020-2162-5   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |



|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Suzuki R. O., Yashima Y., Suzuki N., Ahmadi E., Natsui S., Kikuchi T. | 4. 巻<br>321                 |
| 2. 論文標題<br>Titanium Production via Titanium Sulfide                             | 5. 発行年<br>2020年             |
| 3. 雑誌名<br>MATEC Web of Conferences  | 6. 最初と最後の頁<br>07003 ~ 07003 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1051/mateconf/202032107003                       | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Ahmadi Eltefat, Suzuki Ryosuke o., Kaneko Takumi, Kikuchi Tatsuya      | 4. 巻<br>52            |
| 2. 論文標題<br>A Sustainable Approach for Producing Ti and TiS <sub>2</sub> from TiC | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>Metallurgical and Materials Transactions B                             | 6. 最初と最後の頁<br>77 ~ 87 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s11663-020-01988-5                           | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>Suzuki Ryosuke O., Yashima Yuta, Kaneko Takumi, Ahmadi Eltefat, Kikuchi Tatsuya, Watanabe Takafumi, Nogami Genki | 4. 巻<br>53      |
| 2. 論文標題<br>Synthesis of Silicon Sulfide by Using CS <sub>2</sub> Gas   | 5. 発行年<br>2021年 |
| 3. 雑誌名<br>Metallurgical and Materials Transactions B   | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s11663-021-02103-y   | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>-       |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>Ahmadi Eltefat, Suzuki Ryosuke O.  | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Tantalum Metal Production Through High-Efficiency Electrochemical Reduction of TaS <sub>2</sub> in Molten CaCl <sub>2</sub> | 5. 発行年<br>2021年 |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Sustainable Metallurgy  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s40831-021-00347-1   | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>-       |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Shibuya Ryota, Natsui Shungo, Nogami Hiroshi, Kikuchi Tatsuya, Suzuki Ryosuke O.  | 4. 巻<br>167                   |
| 2. 論文標題<br>Characterization of the Cathodic Thermal Behavior of Molten CaCl <sub>2</sub> and Its Hygroscopic Chloride Mixture During Electrolysis | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of The Electrochemical Society  | 6. 最初と最後の頁<br>102507 ~ 102507 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1149/1945-7111/ab9961  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

〔学会発表〕 計56件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 6件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryosuke O. Suzuki, Yuta Yashima, Eltefat Ahmadi, Nobuyoshi Suzuki, Shungo Natsui, Tatsuya Kikuchi |
| 2. 発表標題<br>Titanium Production in CaCl <sub>2</sub> melt via TiS <sub>2</sub> from TiFe <sub>3</sub>         |
| 3. 学会等名<br>11th International Symposium on Molten Salt Chemistry and Technology (国際学会)                       |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryosuke O. Suzuki, Yuta Yashima, Nobuyoshi Suzuki, Shungo Natsui, Tatsuya Kikuchi |
| 2. 発表標題<br>Titanium Production via Titanium Sulfide  |
| 3. 学会等名<br>The 14th World Conference on Titanium (国際学会)                                      |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>E. Ahmadi, R.O. Suzuki, T. Kaneko, Y. Yashima, T. Kikuchi   |
| 2. 発表標題<br>Production of Ti Metal Powder via TiS <sub>2</sub> from TiN |
| 3. 学会等名<br>2019年度 日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション                        |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>濱岡光太, 金子拓実, 菊地竜也, 鈴木亮輔               |
| 2. 発表標題<br>硫化鉛の還元                               |
| 3. 学会等名<br>2019年度 日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション |
| 4. 発表年<br>2019年                                 |

|                                 |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名<br>濱岡 光太、金子拓実、澁谷凌太、鈴木亮輔 |
| 2. 発表標題<br>OS法を用いた硫化鉛の還元        |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2019年秋期大会      |
| 4. 発表年<br>2019年                 |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>八島悠太、鈴木亮輔、金子拓実、Eltefat Ahmadi、渡邊貴史、野上玄器     |
| 2. 発表標題<br>CS <sub>2</sub> ガス硫化によるSiS <sub>2</sub> の作成 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2019年秋期大会                             |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>土井博輝、夏井俊悟、菊地竜也、鈴木亮輔            |
| 2. 発表標題<br>溶融塩電解を用いたTiAl金属間化合物の作製と酸素濃度の低減 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2019年秋期大会                |
| 4. 発表年<br>2019年                           |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>金子拓実、Eltefat Ahmadi、夏井俊悟、鈴木亮輔                                   |
| 2. 発表標題<br>CS <sub>2</sub> 気化温度の制御による低酸素Sc <sub>2</sub> S <sub>3</sub> の作製 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2019年秋期大会   |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Eltefat Ahmadi, Takumi Kaneko, Ryosuke O. Suzuki, Norlia Baharun, S.A. Rezan |
| 2. 発表標題<br>Synthesis of TiCl <sub>4</sub> by Low-Temperature Chlorination of TiN        |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2019年秋期大会  |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Eltefat Ahmadi、鈴木亮輔   |
| 2. 発表標題<br>Production of Ti Metal Powder by OS Process from Sulfurized TiN |
| 3. 学会等名<br>資源・素材2019 (京都)  |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>濱岡光太、鈴木亮輔、菊地竜也、Eltefat Ahmadi |
| 2. 発表標題<br>低温溶融塩中における硫化鉛の還元              |
| 3. 学会等名<br>電気化学会溶融塩委員会主催第51回溶融塩化学討論会     |
| 4. 発表年<br>2019年                          |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Eltefat Ahmadi, Ryosuke O. Suzuki, Tatsuya Kikuchi                                   |
| 2. 発表標題<br>Production of Ti and Ta Powders from Sulfurized Nitrides by Reduction in Molten Salt |
| 3. 学会等名<br>電気化学会溶融塩委員会主催第51回溶融塩化学討論会  |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>原口靖史, 夏井俊悟, 菊地竜也, 鈴木亮輔                     |
| 2. 発表標題<br>溶融塩を用いたTiO <sub>2</sub> 電解還元時の副反応およびその経時変化 |
| 3. 学会等名<br>電気化学会溶融塩委員会主催第51回溶融塩化学討論会                  |
| 4. 発表年<br>2019年                                       |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Eltefat Ahmadi, Ryosuke O. Suzuki, Takumi Kaneko, Yuta Yashima, Tatsuya Kikuchi         |
| 2. 発表標題<br>Production of Ti Metal Powder from TiC by Sulfurization and Ca Reduction in Molten Salt |
| 3. 学会等名<br>2019年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同冬季講演大会   |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>沙魚川拓生、金子拓実、AHMADI Eltefat、菊地竜也、鈴木亮輔 |
| 2. 発表標題<br>金属Caを用いた希土類硫化物の乾式還元                 |
| 3. 学会等名<br>2019年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同冬季講演大会   |
| 4. 発表年<br>2020年                                |

|                                 |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名<br>金子 拓実、樋口 浩隆、鈴木 亮輔    |
| 2. 発表標題<br>金属Caを用いた硫化スカンジウムの熱還元 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2020 年春期講演大会   |
| 4. 発表年<br>2020年                 |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>土井博輝, 夏井俊悟, 菊地竜也, 鈴木亮輔           |
| 2. 発表標題<br>熔融塩電解を用いたTiAl金属間化合物粉末の作製と化学量論比制御 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2019年春期(第164回)講演大会         |
| 4. 発表年<br>2019年                             |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>原口靖史, 澁谷凌太、夏井俊悟, 菊地竜也, 鈴木亮輔      |
| 2. 発表標題<br>TiO <sub>2</sub> 熔融塩電解還元時のガス発生反応 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2019年春期(第164回)講演大会         |
| 4. 発表年<br>2019年                             |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>鈴木亮輔、菊地竜也、夏井俊悟                     |
| 2. 発表標題<br>硫化物を用いたチタン製錬                       |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会チタン製造プロセスと材料機能研究会(第5回)(招待講演) |
| 4. 発表年<br>2019年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>八島 悠太、金子 拓実、夏井 俊悟、菊地 竜也、鈴木 亮輔、三菱ガス化学株式会社 渡邊 貴史、野上 玄器 |
| 2. 発表標題<br>CS <sub>2</sub> ガス硫化法による固体電解質SiS <sub>2</sub> の合成    |
| 3. 学会等名<br>平成30年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同冬季講演大会                    |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>野口 宏海、鈴木 亮輔、菊地 竜也、夏井 俊悟           |
| 2. 発表標題<br>TiO <sub>2</sub> の電解還元による低酸素Tiの作製 |
| 3. 学会等名<br>電気化学会溶融塩委員会第50回溶融塩化学討論会           |
| 4. 発表年<br>2018年                              |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>原口靖史、夏井俊悟、菊地竜也、鈴木亮輔                     |
| 2. 発表標題<br>TiO <sub>2</sub> 溶融塩電解還元のその場観察および電気化学測定 |
| 3. 学会等名<br>電気化学会溶融塩委員会第50回溶融塩化学討論会                 |
| 4. 発表年<br>2018年                                    |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>土井博輝、夏井俊悟、菊地竜也、鈴木亮輔     |
| 2. 発表標題<br>溶融塩電解を用いたTi-Al金属間化合物の合成 |
| 3. 学会等名<br>電気化学会溶融塩委員会第50回溶融塩化学討論会 |
| 4. 発表年<br>2018年                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>R. O. Suzuki, H. Noguchi, S. Natsui, and T. Kikuchi   |
| 2. 発表標題<br>Metal Production in CaCl <sub>2</sub> -Based Melts  |
| 3. 学会等名<br>ECS and SMEQ Joint International Meeting (AiMES 2018), Molten Salts and Ionic Liquids (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>八島 悠太、金子拓実、夏井 俊悟、菊地 竜也、鈴木 亮輔         |
| 2. 発表標題<br>CS <sub>2</sub> ガス温度制御による高純度硫化チタンの作製 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2018年秋期(第163回)講演大会             |
| 4. 発表年<br>2018年                                 |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>金子拓実、八島悠太、夏井 俊悟、菊地 竜也、鈴木 亮輔                              |
| 2. 発表標題<br>CS <sub>2</sub> 硫化法によるSc <sub>2</sub> S <sub>3</sub> の作製 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2018年秋期(第163回)講演大会                                 |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>原口 靖史、夏井 俊悟、菊地 竜也、鈴木 亮輔                   |
| 2. 発表標題<br>TiO <sub>2</sub> の熔融塩電解還元における気泡形成挙動のその場観察 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2018年秋期(第163回)講演大会                  |
| 4. 発表年<br>2018年                                      |



|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>土井 博輝、夏井 俊悟、菊地 竜也、鈴木 亮輔  |
| 2. 発表標題<br>溶融塩電解を用いたTi-Al合金粉末の作製    |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2018年秋期（第163回）講演大会 |
| 4. 発表年<br>2018年                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>金子 拓実、八島 悠太、夏井 俊悟、菊地 竜也、鈴木 亮輔       |
| 2. 発表標題<br>CS <sub>2</sub> 硫化法による酸化スカンジウムの直接硫化 |
| 3. 学会等名<br>2018資源素材学会秋季講演大会                    |
| 4. 発表年<br>2018年                                |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Ryosuke O. Suzuki, Takahiro Matsuzaki, Shungo Natsui, Tatsuya Kikuchi          |
| 2. 発表標題<br>Calciothermic Reduction and Electrolysis of Sulfides in CaCl <sub>2</sub> Melt |
| 3. 学会等名<br>7th International Symposium on Advances in Sulfide Smelting (国際学会)             |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>原口靖史、夏井俊悟、菊地竜也、鈴木亮輔                 |
| 2. 発表標題<br>炭素陽極を用いた溶融塩電解における気泡形成               |
| 3. 学会等名<br>平成30年度日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション |
| 4. 発表年<br>2018年                                |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>土井博輝, 夏井俊悟, 菊地竜也, 鈴木亮輔   |
| 2. 発表標題<br>TiO <sub>2</sub> とAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> からのTi-Al合金粉末の作製 |
| 3. 学会等名<br>平成30年度日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション                              |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>金子拓実、八島悠太、夏井俊悟、菊地竜也、鈴木亮輔            |
| 2. 発表標題<br>CS <sub>2</sub> 硫化法を用いた硫化スカンジウムの合成  |
| 3. 学会等名<br>平成30年度日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション |
| 4. 発表年<br>2018年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryosuke O. Suzuki, Yuta Yashima, Nobuyoshi Suzuki, Shungo Natsui and Tatsuya Kikuchi                            |
| 2. 発表標題<br>Titanium Formation from FeTiO <sub>3</sub> via Electrolysis of TiS <sub>2</sub> in Molten CaS-CaCl <sub>2</sub> |
| 3. 学会等名<br>6th International Round Table on Titanium Production in Molten Salt (Ti-RT2018) (招待講演) (国際学会)                   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>鈴木 亮輔                                  |
| 2. 発表標題<br>地球温暖化ガス削減---熔融塩電解によるCO <sub>2</sub> 還元 |
| 3. 学会等名<br>第79回マテリアルズテラリング研究会 (招待講演)              |
| 4. 発表年<br>2018年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>八島 悠太、Eltefat Afmadi、夏井 俊悟、菊地 竜也、鈴木 亮輔、Sheikh A. Rezan |
| 2. 発表標題<br>CS <sub>2</sub> ガスを用いた酸炭窒化チタンからの硫化チタン製造法               |
| 3. 学会等名<br>資源素材学会2018年春季講演大会                                      |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>鈴木亮輔、松崎隆洋、夏井俊悟、菊地竜也、上田幹人           |
| 2. 発表標題<br>CaCl <sub>2</sub> 系熔融塩中におけるCaSの溶解度 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2018年春季（第162回）講演大会           |
| 4. 発表年<br>2018年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>八島 悠太、夏井 俊悟、菊地 竜也、鈴木 亮輔  |
| 2. 発表標題<br>CS <sub>2</sub> を用いたFeTiO <sub>3</sub> からのTiS <sub>2</sub> 製造法 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2018年春季（第162回）講演大会                                       |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>金子 拓実、夏井 俊悟、菊地 竜也、鈴木 亮輔   |
| 2. 発表標題<br>熔融CaCl <sub>2</sub> -CaOと液体Bi電極を用いたBi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> の電解還元 |
| 3. 学会等名<br>平成29年度 日本金属学会日本鉄鋼協会両北海道支部合同冬季講演大会                                       |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>野口宏海, 鈴木亮輔, 菊地竜也, 夏井俊悟                                |
| 2. 発表標題<br>CaCl <sub>2</sub> -CaO溶融塩電解によるTiO <sub>2</sub> の還元最適化 |
| 3. 学会等名<br>第49回溶融塩化学討論会  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松崎洋, 数土卓也, 夏井俊悟, 菊地竜也, 鈴木亮輔        |
| 2. 発表標題<br>溶融CaCl <sub>2</sub> 系でのCaS溶解度と電解挙動 |
| 3. 学会等名<br>第49回溶融塩化学討論会                       |
| 4. 発表年<br>2018年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>鈴木亮輔  |
| 2. 発表標題<br>溶融塩を用いたCO <sub>2</sub> の炭素とCOへの変換                     |
| 3. 学会等名<br>日本エネルギー学会 天然ガス部会 科学・反応システム分科会シンポジウム「二酸化炭素の再資源化」(招待講演) |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryosuke O. Suzuki, Fumiya Matsuura, Shungo Natsui and Tatsuya Kikuchi   |
| 2. 発表標題<br>Conversion of CO <sub>2</sub> to CO gas using molten CaCl <sub>2</sub> and ZrO <sub>2</sub> anode                               |
| 3. 学会等名<br>1st International Conference on Energy and Material Efficiency and CO <sub>2</sub> Reduction in the Steel Industry (EMECCR2017) |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>松崎隆洋, 夏井俊悟, 菊地竜也, 鈴木亮輔 |
| 2. 発表標題<br>熔融塩中でのCaS電解を用いたV3S4還元  |
| 3. 学会等名<br>資源・素材学会2017年秋季講演大会     |
| 4. 発表年<br>2017年                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>鈴木亮輔, 高橋絵里加, 野口宏海, 夏井俊悟, 菊地竜也                                  |
| 2. 発表標題<br>FeTiO <sub>3</sub> を出発原料としたCaTiO <sub>3</sub> の調製と熔融塩還元によるTi製造 |
| 3. 学会等名<br>資源・素材学会2017年秋季講演大会   |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松崎隆洋, 夏井俊悟, 菊地竜也, 鈴木亮輔   |
| 2. 発表標題<br>CaCl <sub>2</sub> -65mol%LiCl共晶塩中でのV <sub>3</sub> S <sub>4</sub> の電解還元 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2017年秋期(第161回)講演大会   |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>八島悠太, 夏井俊吾, 菊地竜也, 鈴木亮輔  |
| 2. 発表標題<br>CS <sub>2</sub> を用いたFeTiO <sub>3</sub> からのTiS <sub>2</sub> 製造法の開発 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション                                     |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryosuke O. Suzuki, Erika Takahashi, Mika Kitamura, Yuta Yashima, Hiromi Noguchi, Shungo Natsui, Tatsuya Kikuchi |
| 2. 発表標題<br>Titanium Fabrication via CaCl <sub>2</sub> from FeTiO <sub>3</sub>  |
| 3. 学会等名<br>The 6th Asian Conf. on Molten Salts Chem. & Techn. (6AMS)   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Eltefat Ahmadi, Sheikh Abdul Rezan* and Ryosuke O. Suzuki                     |
| 2. 発表標題<br>Low temperature chlorination of nitrided ilmenite synthesized by CTRN Process |
| 3. 学会等名<br>平成29年度日本鑄造工学会軽金属学会両支部合同講演大会   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Eltefat Ahmadi, Ryosuke O. Suzuki, Tatsuya Kikuchi                                      |
| 2. 発表標題<br>High-Purity Tantalum Powder Production by Electrochemical Reduction of TaS <sub>2</sub> |
| 3. 学会等名<br>資源素材学会 資源・素材2020  |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Eltefat Ahmadi, Ryosuke O. Suzuki, Tatsuya Kikuchi                           |
| 2. 発表標題<br>Production of Ti Powder from TiC by Sulfidation and Reduction in Molten Salt |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2020秋期大会   |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>濱岡光太、鈴木亮輔、菊地竜也、Eltefat Ahmadi        |
| 2. 発表標題<br>CaCl <sub>2</sub> -KCl複合塩中における硫化鉛の還元 |
| 3. 学会等名<br>第52回溶融塩化学討論会                         |
| 4. 発表年<br>2020年                                 |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Eltefat Ahmadi、鈴木亮輔、菊地竜也、濱岡光太  |
| 2. 発表標題<br>Electrolysis of TiS <sub>2</sub> prepared from TiN to High-Purity Ti |
| 3. 学会等名<br>第52回溶融塩化学討論会   |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>鈴木亮輔                                    |
| 2. 発表標題<br>溶融塩を用いた錬金術                              |
| 3. 学会等名<br>2020年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同冬季講演大会（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2021年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>山下知宏、金子拓実、鈴木亮輔、菊地竜也   |
| 2. 発表標題<br>S <sub>2</sub> およびCS <sub>2</sub> ガスによるSc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> の硫化 |
| 3. 学会等名<br>2020年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同冬季講演大会   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Ryosuke O. Suzuki, Takumi Kaneko, Eltefat Ahmadi, Yuta Yashima, Shungo Natsui, Tatsuya Kikuchi |
| 2. 発表標題<br>Metal Production after Sulfurization of Oxides   |
| 3. 学会等名<br>The 11th International Conference on Molten Slag, Fluxes and Salts (招待講演) (国際学会)               |
| 4. 発表年<br>2021年   |

〔図書〕 計2件

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Ryosuke O. Suzuki, Shungo Natsui, Tatsuya Kikuchi   | 4. 発行年<br>2020年 |
| 2. 出版社<br>Elsevier  | 5. 総ページ数<br>436 |
| 3. 書名<br>Extractive Metallurgy of Titanium, Conventional and Recent Advances in Extraction and Production of Titanium Metal |                 |

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| 1. 著者名<br>湯川英明           | 4. 発行年<br>2020年 |
| 2. 出版社<br>シーエムシー出版       | 5. 総ページ数<br>375 |
| 3. 書名<br>脱石油に向けたCO2資源化技術 |                 |

〔出願〕 計2件

|                                 |   |                          |
|---------------------------------|---|--------------------------|
| 産業財産権の名称<br>特許                  | 発明者<br>鈴木亮輔、アフマ<br>ディ エルテファト            | 権利者<br>北海道大学             |
| 産業財産権の種類、番号<br>特許、特願2019-174300 | 出願年<br>2019年                            | 国内・外国の別<br>国内            |
| 産業財産権の名称<br>特許                  | 発明者<br>鈴木亮輔、野口宏<br>海、菊地竜也、堀川<br>松秀、金子拓実 | 権利者<br>北海道大学、東<br>邦チタニウム |
| 産業財産権の種類、番号<br>特許、特願2020-193670 | 出願年<br>2020年                            | 国内・外国の別<br>国内            |

〔取得〕 計0件



〔その他〕

還元で切り拓く未来  
<https://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/ecopro/researching.php>

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)            | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)          | 備考 |
|-------|--------------------------------------|--------------------------------|----|
| 研究協力者 | アフマディ エルテファト<br><br>(Ahmadi Eltefat) | 九州大学・工学研究院・ポスドク<br><br>(17102) |    |
| 研究協力者 | 夏井 俊悟<br><br>(Natsui Shungo)         | 東北大学・多元研・助教<br><br>(11301)     |    |
| 研究協力者 | 菊地 竜也<br><br>(Kikuchi Tatsuya)       | 北海道大学・工学研究院・准教授<br><br>(10101) |    |

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                   |  |  |
|---------|---------------------------|--|--|
| マレーシア   | Universiti Sains Malaysia |  |  |