

令和 3 年 6 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04798

研究課題名(和文) 精錬スラグ中の固相はどこまで活用できるか？-活量測定と溶体モデルによる反応解析-

研究課題名(英文) Effective utilization of solid phases in refining slags

研究代表者

長谷川 将克 (Hasegawa, Masakatsu)

京都大学・エネルギー科学研究科・准教授

研究者番号：40335203

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)：従来金属精錬スラグでは反応速度向上のため、いかに液相を生成させるかに注目されてきたが、本研究課題では積極的な固相活用を目的に、「固相を用いた比較的低温における脱硫反応」、「クロム含有高合金鋼の溶製に向けた固相の熱化学的特性」、「反応解析のための溶体モデル構築」、「高温で使用可能な脱ハロゲン・脱硫材料の開発」を行った。CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系包接化合物はCaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaF<sub>2</sub>系液体スラグよりも硫黄吸収能が高かった。包接化合物薄膜を試作した。CaO-SiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系化合物のGibbsエネルギーの測定値は状態図と矛盾しなかった。スピネル型化合物と液相スラグに適用できる溶体モデルを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

酸化物とCu-Fe-S合金を平衡させるサルファイドキャパシティ(Cs)の測定法を確立した。本手法より金属Fe共存のCaO-SiO<sub>2</sub>-FeO系のCsを測定し、復硫反応を解析した。緻密な球形のCaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系包接化合物へ吸収した硫黄量を拡散方程式で解析して硫黄の拡散係数を算出した。拡散係数は液相より劣るが微粉化により低温での脱硫反応促進の可能性を見出した。金属微粒子を分散させた包接化合物薄膜は脱ハロゲン・脱硫材料の他、選択的ガス透過膜としての応用も考えられ、脱炭素社会に向けて研究を継続する予定である。スピネル型化合物に適用する正則溶体モデルとシリケート構造を考慮した液相スラグモデルを構築した。

研究成果の概要(英文)：Conventionally, attention has been paid to how to generate liquid refining slag to improve its reaction rate. Aiming at utilizations of solid phases, in the present study the following four investigations were carried out: (1) sulfur removal from liquid iron by using solid compounds at low temperature, (2) thermochemical properties of solid phases in the CaO-SiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ternary system, (3) applications of solution models to spinel solid solutions and liquid slags, and (4) dehalogenation and desulfurization materials.

The CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> clathrate compound showed higher sulfide capacity than CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaF<sub>2</sub> liquid slag especially at low temperature. The effect of iron on the activity coefficient of sulfur in molten copper was clarified, and then the sulfide capacities of the CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO system were measured by equilibrating oxide samples with Cu-Fe-S liquid alloys. The measured values for the Gibbs energies of the compounds in the CaO-SiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system were consistent with the phase diagram.

研究分野：化学熱力学

キーワード：固相 包接化合物 精錬スラグ 脱硫反応 クロム含有高合金鋼 スピネル型化合物

## 1. 研究開始当初の背景

研究代表者はこれまで溶鉄からの脱リン用精錬スラグにおいて、固相と液相の共存関係やFeO活量・ $P_2O_5$ 活量を測定し、精錬スラグの発生量低減に向けた低塩基化の限界について熱化学的に評価してきた(科学研究費:基盤研究(C)平成27~29年度:15K06524)。一般に脱リン生成物である $P_2O_5$ はスラグ中でCaOと反応して $Ca_3P_2O_8$ を生成し、化合物 $Ca_2SiO_4$ 中に溶解して $Ca_2SiO_4-Ca_3P_2O_8$ 固溶体が生成することが知られているが、固溶体が $CaSiO_3$ と共存する低塩基度スラグを用いても工業的要請レベルまで溶鉄中のリンを除去できる可能性を示した。

また廃電池や廃プラスチックを再資源化する際、ハロゲン元素によって設備腐食や有害物質生成の問題を引き起こす可能性がある。そこで申請者は酸化物の塩素吸収能を測定し、液相よりもCaO- $Al_2O_3$ 系包接化合物は塩素を吸収しやすいことを示した(科学研究費:基盤研究(C)平成24~26年度:24510098)。

以上のように研究代表者は精錬反応や廃棄物処理プロセスで使用される酸化物について、特に固相の役割に注目し、活量測定と溶体モデルにより熱化学的な性質を明らかにしてきた。一般的に精錬スラグでは液相をいかに生成させて反応速度を向上させるかについて議論されてきたが、本研究課題では脱硫反応と高合金鋼の溶製に関して積極的な固相の活用を検討した。

## 2. 研究の目的

本研究計画では素材生産・リサイクルに関連する高温乾式プロセスのうち、脱硫反応と高合金鋼の溶製において固相を積極的に活用することを目標に、スラグの設計・解析の基礎となる研究を行った。4つのテーマについてそれぞれ目的を記す。

### (1) 固相を用いた比較的低温における脱硫反応

酸化物の硫黄吸収能の指標であるサルファイドキャパシティは均一液相に適用され、高温での鋼中からの脱硫反応の解析に用いられている。一方、高炉で生産された銑鉄中の硫黄を除去する予備処理も広く行われるが、予備処理は比較的低温のため脱硫剤CaOは固体であり、利用効率を下げている。そこで研究代表者が塩素を極めて良く吸収する固相として見出したCaO- $Al_2O_3$ 系包接化合物を脱硫剤として使用することを検討するため、包接化合物のサルファイドキャパシティを測定し、均一液相や他の固相との比較を行った。また、金属Fe共存での酸化物のサルファイドキャパシティを測定する実験手法としてスラグ-メタル平衡法を確立することを目的に、Cu-S合金中のS活量係数に及ぼすFe添加の影響を明らかにした。CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO系のサルファイドキャパシティを測定し、脱硫・復硫反応の解析を行った。

### (2) クロム含有高合金鋼の溶製に向けた固相の熱化学的特性

ステンレス鋼で代表されるクロム含有高合金鋼を溶製する際、炭素を酸化除去しているが、同時にクロムも酸化されてしまう恐れがある。適切なスラグを設計してクロムロスを最小限に抑制すれば、省資源化のみならず環境負荷の低減にも貢献できる。スラグ中に取り込まれた酸化クロムは他の酸化物と化合してスピネル型化合物を生成することが知られている。またスピネル型化合物は高合金鋼中の介在物としても頻りに観察され、適切な処理が必要となる。本研究課題では脱炭反応でのクロムロス低減と介在物制御に資する基礎データを取得することを目的に、スピネル型化合物中の成分活量およびCaO-SiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系化合物のGibbsエネルギーを測定した。

### (3) 反応解析のための溶体モデル構築

実操業における精錬反応をシミュレーションにより理解するため、近年様々な反応モデルが考案されている。反応モデルに本研究成果を組み込むためには、適切な溶体モデルを用いて固相の熱化学的性質を記述する必要があり、本研究計画ではスピネル型化合物に適用する溶体モデルおよびシリケートネットワーク構造を考慮した液相スラグモデルを構築した。

### (4) 高温で使用可能な脱ハロゲン・脱硫材料の開発

高温でハロゲンガスや硫黄ガスが発生すると設備腐食や有害物質生成が問題となり、廃棄物の再資源化の際に対策が必要となる。CaO- $Al_2O_3$ 系包接化合物を応用し、有害ガスが発生したその場で吸収する材料の開発を目的に、金属微粒子を分散させた包接化合物薄膜を試作した。

## 3. 研究の方法

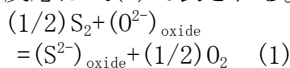
### (1) 固相を用いた比較的低温における脱硫反応

#### ① 包接化合物 $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$ のサルファイドキャパシティと硫黄の拡散係数

図1(a)に示すガス平衡法を用いた。実験温度範囲(1523K~1773K)の一定温度に横型電気抵抗炉を保持し、アルミナ反応管内に $Ar+H_2+CO_2+SO_2$ 混合ガスを流通させた。混合ガス中の初期分圧と温度を定めれば、反応管内の酸素分圧 $P_{O_2}$ と硫黄分圧 $P_{S_2}$ を制御することができ、熱力学平衡計算により各ガス分圧を算出した。酸化物料をPt皿に載せ、これをPtボートに載せた後、酸化物試料を反応管内の均熱帯に挿入した。実験温度で一定時間保持し、反応管内でガスと酸化物試料を平衡させた。Ni棒を操作して混合ガス気流中でPtボートを反応管の端部まで引き寄せ、酸化物試料を急冷した。JIS-M-8217「熱分解-ヨウ素酸カリウム滴定法」に準拠し、酸化物中の硫

黄濃度 ( $mass\%S$ ) を分析した。

酸化物中への  $S_2$  ガスの溶解反応は式 (1) で表される。



サルファイドキャパシティ  $C_{S^2}$  は次式で定義される。

$$C_{S^2} = (mass\%S) (P_{O_2}/P_{S_2})^{1/2} \quad (2)$$

## ② 金属 Fe 共存での酸化物のサルファイドキャパシティ

CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO 系スラグの  $C_{S^2}$  の測定に図 2 に示すスラグ-メタル平衡法を用いた。鉄るつぼ内に {Cu-Fe-S} 液体合金とスラグを入れ、1573K 及び 1673K で平衡させた。平衡酸素分圧  $P_{O_2}$  を酸素センサで測定した。合金中の硫黄濃度  $[mass\%S]_{Cu-Fe}$  を高周波誘導結合プラズマ発光分光分析法 (ICP) により、スラグ中の硫黄濃度  $(mass\%S)_{slag}$  を上述の滴定法により求めた。溶銅中への硫黄の溶解反応 (3) を考えれば  $[mass\%S]_{Cu-Fe}$  から  $P_{S_2}$  が求められ、式 (2) に代入して  $C_{S^2}$  を算出できる。



$$K(3) = f_S \times [mass\%S]_{Cu-Fe} / P_{S_2}^{1/2} \quad (4)$$

$K(3)$  は式 (3) の平衡定数、 $f_S$  は溶銅中の  $1mass\%S$  を標準状態とした合金中の S の活量係数である。

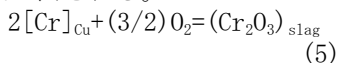
## (2) クロム含有高合金鋼の溶製に向けた固相の熱化学的特性

### ① CaO-SiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系の相平衡

図 1(a) の実験装置を用いた。ペレット状に形成した酸化物試料をモリブデン板上に載せ、Ar+H<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> 混合ガス気流中、1573K で加熱した。H<sub>2</sub> と CO<sub>2</sub> の初期分圧はそれぞれ  $2.50 \times 10^{-1}$  atm と  $1.67 \times 10^{-3}$  atm であり、このとき反応管内の酸素分圧は  $1.02 \times 10^{-15}$  atm である。約 100 時間加熱した後、試料を反応管内で冷却し、粉末 X 線回折 (XRD) に供した。回折パターンが変化しなくなるまで加熱・分析の操作を繰り返し、平衡相を得た。

### ② CaO-SiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系の Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 活量及び化合物の Gibbs エネルギーの測定

図 1(b) の装置を用い、1573K において Ar+H<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> 混合ガス気流中で溶融銅を酸化物るつぼと平衡させた。るつぼとして CaO、CaCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 及び CaSiO<sub>3</sub>+SiO<sub>2</sub> 混合物から作成したものを使用した。実験を記述する反応は次式で表される。



$$\log K(5) = \log a_{Cr_2O_3} - 2 \log a_{Cr} - (3/2) \log P_{O_2} \quad (6)$$

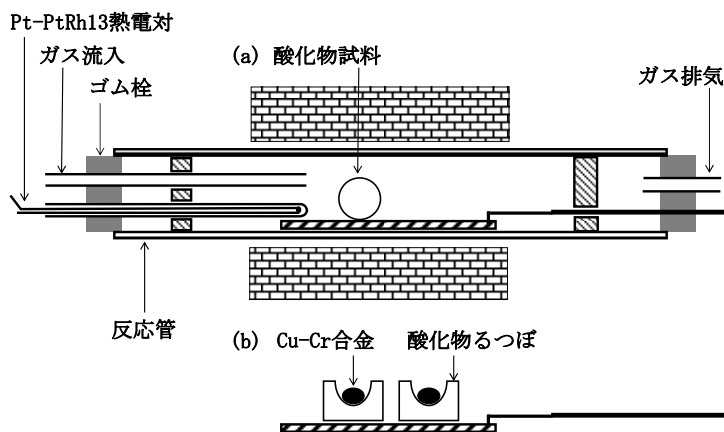


図 1 ガス平衡法の実験装置

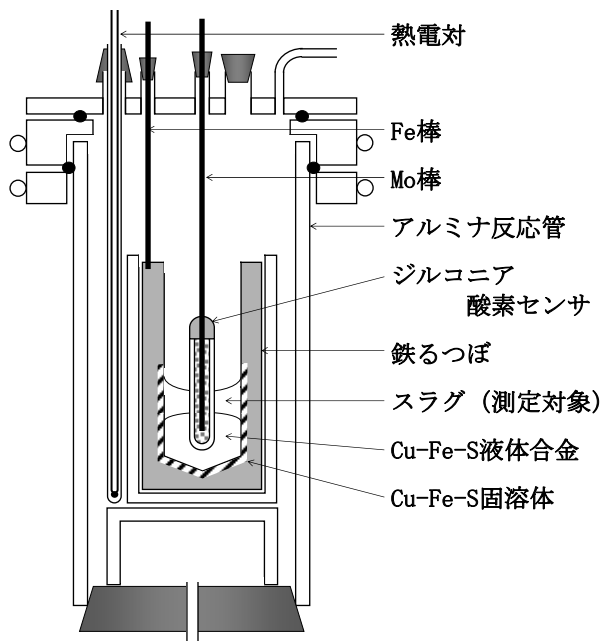


図 2 メタル-スラグ平衡法の実験装置

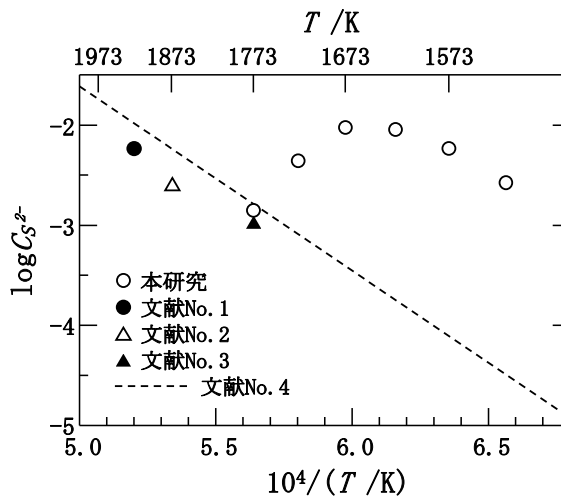


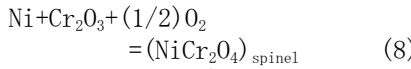
図 3 Ca<sub>12</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>33</sub> のサルファイドキャパシティと温度の関係

$$\begin{aligned} \log X_{Cr} &= -(3/4) \log P_{O_2} \\ &- (1/2) \log \gamma_{Cr} - (1/2) \log K(5) \\ &+ (1/2) \log a_{Cr_2O_3} \quad (7) \end{aligned}$$

$\gamma_{Cr}$  は Cu 中 Cr の活量係数である。式(7)は Ar+H<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> 混合ガスによって P<sub>O<sub>2</sub></sub> を制御した雰囲気下で酸化物と共存させた Cu 中の Cr 濃度 X<sub>Cr</sub> を分析することにより、1573K における Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 活量 a<sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub> が求められることを意味している。ICP により X<sub>Cr</sub> を求めた。

### ②スピネル型化合物の成分活量

図1(a)の装置を用い、酸素分圧 P<sub>O<sub>2</sub></sub> を制御した雰囲気中でスピネル型固溶体 (Ni, Mg)Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> を金属 Ni、純粋固体 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と平衡させた。実験を記述する反応は次式で表される。



$$K(8) = a_{NiCr_2O_4} / P_{O_2}^{1/2} \quad (9)$$

P<sub>O<sub>2</sub></sub> によりスピネル型固溶体中の NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 活量 a<sub>NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub></sub> が定まるため、NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 濃度を測定すれば活量と組成の関係が求められる。組成の定量評価には、(311)面の XRD 回折角と組成の関係を用いた。

### (3)反応解析のための溶体モデル構築

スピネル型固溶体は一般的に (A<sub>x</sub>B<sub>1-x</sub>)(C<sub>y</sub>D<sub>1-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub> で表され、次の仮定に基づくモデルを適用した。

- ・2価サイト同士、3価サイト同士、2-3価サイト間の原子対の結合エンタルピーは周囲の組成に依らず一定
- ・固溶体中の原子は各サイト内でランダム配置

混合のエンタルピー H<sup>M</sup>、混合のエントロピー S<sup>M</sup> は次式となる。

$$H^M = \Omega_x x(1-x) + \Omega_y y(1-y) \quad (10)$$

$$S^M = -R[x \ln x + (1-x) \ln(1-x) + 2y \ln y + 2(1-y) \ln(1-y)] \quad (11)$$

下記の仮定に基づき、液相スラグのシリケートネットワーク構造を考慮したモデルを構築した。

- ・酸素によって四面体が連なった主格子が形成
- ・四面体間隙の一部に Si がランダムに配置
- ・その他のカチオンがランダムに配置

### (4)高温で使用可能な脱ハロゲン・脱硫材料の開発

Ca<sub>12</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>33</sub> に蒸留水を加えたものをガラス板で挟み込み、余分な水分を蒸発させた。その後 1573K に加熱して焼成し、Ca<sub>12</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>33</sub> 薄膜を得た。

## 4. 研究成果

### (1)固相を用いた比較的低温における脱硫反応

図3に Ca<sub>12</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>33</sub> 包接化合物の C<sub>S<sup>2</sup></sub> と温度の関係を示す。同じ組成の液体スラグの文献値<sup>1-4)</sup>と比較し、固体 Ca<sub>12</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>33</sub> の硫黄吸収能は大きいことが明らかになり、低温脱硫の可能性が示され

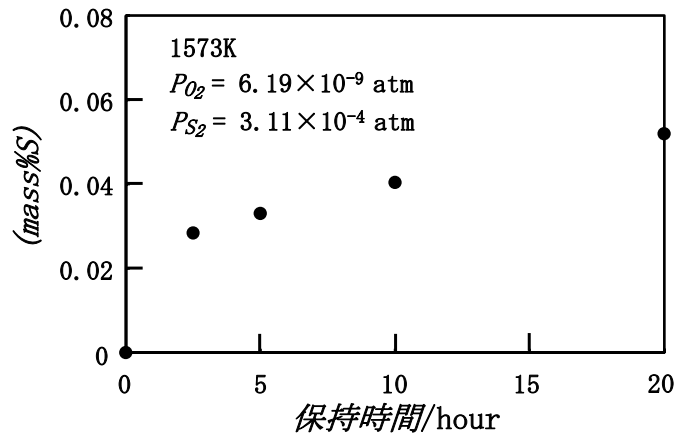


図4 平均粒径 6mm の緻密な球形 Ca<sub>12</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>33</sub> 中の硫黄濃度

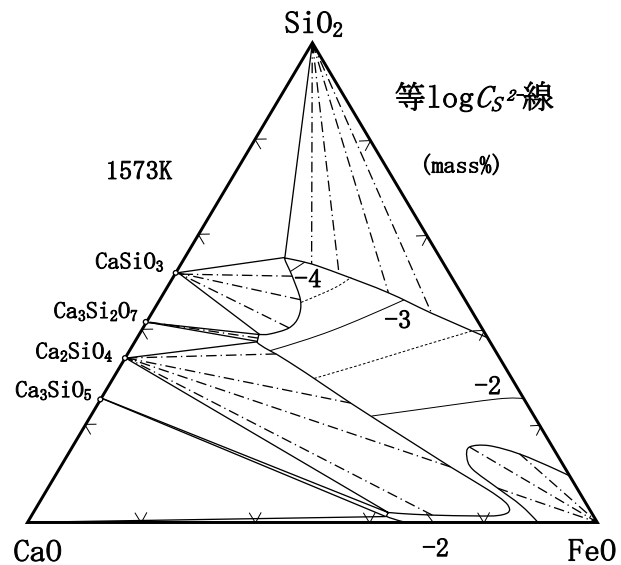


図5 1573K における CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO 三元系均一液相における等サルファイドキャパシティ線

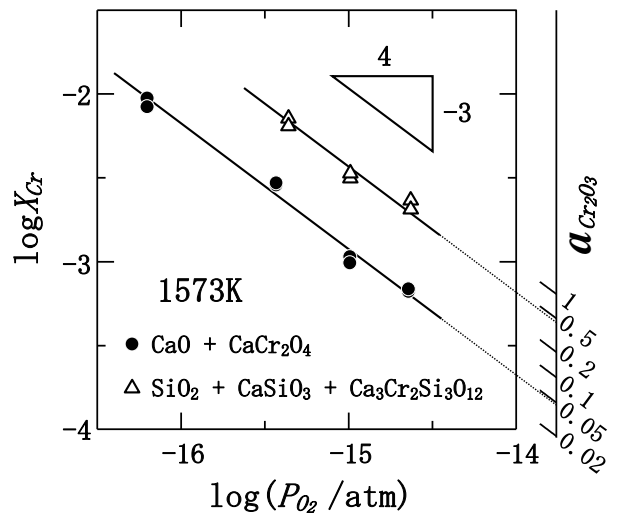


図6 1573K における Cu 中 Cr 濃度と酸素分圧の関係

た。

球形の  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$  に吸収された硫黄濃度と時間の関係 (図 4) を基に、球座標系の拡散方程式(12)を解き、拡散係数として  $D = 2.25 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{sec}$  を得た。

$$(\partial C/\partial t) = (1/r^2) \{ \partial [r^2 D (\partial C/\partial r)] / \partial r \} \quad (12)$$

拡散係数の値より包接化合物を約  $50 \mu\text{m}$  以下の粒径に微粉化すれば、1573K の低温でも 15 分程度で脱硫反応が十分に進行すると予想できた。

1573K における  $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{FeO}$  三元系での等  $C_{\text{Fe}}$  線を図 5 に示す。本実験手法では金属 Fe 共存下で測定できたため、Fe の価数はほとんど 2 価であり、塩基性酸化物の  $\text{FeO}$  濃度が上昇するほど  $C_{\text{Fe}}$  は増大した。

(2) クロム含有高合金鋼の溶製に向けた固相の熱化学的特性

$\text{Cu}$  中  $\text{Cr}$  濃度と  $P_{\text{O}_2}$  の関係を図 6 に示す。傾き  $-3/4$  の直線関係が得られ、式(7)より  $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$  は次のように求められた。

- $\text{CaO} + \text{CaCr}_2\text{O}_4$  二相共存領域

$$\log a_{\text{Cr}_2\text{O}_3} = -1.33 \quad (13)$$

- $\text{CaSiO}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  三相共存領域

$$\log a_{\text{Cr}_2\text{O}_3} = -0.35 \quad (14)$$

活量の測定値及び算出した化合物  $\text{CaCr}_2\text{O}_4$  及び  $\text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  の Gibbs エネルギーは、XRD 結果に基づく状態図 (図 7) と矛盾しなかった。

また、 $(\text{Ni}, \text{Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$  スピネル型固溶体中の成分  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$  の活量は Raoult 則より負に偏倚した。

(3) 反応解析のための溶体モデル構築

図 8 に液相スラグ中の  $\text{FeO}$  活量の実測値<sup>5-8)</sup>とモデル計算値の関係を示す。スピネル型固溶体及び液相スラグへ適用したモデルにより、活量の実測値を高精度に再現することができた。

(4) 高温で使用可能な脱ハロゲン・脱硫材料の開発

試作した  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$  薄膜の写真を図 9 に示す。酸化物薄膜には金属微粒子を分散させることも可能である。脱ハロゲン・脱硫材料の他、選択的ガス透過膜に応用できる可能性もあり、脱炭素社会構築に向けて研究を継続していきたい。

参考文献 1) F.D. Richardson and C.J.B. Fincham; *J. Iron and Steel Inst.*, 178(1954), 4.  
 2) H.-W. Fenzke; *Steel Res.*, 64(1993), 45.  
 3) R.A. Sharma and F.D. Richardson; *J. Iron and Steel Inst.*, 198(1961), 386.  
 4) D.J. Sosinsky and I.D. Sommerville; *Metall. Trans. B*, 17B(1986), 331.  
 5) K. Saito, Y. Oshima and M. Hasegawa; *ISIJ Int.*, 61(2021), 697.  
 6) S. Ban-ya, M. Hino and N. Yuge; *Tetsu-to-Hagané*, 71(1985), 853  
 7) E. Görl, F. Oeters and R. Scheel; *Arch. Eisenhüttenwes.*, 37(1966), 441  
 8) K. F. Fetters and J. Chipman; *Trans AIME*, 145(1941), 95.

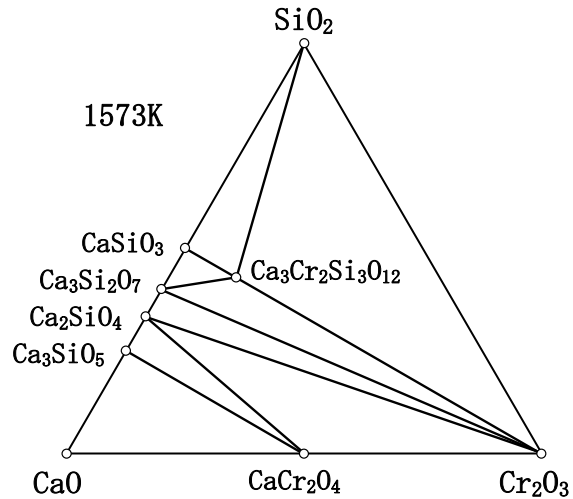


図 7  $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{Cr}_2\text{O}_3$  三元系状態図

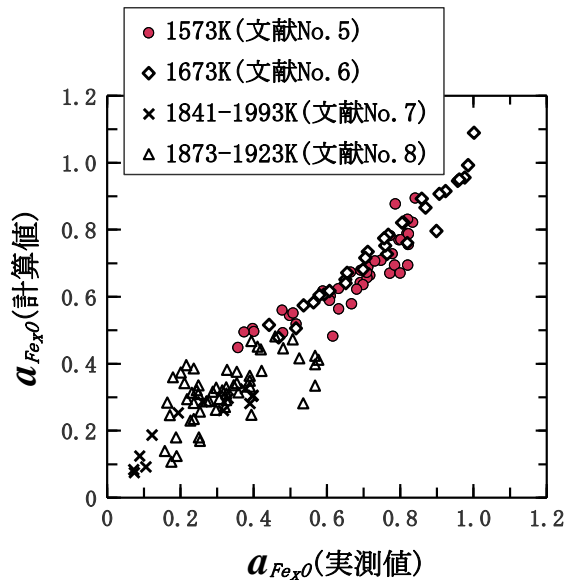


図 8  $\text{FeO}$  活量の实測値とモデル計算値の関係

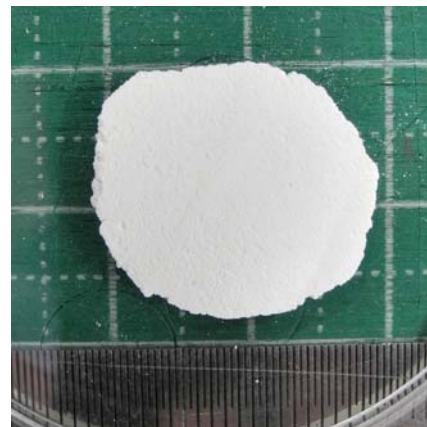


図 9  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$  薄膜の写真

## 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 Keijiro Saito, Yusuke Oshima, Masakatsu Hasegawa	4. 巻 61
2. 論文標題 Reevaluation and Measurements of FexO Activities in FexO-CaO-SiO <sub>2</sub> Pseudo-ternary System at 1573K	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 697,704
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2020-181	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 Kodai Iwahashi, Shuji Hashimoto, Ryohei Yamauchi, Keijiro Saito, Masakatsu Hasegawa	4. 巻 61
2. 論文標題 Phase Relationship and Activities of Components in CaO-SiO <sub>2</sub> -Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ternary System at 1573K	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 1404,1411
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2020-752	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 岩橋広大, 橋本修志, 山内遼平, 齋藤啓次郎, 長谷川将克	4. 巻 108
2. 論文標題 1573KにおけるCaO-SiO <sub>2</sub> -Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 三元系の相平衡関係と成分活量	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 -
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 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11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Masakatsu Hasegawa, Keijiro Saito, Yusuke Oshima
2. 発表標題 Solution models applied to estimate thermochemical properties of the CaO-SiO <sub>2</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -FexO dephosphorization slags at 1573K
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第178回秋季講演大会（国際セッション）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 光山童夢, 長谷川将克, 粟屋康介, 奥田大将
2. 発表標題 CaO-SiO <sub>2</sub> 系スラグのSulfide capacityに及ぼすFeO添加の影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第179回春季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤啓次郎, 長谷川将克, 大嶋祐介
2. 発表標題 脱リンスラグ中のFexO活量の測定と副格子モデル
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第179回春季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本修志, 岩橋広大, 長谷川将克
2. 発表標題 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含有酸化物の成分活量測定
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩橋広大, 橋本修志, 長谷川将克
2. 発表標題 CaO-SiO <sub>2</sub> -Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 系スラグ中の成分活量の測定
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 粟屋康介, 長谷川将克
2. 発表標題 CaO-SiO <sub>2</sub> -FeO三元系スラグのSulfide capacityとFeO活量
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 光山童夢, 長谷川将克
2. 発表標題 CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 系スラグのSulfide capacityに及ぼすCaF <sub>2</sub> あるいはFeO添加の影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 光山童夢, 長谷川将克, 粟屋康介, 奥田大将
2. 発表標題 CaO-SiO <sub>2</sub> 系スラグのSulfide capacityに及ぼすFeO添加の影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第180回秋季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤啓次郎, 長谷川将克, 大嶋祐介
2. 発表標題 1573KにおけるFexO-CaO-SiO <sub>2</sub> 三元系のFexO等活量線の再評価
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第180回秋季講演大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 長谷川将克, 岩橋広大, 橋本修志, 山内遼平, 齋藤啓次郎
2. 発表標題 CaO-SiO <sub>2</sub> -Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 系スラグおよびスピネル系介在物の成分活量の測定
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第181回春季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤澤彩夕, 光山童夢, 奥田大将, 粟屋康介, 長谷川将克
2. 発表標題 CaO-SiO <sub>2</sub> -FeO系スラグのSulfide capacity
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第181回春季講演大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

京都大学プロセス熱化学研究室ホームページ <a href="http://www.lupin.mtl.kyoto-u.ac.jp/index.html">http://www.lupin.mtl.kyoto-u.ac.jp/index.html</a>
---

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