

キーワード

高温材料プロセス、融体物性、副産物リサイクル、サーキュラーエコノミー

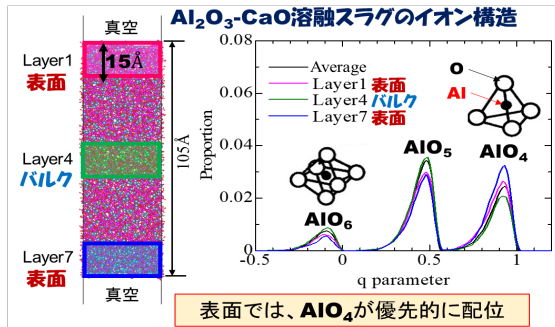
High temperature materials processing, Melt properties, Recycling of byproducts, Circular economy

研究内容

当研究室では、『持続可能な社会実現のためのメタラジ』の構築を目指して、以下に示す、素材製造プロセス工学に関する研究に取り組んでいます。

【1】高温融体の物性評価および物理モデル構築

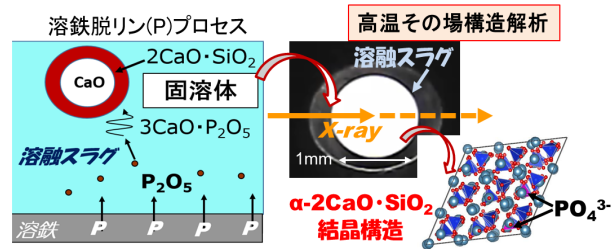
- 金属製錬など、高温の溶けた金属や酸化物(スラグ)を扱う材料製造プロセスでは、融体の物理的性質が、高品質化への支配的な要素となる。
- 特に、熔融スラグの表面張力は、ガス吹込みによるフォーミング(泡立ち)や、耐火物の溶損を支配する物性であるが、温度・組成に対する変化が複雑であり、正確な予測が難しい。
- 当研究では、熔融スラグの表面張力を決定づける、表面近傍のミクロなイオン配置の乱れ(表面緩和)を、放射光 X 線分光分析および分子動力学シミュレーションによって解明する。
- これまで、 Al_2O_3 、 SiO_2 や B_2O_3 を主成分に持つ熔融スラグに対して、表面へは特定のイオン構造が配位し、表面張力の支配要素となることを明らかにした[4][5]。今後は、 Fe_2O_3 、 TiO_2 など遷移金属成分の表面における振る舞いを解明するとともに、表面張力予測モデルの構築に取り組む。



【2】カーボンニュートラル鉄鋼製錬に対応した不純物除去プロセスの開発

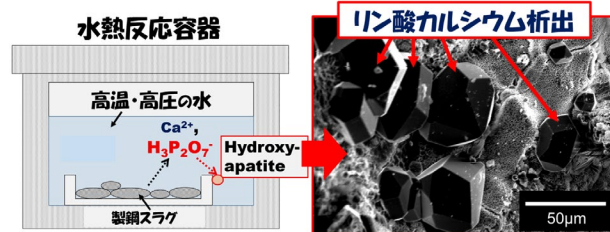
- 近年、鉄鋼材料の原料である鉄鉱石の劣質化が進み、リン(P)など不純物成分の濃度が増加している。
- また、脱炭素化へ向けた対策として、水素還元による新たな製鉄プロセスの開発が進んでいるが、炭素を含まない溶鉄からのリン除去には大きなエネルギー消費を伴う。したがって、カーボンニュートラル鉄鋼製錬にも対応する、高効率なリン除去プロセスの開発が必要である。
- 溶鉄脱リン操業では、リンを搾取するダイカルシウムシリケート($2CaO \cdot SiO_2$)が熔融スラグ中に晶出するが、結晶構造が不明である。当研究では、高温その場 X 線回折によって、熔融スラグから晶出した同化合物の結晶構造を明らかにした[1]。

- さらに、第一原理計算を用いた解析によって、リンを高濃度に固溶できる構造を持つ α 相を安定化させる添加元素を見出した[3]。今後は、水素還元による製鉄プロセスへ適用し、溶鉄からリンを高効率に濃縮除去する方法の開発を目指す。



【3】水熱反応によるスラグリサイクル方法の開発

- 製鉄プロセスからは副産物として多量のスラグが発生し、その利材化が課題となっている。
- 当研究では、高温・高圧の水を用いた水熱処理によって、スラグ中からリン成分を選択的に抽出し、ハイドロキシアパタイト($Ca_5(PO_4)_3OH$, HAP)として析出回収できることを見出した[2]。HAP は、肥料や人工骨・インプラント等の材料として活用が期待できる。
- 最近では、鉄鋼系企業と共同し、同手法を利用したスラグ中リン除去プロセスの実装化に向けた研究を推進中である。



最近の業績

[1] "Phase Identification of Crystal Precipitated from Molten $CaO-SiO_2-FeO_x-P_2O_5$ Slag by High Temperature *In-situ* X-ray Diffraction", Suzuki, M.; Serizawa, H.; Umesaki, N. *ISIJ Int.* **2020**, *60*, 2765-2772.

[2] "Phosphorus Extraction from Synthesized Steelmaking Slag by Hydrothermal Hydroxyapatite Precipitation", Suzuki, M.; Nishioka, S.; Murayama, N. *J. Sustain. Metall.* **2023**, *9*, 700-709.

[3] "Structure Design and Phase Stability Analysis of Ca_2SiO_4 -Based Solid-Solution Crystal in Molten Slag", Suzuki, M. *ISIJ Int.* **2024**, *64*, 2156-2166.

[4] "Surface ionic coordination of Al_2O_3-CaO -based molten slag induced by structural relaxation", Suzuki, M.; Asano, Y.; Ishii, Y. *J. Am. Ceram. Soc.* **2024**, *107*, 5624-5636.

[5] "Characterization of surface ionic arrangements of borate melts induced by structural relaxation", Suzuki, M.; Hasegawa, I.; Watanabe, T. *J. Am. Ceram. Soc.* **2025**, *108*, e70068. ([4], [5]は Editor's Choice に選出)

■ 鉄鋼技術賞 (鉄鋼環境基金 令和6年)

■ 科学研究費 基盤研究 (B) (令和7-10年度 1,430万円)