

金属中不純物元素の選択的除去



研究ノート

中里英樹*, 碓井建夫**

Selective Removal of Impurities in Metal

Key Words : Recycling of metals, Oxidizability, Impurities, Selective removal, Thermodynamics

1. はじめに

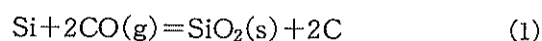
金属中に溶解している不純物を除去する方法として、酸化・還元平衡の差を利用した製錬が応用され、広く行われている。その一方で、近年母材リサイクル¹⁾が積極的に行われるようになり、合金元素やメッキ成分等が新たな不純物となり製錬プロセス上の問題となっている。また、都市廃棄物の処理へのパイロメタラジーの適用が議論され、高温熔融処理による廃棄物の減量、エネルギーの回収、さらには再資源化を目指した数多くの取り組みがなされている。これらのプロセスの開発・発展のためには、様々な溶解元素を含有した金属から、不要な元素のみを選択的に除去する方法を確立する必要がある²⁾。

金属中に溶解する不要な元素を選択的に除去するためのアプローチの例として、Fe-C-Si系を取り

上げる。Si, Cは製鋼プロセスにおける代表的な不純物であり、最終的にFe中から除去する必要があるが、排出スラグ量の極少化の観点から最初にSiのみを徹底的に除去することが望ましい。熔融Fe-C-Si合金中Si, Cはどちらも酸化により除去可能であり、それぞれの酸化反応は競合する。ここでは脱Cを抑制し、Siのみを選択的に除去する方法について考察する³⁻⁷⁾。

2. 溶鉄中Si, Cの酸化反応の平衡

熔融Fe-C-Si合金中Si, Cの酸化に関する反応式は(1)式で表される。



$\underline{\text{Si}}$, $\underline{\text{C}}$ はそれぞれ溶鉄中に溶解しているSi, Cを表す。脱Siを優先的に行うためには、発熱反応である(1)式を右に進めればよい。すなわち、以下の3つの方法が考えられる。

- 1) 温度を下げる
- 2) CO分圧を上げる
- 3) SiO_2 の活量を下げる

熱力学データ⁸⁾を用いて計算される溶鉄中SiとC濃度の関係に及ぼす、温度、 SiO_2 活量(a_{SiO_2})の影響をそれぞれ図1, 2に示す。図1は $a_{\text{SiO}_2}=0.1$ での関係、図2は1573Kでの関係であり、また図1, 2ともにCO分圧は $P_{\text{CO}}=1\text{atm}$ で計算した。図1より、低温ほど脱Si優先領域が広がり脱Si促進に有利であることがわかる。しかしながら、実プロセスにおいては融点より十分高温で処理を行う必要があるため限界がある。また図2より、 a_{SiO_2} はできる限り下げることが望ましい。 SiO_2 は酸性酸化物であるため、高塩基性スラグを用いてスラグ中に吸収させることにより、実際に a_{SiO_2} を下げる事が可能である。したがって、高塩基性スラグを用いれば優先的



*Hideki ONO-NAKAZATO
1968年11月生
平成8年東京大学大学院工学系研究科・金属工学専攻・博士課程修了
現在、大阪大学大学院・工学研究科・マテリアル応用工学専攻、助手、博士(工学)、反応プロセス制御工学
TEL 06-6879-7479
FAX 06-6879-7480
E-Mail nakazato@mat.eng.osaka-u.ac.jp



**Tateo USUI
1946年9月生
昭和44年大阪大学工学部冶金学科卒業、昭和49年同大学院工学研究科・冶金学専攻・博士課程修了
現在、大阪大学大学院・工学研究科・マテリアル応用工学専攻、教授、工学博士、反応プロセス工学、輸送現象論
TEL 06-6879-7477
FAX 06-6879-7478
E-Mail usui@mat.eng.osaka-u.ac.jp

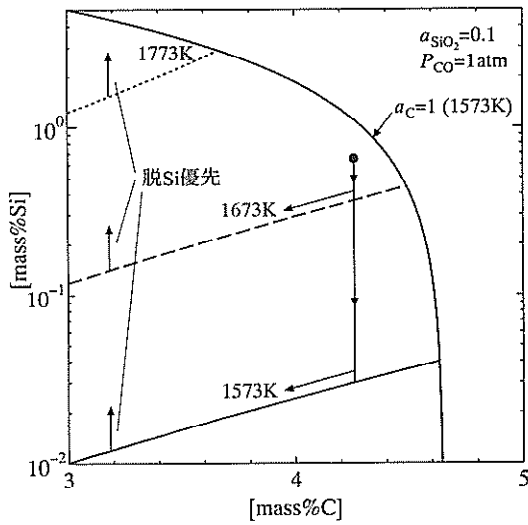


図1 Fe-C-Si合金中Siの酸化挙動に及ぼす温度の影響

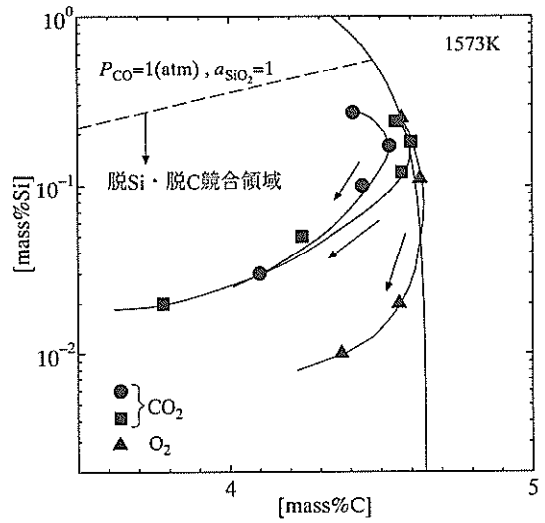


図3 酸化性ガス吹き込みによるFe-C-Si合金中Si, Cの酸化挙動

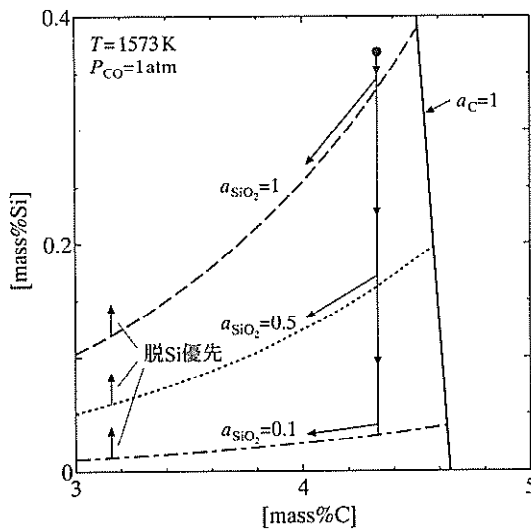


図2 Fe-C-Si合金中Siの酸化挙動に及ぼすSiO₂活量の影響

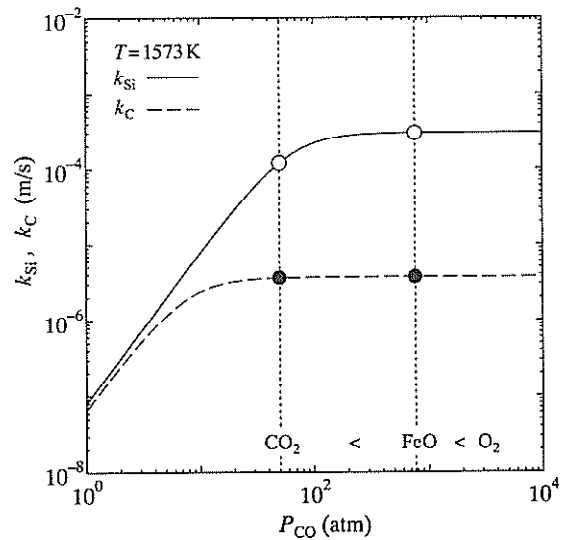


図4 脱Si, 脱C反応に対する総括の速度定数の酸化剤の酸化力(CO分圧)依存性

に脱Siを行うことは可能であるが、スラグ極少化の観点から、高塩基性スラグの使用はできるかぎり抑制するべきである。

3. Siの酸化挙動に及ぼす酸化剤の影響

脱Si用の酸化剤としては、酸化鉄及びO₂, CO₂等の酸化性ガスが考えられる。酸化力はO₂>FeO>CO₂>COである。1573Kにおいて、熔融Fe-C-Si合金中にO₂, CO₂を吹き込み、酸化挙動を調べた結果を図3に示す⁶⁾。O₂, CO₂吹き込みを比較すると、O₂吹き込みの方が優先脱Siに有利であることがわ

かる。この酸化挙動の違いは、酸化剤の酸化力が脱Si, 脱C挙動に及ぼす影響を考察することにより説明できる。脱Si, 脱C反応をメタル中物質移動と化学反応速度の混合律速と考え、メタル中Si, Cの物質移動係数、気-液界面における化学反応速度定数を実験結果から見積もった。その値を用いて計算したSi, Cそれぞれの総括の速度定数(k_{Si} , k_C)の酸化剤の酸化力(CO分圧)依存性を図4に示す。図4において、各酸化剤の酸化力は固体炭素($a_C=1$)と平衡するCO分圧を計算することにより比較できる。図4より、酸化力の弱い酸化剤(低 P_{CO})では、脱Si,

脱Cの総括の速度定数がほぼ等しく、強酸化剤(高 P_{CO})になるにつれ脱Siの総括の速度定数の方が大きくなるのがわかる。脱Si促進の観点からFeO、 O_2 を比較すると、どちらも酸化力は十分に大きい。そのため脱Si、脱C反応はそれぞれSi、Cのメタル中物質移動となり、総括の速度定数は同じ値をとると考えられる。以上より、脱Si、脱Cが競合する条件で脱Siを優先的に行うためには、FeO、 O_2 等の強酸化剤を用いるのが適している。

4. ま と め

金属中不純物元素を選択的に除去する方法を、Fe-C-Si系を例に取り上げ紹介した。酸化・還元平衡の差を利用した製錬は、金属中に溶解している不純物を除去する方法として古くから行われてきた。しかしながら、母材リサイクルの推進や都市廃棄物の高温溶融処理の確立のためには、様々な溶解元素が新たな不純物となりプロセス上の問題となるので、今後もさらなる発展が望まれている。これらのプロセスの開発・発展のためには、溶解している種々の元素に対して取り除きたい元素のみを選択的に除去し、その溶解元素濃度を制御できる方法を確立することが重要であり、多元系における応用が今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) 徳田昌則：「廃棄物の溶融処理技術とスラグの有効利用」, エヌ・ティー・エス, (1996), pp.1-27.
- 2) 中里英樹, 平井大介, 碓井建夫：高温学会誌, Vol.26, (2000), pp.139-144.
- 3) H.Ono-Nakazato, Y.Morita, K.Tamura, T.Usui and K.Marukawa：Proc. Inter. Conf. on Steel and Society 2000, Osaka, Japan, ISIJ, (2000), pp.125-128.
- 4) H.Ono-Nakazato, Y.Morita, K.Tamura, T.Usui, and K.Marukawa：Proc. ASIA Steel Inter. Conf. 2000, Beijing, China, Vol.C, The Chinese Society for Metals, (2000), pp. 74-79.
- 5) H.Ono-Nakazato, Y.Morita, K.Tamura, T.Usui and K.Marukawa：ISIJ Inter., Vol.41, (2001), Supple., pp.S61-S65.
- 6) 原 茂太, 中里英樹, 田口謙治, 碓井建夫, 丸川雄浄：日本学術振興会, 製鋼第19委員会反応プロセス研究会, 第24回研究会資料, 19委-11897, 反応プロセスII-78, (2001), pp.1-11.
- 7) 丸川雄浄, 中里英樹, 碓井建夫：日本学術振興会 製鋼第19委員会「環境調和型新製鉄プロセスに関する研究」(2001), pp.221-227.
- 8) 製鋼反応の推奨平衡値, 日本学術振興会製鋼第19委員会編, 東京, (1984).

