

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	高被還元性焼結鉱の鉱物相、形態及び成分に基づいた設計指針
Title(English)	Designing of Iron Ore Sinters with High Reducibility from the Perspective of Mineral Phases, Morphologies and Chemical Compositions
著者(和文)	蔡 帛原
Author(English)	Cai Boyuan
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10946号, 授与年月日:2018年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:林 幸,須佐 匡裕,史 蹟,木村 好里,上田 光敏
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10946号, Conferred date:2018/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		Cai Boyuan	
		氏名		職名		氏名	職名
論文審査	主査	林 幸		准教授	審査員	上田 光敏	准教授
	審査員	須佐 匡裕		教授			
史 蹟			教授				
木村 好里			教授				

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Designing of Iron Ore Sinters with High Reducibility from the Perspective of Mineral Phases, Morphologies and Chemical Compositions」と題し、7章から構成されている。

Chapter 1「Introduction」では、高炉のCO<sub>2</sub>排出量削減を目的とした水素還元による低コークス比操業において、コークス層の薄層化、あるいは鉱石層の厚層化による炉下部での著しい通気性悪化が懸念されており、高炉の軟化融着帯での通気性確保による操業の安定性が求められているが、炉内の通気性改善のためには高被還元性焼結鉱を用いるべきであり、その製造のための設計指針を提示する必要があると指摘している。また、焼結鉱の被還元性に及ぼす因子として鉱物相とその形態及び化学組成があげられるが、既往の研究の多くは、実機焼結鉱を用いた質量分析による900°C等温還元実験であるため、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からFeへの逐次還元反応の各段階への各因子の影響が明確化されておらず、また、高炉の温度とガス雰囲気も模擬されていない。そのため、被還元性に及ぼす上記因子の影響を、実機焼結鉱及び均一組織を持つ模擬焼結鉱を用いた高炉模擬雰囲気下での高温X線回折(高温XRD)による還元実験により解明することが重要であると指摘し、本研究の意義と目的について述べている。

Chapter 2「Factors Dominating the Reducibility of Practical Iron Ore Sinters」では、5種類の実機焼結鉱について高温XRDによる還元実験を行い、被還元性の指標であるFeの生成時間と組織写真の画像解析で求めた焼結鉱の構成相であるFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>相、SiO<sub>2</sub>及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を固溶した4元系カルシウムフェライト(SFCA)相(針状及び柱状)、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>相及びスラグ相の4相(5種類)の体積割合を比較している。その結果、被還元性は、従来の報告通りFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>相とSFCA相の体積割合の和の増加とともに良好となるが、その他にFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>相とSFCA相の割合、SFCA相の形状(針状と柱状)の違い及びFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>相中のMgO固溶量にも依存し得ると考察している。

Chapter 3「Reducibility of Wüstite and Calcio-wüstite in Terms of High Temperature X-ray Diffraction Analysis」では、Chapter 2で用いた5種類の実機焼結鉱及びFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>鉱石について高温XRD測定を行い、FeO(200)ピークをPseudo-Voigt関数でフィッティングすることにより、還元過程でのFeO(200)ピークの2θの経時変化を求め、それぞれSFCA相とFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>相の還元生成物であるカルシオウスタイト(CW)とウスタイト(Fe<sub>1-x</sub>O)のFeへの被還元性を比較している。ここで、CWとFe<sub>1-x</sub>Oの総称をFeOとするが、FeOは鉄イオンが欠損した不定比性化合物である。一方、高炉の熱保存帯を模擬した1000°C等温保持中、Fe共存である場合には、2θはFeOの不定比性や熱膨張に依らずFeO中の脈石成分(主にCaO)濃度によってのみ変化する。その条件下での還元過程に、2θが低角度側にシフトする、すなわちFeO中の平均CaO濃度が増加することから、CWよりもFe<sub>1-x</sub>Oの方が先にFeに還元されると結論している。

Chapter 4「Comparison between Reducibility of Columnar SFCA with Slag and Acicular SFCA with Fine Pores」では、周囲をスラグで覆われたφ10 μm×60 μm程度の柱状SFCAと、空隙を有する幅1 μm程度の針状SFCAの2種類の均一組織を持つ試料を原料鉱石粉及び試薬から合成し、高温XRDによる還元実験及び還元過程における急冷試料の組織観察・定量分析を行うことにより、SFCAの被還元性に及ぼす形態及び固溶脈石成分濃度の影響を調査している。その結果、形態を維持したままSFCAからCWに還元されること、柱状SFCA試料よりも針状SFCA試料の方がCW中の脈石成分濃度が高いにもかかわらず高被還元性であることを明らかにし、CWの被還元性への影響はCW中のFeO活量よりも還元ガスとの接触界面積の方が大きいと考察している。

Chapter 5「Effect of MgO Concentration on Reducibility of Magnecio-ferrite and Magnecio-wüstite」では、10 mass%、12 mass%及び15 mass%のMgOを固溶するFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(マグ

ネシオフェライト)を合成し、高温 XRD による還元実験及び還元過程中からの急冷試料の組織観察・定量分析を行うことにより、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ の被還元性に及ぼす  $\text{MgO}$  固容量の影響を調査している。その結果、 $\text{MgO}$  固容量が増加するに従い、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  から  $\text{FeO}$ 、 $\text{FeO}$  から  $\text{Fe}$  への被還元性がともに悪化することを明らかにしている。

Chapter 6「Guidelines for Designing Iron Ore Sinters with High Reducibility」では、Chapter 2において考察した、実機焼結鉱の被還元性における  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  相と SFCA 相の割合、SFCA 相の形状(針状と柱状)の違い及び  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  相中の  $\text{MgO}$  固容量の依存性が、Chapter 3~5の結果により支持されること、Chapter 3とChapter 4の結果の比較から被還元性が針状 SFCA >  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  > 柱状 SFCA の順番で良好であることを結論し、高被還元性焼結鉱の設計指針として、幅  $1\ \mu\text{m}$  程度の針状 SFCA 組織を増やしかつ空隙を 12%以上導入することにより還元ガスとの接触界面積を増やす組織を形成すること、脈石成分をスラグ相に賦存させ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  相、SFCA 相及び  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  相中の脈石成分濃度を下げ酸化鉄活量を上げることの2点を提言している。

Chapter 7「Conclusions」では本論文で得られた結果を総括している。

以上を要するに、本論文は、焼結鉱の被還元性に及ぼす鉱物相、形態及び組織の影響を調査し、針状 SFCA >  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  > 柱状 SFCA の順番で被還元性が良好であること、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  相中の  $\text{MgO}$  濃度が 0~15 mass% の範囲では  $\text{MgO}$  濃度が増加するに従い各還元段階で被還元性が悪化することを明らかにしたことにより、高炉の  $\text{CO}_2$  排出量削減のための低コークス比操業において、炉下部での通気性改善が見込める高被還元性焼結鉱の設計指針を提示したものであり、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。