



Title	環境に配慮した高炭素溶鉄からの脱珪、脱リンおよび脱銅精錬に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	内田, 祐一
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	乙第6919号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55605
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yu-ichi_Uchida_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 内田 祐一

審査担当者 主 査 教 授 鈴木 亮輔
 副 査 教 授 岩井 一彦
 副 査 教 授 秋山 友宏
 副 査 客員教授 岸本 康夫

学位論文題名

環境に配慮した高炭素溶鉄からの脱珪、脱リンおよび脱銅精錬に関する研究
(Study on Environmentally-Friendly Refining of Silicon, Phosphorus and Copper from Molten Iron
with High-carbon Content)

日本鉄鋼業の製鋼技術の主要課題が量的拡大から高品質、省エネルギー、副生物低減へと転換したことに伴い、転炉以外の工程にも精錬機能を分化した分割精錬プロセスが採用されてきたが、高炭素溶鉄 (溶鉄) 段階で精錬処理を行う溶鉄予備処理工程の歴史は浅く、その学理の拡充が待たれている。本論文は、高炉-転炉鋼の製造において、環境に配慮しつつ効率的に溶鉄中の除去対象成分である珪素、リン、銅のスラグ精錬を行うための基礎的指針を述べたものである。

第 1 章では、鉄鋼業を取り巻く環境の変化と精錬プロセスの変遷を述べ、溶鉄予備処理操作の重要性を示した。さらに溶鉄段階での珪素、リン、銅の精錬除去のプロセス原理と課題を示し、本研究の目的を示した。

第 2 章では、溶鉄脱リンスラグの基本系として $CaO-SiO_2-Fe_xO_3$ 元系スラグおよび $CaO-SiO_2-Al_2O_3-Fe_xO_4$ 元系スラグを取り上げ、脱リン反応の支配因子である Fe_xO 活量をジルコニア固体電解質を用いた電気化学的手法で評価した。溶鉄脱リン操作の温度域の 1200 ~ 1400 °C でスラグは固相と液相が共存することを勘案し、上記 3 元系では 2 固相 + Fe_xO 含有液相が共存する組成のスラグ、上記 4 元系では 3 固相 + Fe_xO 含有液相が共存する組成のスラグを対象とした。共通の複合酸化物 ($CaO-SiO_2$ 複合酸化物) を有する 3 元系及び 4 元系スラグの比較から、 Al_2O_3 を含む 4 元系の方が液相中 Fe_xO 濃度が低位であり、 Fe_xO 活量も低いことを示した。これにより固液共存脱リンスラグの組成と Fe_xO 活量の基礎的な関係を系統的に把握でき、スラグ組成設計に資する基礎的知見が獲得された。

第 3 章では、固液共存の多成分系実機溶鉄脱リンスラグを対象とし、前章の手法で Fe_xO 活量を評価して CaF_2 の及ぼす影響を把握した。既往研究の均一液相スラグでは CaF_2 添加で Fe_xO 活量が上昇するのに対し、本研究の高 CaO 組成の固液共存スラグでは逆の傾向が認められ、 $X(Fe_xO)/X(CaF_2)$ が大きいほど Fe_xO 活量は高くなった。固液共存スラグでの CaF_2 添加は液相中の Fe_xO の希釈を招き、 Fe_xO 活量の低下が生じることを状態図と関連づけて明らかにした。実機固液共存スラグでは、多種成分の存在でさらに液相中の Fe_xO が希釈されやすいが、操業技術の改善等で Fe_xO 濃度を高めて高 Fe_xO 活量のスラグにすれば、環境負荷の高い CaF_2 を使用せずに溶鉄脱リンを行えることを示した。前章の結果と合わせて、 CaF_2 不使用での溶鉄脱リン処理の熱力学的指針を示した。

第4章では、溶銑脱リン精錬の事前処理としての溶銑脱珪法に関し、溶銑流を巡回させて脱珪スラグと溶銑の混合を増大させて脱珪反応効率の向上を図った。流体を漏斗形状の容器に導入して旋回流(渦流)を形成させることを想起し、水モデル実験で旋回流の形成状況と攪拌作用を調査し、スワール数を用いて好適巡回条件を整理した。さらに5トン規模の溶銑を用いて高炉鑄床の脱珪処理を模した実験を行い、溶銑に巡回を付与することで脱珪量が増大することを確認した。本実験の反応系の詳細な解析から、特に脱珪剤中の Fe_xO 濃度が低位で脱珪反応がスラグ中 Fe_xO の移動律速となる状況において、旋回流の付与により反応が顕著に促進されることを明らかにした。これにより溶銑処理プロセスにおける反応促進の新たな手法が提示された。

第5章では、市中鉄スクラップの鉄源利用及びそれに伴う省エネルギーを推進するための銅の実用的除去方法として、 Na_2CO_3-FeS フラックスによる溶銑からの硫化脱銅挙動を基礎的に明らかにした。既往研究での Na 源の Na_2S は潮解するなど不安定だが、 Na_2CO_3 は工業原料として安定でかつ安価であり、本研究で採用した。小型溶解炉実験で Na_2CO_3-FeS フラックスを溶銑に添加すると直ちにスラグが形成されて脱銅反応が進行し、実用的に満足できる脱銅量を得られることを確認した。また上記スラグの脱銅能(銅分配比)について、溶銑成分や温度の影響を明らかにし、さらにスラグの構造と関連づけて理解を深めた。これらの結果は、スクラップ溶解溶銑からの脱銅処理の実用化への端緒となるものである。

第6章では、各章で得られた基礎的知見に基づき、溶銑からの珪素、リン、銅の除去操作について工業的実用化を念頭に置いた実機もしくはパイロット規模での試験を行った結果を示した。

以上、本研究で得られた知見は、我国鉄鋼業の解決すべき重要な課題への技術的対処指針を与えるものである。ここで明らかにした溶銑脱珪、脱リン、脱銅を効果的に行うための熱力学的及び速度論的条件を、操業技術の進歩に合わせて実現していくことで、高効率で、副生物が少なく環境に配慮した精錬操業が確立されると期待される。