



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Massive Injection of Auxiliary Reducing Agent at Blast Furnace for the Sustainable Development [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	村井, 亮太
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12451号
Issue Date	2016-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/63325
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Ryota_Murai_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 村井 亮太

審査担当者 主 査 教 授 秋山 友宏
副 査 教 授 鈴木 亮輔
副 査 教 授 橋本 直幸
副 査 准教授 坪内 直人 (総合化学院)
副 査 准教授 能村 貴宏

学位論文題名

Massive Injection of Auxiliary Reducing Agent at Blast Furnace for the Sustainable Development
(持続可能な発展を目指した高炉への補助還元材多量吹込み)

現在、日本鉄鋼業においては 1 次エネルギーの 10% が消費されている。高炉において酸化鉄を還元するため主としてコークスが使用され、補助還元材として微粉炭、廃プラスチック、天然ガス等が羽口吹込みにより使用されている。これらの補助還元材は、コークスに比較して水素の含有率が高い。補助還元材の使用量増により水素還元を促進し製鉄所からの二酸化炭素排出を抑制することで、持続可能社会を構築する一助となると推定される。

さらにほとんどの資源を輸入に頼る我が国において、廃プラスチックを有効利用し、循環型社会を構築することは極めて意義が大きい。

補助還元材の使用量を増大し、製鉄所から発生する二酸化炭素を抑制するための技術開発課題は以下のとおりである。

- 1) 微粉炭の燃焼性の改善
- 2) 高炉に吹込まれた廃プラスチック粒子の移動・蓄積挙動の解明と、最適吹込み条件の提言
- 3) 高速燃焼に必要な純酸素の新規製造技術の確立
- 4) 補助還元材の多量吹込み時に顕在化する炉体熱負荷増大に耐えうる新規炉体冷却技術の開発
- 5) 要素技術の統合による二酸化炭素排出削減効果の最大化

本学位論文は上記の技術課題を解決するためになされたもので、全 7 章から構成される。

第 1 章は緒論であり、まず最近の地球温暖化問題に関する動向を述べ、鉄鋼業界においてなすべき課題を整理した。次に、上記課題についての従来技術を整理するため、気・液・固体の補助還元材吹込み技術、従来の酸素製造技術および従来の高炉の炉体冷却技術に関しレビューを実施した。最後に本論文の目的と内容について記載した。

第 2 章では、微粉炭多量吹込みのための分散強化型 (convergent – divergent type) 吹込みランスを新規に提案した。微粉炭粒子の分散を強化し、酸素との接触を促進するための補助還元材吹込みランスに関する研究は従来から散見されるが、ランス先端部に縮流部を設け、固体 (微粉炭) 粒子の慣性を利用して縮流部の外周に固体粒子の偏析を生じさせ、拡大管部にて外周に偏在した粒子の分散を強化するランスの提案は初めての試みである。流体力学に基づく考察と基礎実験によりランスの構造の最適化を実施し、大型高炉での実機試験結果について述べた。

第 3 章では、廃プラスチックを高炉還元材として多量かつ安定的に使用するために、炉内に吹込

まれた廃プラスチック粒子の移動・蓄積挙動を明確化した。高炉内におけるプラスチック粒子の挙動については、従来、単一粒子のガス化挙動の研究等に関するごく一部の報告があるのみで、炉内部における移動・蓄積挙動に関する研究はほとんど見られなかった。本章では、はじめに高炉内雰囲気を模した高温暴露実験や、熱重量分析等の基礎試験によりその高炉内におけるガス化挙動を推定した。それらの知見を基に、数値解析によりプラスチックの炉内移動挙動を明確化することができた。プラスチック粒子が炉内の特定部位に蓄積すると、流動性の悪いスラグが形成され、安定的な操業が阻害される。安定操業継続のために望まれるプラスチック粒子の初期粒径を明らかにした。

第4章では、補助還元材の燃焼ガス化を促進するために必要な純酸素の製造方法に関して検討した。酸素吸蔵能力に優れたブラウンミラーライト型化合物 Ca_2AlMnO_5 を燃焼合成法により生成する際の最適条件を明確化した。試作した Ca_2AlMnO_5 の酸素吸蔵量は 3.0wt% に達し、従来材と比較して十分に大きな値であった。これは酸素分離設備の小型化に有利となる。また、燃焼合成後の前駆体にわずか1分の熱処理 (1250 °C) を加えることで単一相の Ca_2AlMnO_5 が得られた。これまでの共沈法や固相合成法に比較して極めて短時間での合成が可能であり、高純度の Ca_2AlMnO_5 を高速かつ省エネルギーで製造することが可能である。また、結晶粒の成長に伴い酸素吸蔵能が向上することを明らかにした。

第5章では、補助還元材の多量吹込み時に顕在化する炉体への熱負荷増大に対応した新規冷却板 (Cooling Stave: CS) の開発について述べた。従来は CS の材質として鋳鉄が一般的に使用されていたが、冷却能に優れた鋳造銅製の CS を開発し、耐熱性および耐摩耗性向上を達成した。有限要素法を用いた最適設計の結果によれば、CS 本体の最大温度、最大熱応力値はそれぞれ鋳造銅製 CS では鋳鉄製 CS に対して 1/3, 1/6 となり、熱負荷軽減による長寿命化が期待できた。実機への適用試験の結果、炉内を滴下する溶融スラグが CS 表面で冷却され断熱保護層を形成するため鋳造銅製 CS の熱損失は鋳鉄製 CS と同等であり、損耗速度も大きく減少することが明らかとなった。一方、圧延銅製の CS と鋳造銅製 CS を比較すると、鋳造時の流動性を確保することを目的に微量の不純物を添加する鋳造銅製 CS は、熱伝導率でわずかに劣る。しかし、その冷却能は実質的に同等であり、設計の自由度や加工性の良さを考慮すると鋳造銅製 CS の方が有利と考えられた。

第6章は、いくつかの要素技術を組合せ、製鉄所排出二酸化炭素を最小化するための革新的高炉プロセスを提案した。固体還元材の燃焼ガス化を強化するため、前述の分散強化型ランスに加え、粒径の異なる複数の固体還元材の同時吹込みや気体還元材と固体還元材の同時吹込みを提案し、実験および数値解析により効果を検証した。さらに炉頂ガス循環や高炉の低温操業等の低還元材操業技術を組み合わせて、二酸化炭素排出抑制効果を最大化した。熱物質収支による解析の結果、CCS(Carbon Capture and Storage) を実施した場合、最大 86% の二酸化炭素排出抑制が可能であると試算された。

第7章は、これらのまとめとして結論を記述した。

これらの結果を通して、製鉄所から発生する二酸化炭素を抑制するための技術の実現可能性を明らかに示しており、材料科学、反応工学および熱流体工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があると認める。