# 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 24 日現在

機関番号: 37112 研究種目: 若手研究(B) 研究期間: 2016~2017

課題番号: 16K16213

研究課題名(和文)リンおよびマンガンの代替資源獲得を実現する製鋼スラグのマルチ・リソース化

研究課題名(英文)Multi-resourceization of steelmaking slag for achieving alternative resources of phosphorus and manganese

#### 研究代表者

久保 裕也 (Kubo, Hironari)

福岡工業大学・工学部・准教授

研究者番号:90604918

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文): 鉄鋼産業の副産物である製鋼スラグには、リン、マンガン、金属鉄の細粒が豊富に含まれている。本研究では、製鋼スラグからこれらの成分を様々な資源(マルチ・リソース)として回収すると共に、スラグ排出量の大幅な削減を実現する高度資源化プロセスの開発を目指した。電気パルス粉砕実験を行った結果、製鋼スラグを構成するリン濃縮相、鉄マンガン酸化物相、金属鉄の境界面で選択的に破壊が起こり、一度の粉砕重量が多いほど省エネルギーであった。高勾配磁気分離装置を用いて粉砕粒子の分離実験を行い、相互分離に適した条件を見出した。

研究成果の概要(英文): Steelmaking slag, which is a by-product generated in steel industry, contains lots of phosphorus, manganese and fine metallic iron particles. In this research, we aimed to recover these components from steelmaking slag as various resources i.e. multi-resource and to develop a highly advanced resource recycling process that realizes a significant reduction of slag emissions. As a result of the electrical pulse disintegration experiments, destruction occurred selectively at the interface of the phosphorous concentrated phases, iron manganese oxide phases and fine metallic iron particles constituting the steelmaking slag, and the larger the pulverizing weight, the more energy saving was achieved. The separation experiments of pulverized particles were carried out using a high gradient magnetic separator, and conditions suitable for mutual separation were found.

研究分野: 金属製錬

キーワード: 製鋼スラグ 選択粉砕 磁気分離 リン マンガン

#### 1.研究開始当初の背景

- (1) 鉄鋼製錬の製鋼工程は溶鉄中の不純物を除去することが目的であり、その副産物とかる有価成分を豊富に含む製鋼スラグが発生する。世界スラグが発生する。世界スラグが発生する。世界スラグが発生するも、当場の大国である日本で発生するもので発生するもので発生である。と見積もられている。では、製鋼スラグは粗粉砕して、製鋼スラグは粗粉砕して、製鋼スラグは粗粉砕して、製鋼スラグの発生量、排出量削減や新規用途の開拓が求められている。
- (2) 製鋼スラグはミクロ的に観察するとリン 濃縮相、鉄マンガン酸化物相、金属鉄の細粒から主に構成される(図1)。したがって、原理的には製鋼スラグを微粉砕して各相に分離すれば、リン濃縮相はリン原料として、鉄マンガン酸化物相は製鉄原料(例えば焼結、フェロマンガン)として、金属鉄の細粒はそのまま製鋼工程で利用可能と考えられる。・リンース)として活用できると同時に、スラグ排出量の大幅な削減が実現するはずである(図2)。

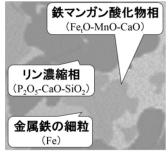


図1 製鋼スラグの構成相

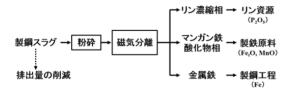


図2 製鋼スラグの構成相

(3) 採択者らは、磁気分離法を用いて製鋼スラグに含まれる反磁性のリン濃縮相と常磁性の鉄マンガン酸化物相を分離することを過去に提案した(引用文献 。リン濃縮相と鉄マンガン酸化物相から構成される模擬スラグを粒径 32μm 以下に粉砕し、採択者が開発した旋回式磁気分離装置を用いることをによって両相を高精度で分離できることを示した。しかし、現場で発生する製鋼スラグ

は凝固速度が比較的速いため各濃縮相が小さく、一般的な粉砕機で各相の単独粒子が十分に生成するまで粉砕することは困難であった。

# 2. 研究の目的

- (1) 製鋼スラグに含まれるリン濃縮相、鉄マンガン酸化物相、金属鉄の細粒は不定形が多く、従来の粉砕法で各相の単独粒子を多く得るためには大量のエネルギーを投じて極力細かく粉砕する必要があった。本研究では、各相界面での選択粉砕が期待される電気パルス粉砕法を製鋼スラグに適用し、その最適条件を明らかにした。
- (2) 磁性粒子は微細になるにつれ磁性体含有量が少なくなるため、作用する磁気力が小さくなり、磁着しにくくなる。そこで、従来の研究より作用する磁気力が高い流通式の高勾配磁気分離を作製し、スラグ粉砕粒子の分離における最適条件を明らかにした。
- (3) 当初計画では、製鋼スラグを対象としていたが、鉄鋼製造に欠かせない使用済み耐火物、今後使用量が増加する低位品位の高リン鉄鉱石の活用についても本研究の手法が応用できると考え、追加検討した。

### 3.研究の方法

- (1) 電気パルス粉砕法を製鋼スラグに適用し、 粉砕に及ぼすスラグの組成、電圧、極間距離、 周波数、照射回数、エネルギー、粉砕重量な どの影響を調査した。粉砕サンプルは ICP 発 光分光分析、磁化測定、3D レーザー顕微鏡 観察、粒度分布測定、EPMA などによって分 析を行った。
- (2) 超伝導マグネット内にステンレスメッシュを配置した流通式の高勾配磁気分離を作製し、スラグ粉砕粒子の分離におよぼす粒度、流束、メッシュ径、磁場強度、流通回数などの影響を詳細に調査した。
- (3) 耐火物をスラグ侵食させた模擬サンプルを作製し、電気パルス粉砕による侵食部の効率的な除去について検証した。高リン鉄鉱石の弱還元生成物は、製鋼スラグと類似の金属鉄、リン濃縮相、酸化鉄含有相から構成される。そこで、高リン鉄鉱石の弱還元生成物を対象として本研究と同様の手法で相互分離を試みた。

#### 4. 研究成果

(1) 製鋼スラグの電気パルス粉砕実験を行った。従来の粉砕法と異なり、製鋼スラグを構成するリン濃縮相、鉄マンガン酸化物相、金属鉄の細粒の単体粒子が効率的に生成し、電気パルス粉砕の選択性が有効に作用したことが確認された(図3)。

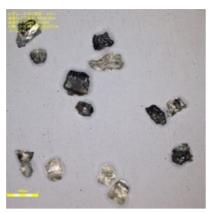


図3 電気パルス粉砕で得られた製鋼スラグ 粉砕粒子の外観

スラグの組成、電圧、極間距離などを変化させたが、粉砕初期を除き粉砕状況の明確な差異は確認されなかった。この結果は、粉砕量を増加させても粉砕効率が低下しないことを意味し、省エネルギー、大量処理を指向する操業に有利な粉砕法であることを意味する。

- (2) 超伝導マグネット内にステンレスメッシュを配置した流通式の高勾配磁気分離を用いて、製鋼スラグの磁気分離実験を行った。過度にメッシュが細かく、流束が遅い場合は凝集、巻き込みが大きく、分離には 16 メッシュ、流束 30 cm/s 程度が適していることが明らかになった。磁場強度を段階的に高め、複数回流通させることによって分離性が高くなった。また、後段ほど細かい粒子が捕捉され、粒径分離の可能性も示唆された。
- (3) 耐火物の電気パルス粉砕を行った結果、スラグ侵食部や高価な未侵食な粗大骨材などの境界面での優先破壊が確認された。これは従来の粉砕法では得られない画期的な結果であり、使用済み耐火物のリサイクルを大きく改善する可能性があるものとして耐火物業界から注目されている。



図4 回収された粗骨材



図 5 分離されたスラグ侵食部

(4) 高リン鉄鉱石の弱還元生成物を構成する 金属鉄、リン濃縮相、酸化鉄含有相の分離実 験を行った結果、微粒子成分からリン濃縮相 を濃縮分離できた。粉砕、磁気分離における 条件については今後の検討課題であるが、鉄 鋼製錬の予備処理の段階である程度リンを 低減し得ることが示された。

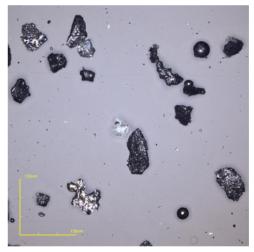


図 6 高リン鉄鉱石の弱還元生成物の電気パルス粉砕サンプルの外観

#### < 引用文献 >

H. Kubo, K. Matsubae-Yokoyama and T. Nagasaka, Magnetic Separation of Phosphorus Enriched Phase from Multiphase Dephosphorization Slag, ISIJ International, Vol.50, No.1, 2010, 59-64.

#### 5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に は下線)

# 〔雑誌論文〕(計1件)

Hironari KUBO, Nobuhiro MARUOKA, Yoshimasa SATO, Removal of phosphorus from high-phosphorus iron ore with preliminary reduction treatment and physical concentration, ISIJ International, 查読有, Vol.59, No.4, 2019. (掲載決定済)

# 〔学会発表〕(計5件)

佐藤嘉将, <u>久保裕也</u>, 丸岡伸洋, 埜上洋, 高リン鉄鉱石還元生成物の磁気分離, 日本鉄 鋼協会第 175 回春季講演大会, 2018.

久保裕也、磁気力および選択粉砕を用いた鉄鋼スラグからのリン分離、日本鉄鋼協会環境・エネルギー・社会工学部会スラグ由来の人工リン鉱石フォーラムシンポジウム「鉄鋼スラグ中リンの分離・有効利用」、2017.

小川毅, <u>久保裕也</u>, スラグ侵食したマグネシア耐火物の選択粉砕, 西日本腐食防食研究会第 185 回例会, Vol.56, No.3, 2016, 17.

久保裕也, 小川毅, 電気パルス粉砕利用 した MgO 系耐火物侵食部の高効率分離, 日本鉄鋼協会第 172 回秋季講演大会, 2016.

<u>久保裕也</u>,物理選別による製鋼スラグ構成相の資源化,平成 28 年度合同学術講演大会,2016.

[図書](計0件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0件)

名称: 発明者: 権利者: 種類: 番号:

出願年月日: 国内外の別:

○取得状況(計 0件)

名称: 発明者: 権利者: 種類: 番号:

取得年月日: 国内外の別:

〔その他〕 ホームページ等

- 6. 研究組織
- (1)研究代表者

久保裕也 (KUBO, Hironari) 福岡工業大学・工学部・准教授 研究者番号:90604918

(2)研究分担者

(

研究者番号:

(3)連携研究者	(	)
研究者番号:		
(4)研究協力者	(	)