

# 高度資源利用・環境保全のためのプロセス研究

Process Engineering Research for Advanced Resource Utilization and Environmental Conservation



教授 葛西 栄輝  
Professor  
Eiki Kasai



准教授 村上 太一  
Associate Professor  
Taichi Murakami



助教 丸岡 大佑  
Assistant Professor  
Daisuke Maruoka



新日鐵住金(株)波崎研究開発センターにて

Base materials industry are now facing several difficult issues, e.g., strong demand to reduce CO<sub>2</sub> emissions, and property-degradations and price-fluctuations of the mineral and fuel resources. Our research group is mainly carrying out the studies to search for new process principles for base metal/material productions aiming at efficient utilization of lower grade mineral and energy resources also considering utilization of low-grade energies and recovery of waste energies. A number of unique ideas have been tried to apply such as high temperature and pressure conditions, and optimum process combinations. In addition, we are studying innovative researches, such as the production process of a new porous and fibrous metal, and development of unique self-healing ceramics applicable to extreme harsh environment.

## 概要

本研究分野では、資源・エネルギーの社会的および環境的インパクトが大きい基幹素材の製造・リサイクルプロセスに関して、その高効率化と低環境負荷化を同時達成するための新しい技術原理を探索する研究を行っている。特に高温反応が関与するプロセスの効率化と環境負荷低減に関するテーマに主眼を置き、波及効果の大きい製鉄プロセスの原料自由度の拡大や燃料のグリーン化、廃熱利用など、基礎から実機を想定した研究まで幅広くテーマを設定している。加えて、ポーラス、繊維状金属製造など新しい材料プロセス法や極限環境に適用可能な自己治癒セラミックス材料の開発に関する研究を行っている。

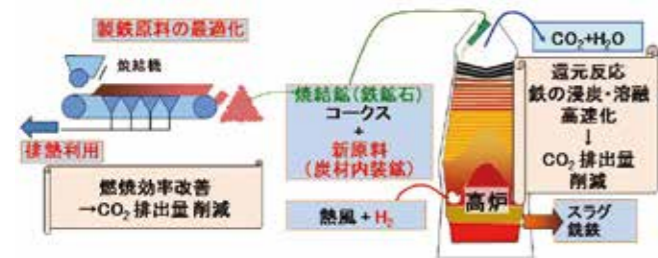


Fig.1 Methods of reducing CO<sub>2</sub> emission from ironmaking process.

## 水素利用製鉄に適した製鉄塊成原料製造原理の創成

高炉では鉄鉱石から粗鉄(銑鉄)を製造するため、石炭を乾留して製造されるコークスを主な還元材および熱源として用いており、そのため大量のCO<sub>2</sub>ガスが発生する。還元材を部分的に水素で代替することができれば生成ガスはH<sub>2</sub>Oとなり、その分CO<sub>2</sub>排出量が削減できる。水素は石炭乾留時に副次的に生成されるため、原料を一貫して製鉄所内で利用することができ、安全面、輸送面からも有効である。一方で、COでは発熱反応である還元が、水素の場合吸熱となるため、水素濃度増加による高炉内シャフト部の低温化が懸念される。そのため、低温でも高い被還元性を有する原料(塊成鉱)の製造が望まれる。

本研究では、各種塊成鉱の被還元性を水素濃度の異なる条件にお

いて調査し、高水素濃度下で還元性状の良い塊成鉱が具備する特性を調査している。また、塊成鉱の主要相のひとつであるカルシウムフェライトを実験的に作製し、高水素条件を含む様々なガス雰囲気下の被還元性を調査することで、上記原料製造指針を提示することを目的としている。

本年は、様々なガス組成に制御可能な還元装置を用い、多様な焼結鉱の還元挙動を調査し、高水素条件における還元促進を達成するために有効な相を明らかにした。また、Fig.2に示す高温X線回折装置を用いた。本装置は2次元検出器を搭載しており、実験中の鉱物相の変化を非常に短い時間間隔で同定することが可能である。構造や組成の異なるカルシウムフェライト相の被還元性には違いがあることを明らかにした。



Fig.2 High temperature X-ray diffractometer with 2-dimensional detector.

## 温室効果ガス排出量削減と劣質原料使用が可能な画期的製鉄プロセスにおける原料研究

我が国の鉄鋼産業は国内エネルギー使用量のおよそ15%を占めるためCO<sub>2</sub>排出量削減が求められている。さらに、良質鉄鉱石資源の枯渇や原燃料価格の高騰にも対応しなければならない。製鉄プロセスにおける重要な反応である酸化鉄還元反応や炭材ガス化反応の低温化、および還元された鉄への浸炭・溶融の高速化による問題解決を実現する具体的な方法として、高い反応性を有することが知られている鉱石-炭材コンポジット(炭材内装鉱)の使用が注目されている。

本年は、炭材内装鉱コンポジットを使用する低温・高速製鉄プロセス

を実現するため、主に以下に示す研究テーマを実施した。

1. 予備還元鉱石による低温還元の実現
2. 浸炭・溶融高速化に対する硫黄の影響

Fig.3は試薬ヘマタイト(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)を予備還元したウスタイト(FeO)-グラファイト炭材内装鉱の還元挙動を示す。比較材としてFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-グラファイト炭材内装鉱の還元挙動も併せて示す。ここで還元率は、試料中のFeがFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>として存在するときの酸素量に対する試料中酸素量の割合によって求められる。FeOを用いた炭材内装鉱では、比較材より低温で還元率が最大値に達している。したがって、予備還元によって低温還元が可能であることを示している。また、硫黄は浸炭・溶融を遅らせる働きがあることを明らかにした。

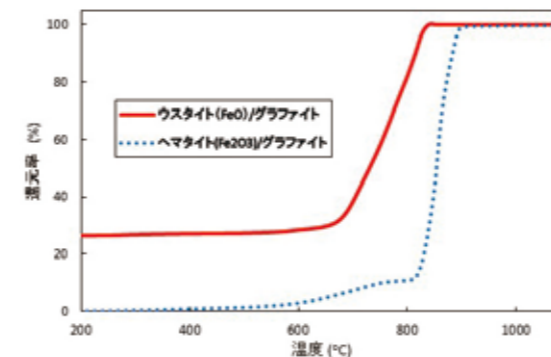


Fig.3 Change in reduction degree of iron oxide-graphite composite with temperature.

## 蓄熱体を用いた未利用排熱利用型バイオマス迅速炭化プロセスの開発

カーボンニュートラルに位置づけられるバイオマスを燃料として積極利用することで、化石燃料由来のCO<sub>2</sub>排出量が削減できる。一方、バイオマスを効率的に利用するためには、炭化プロセス等の事前処理が必要であるため、これを未利用排熱で代替できればさらなる効率化が期待できる。しかし、これらの排熱は高濃度のダストや腐食性ガスを含む場合が多く、直接使用するとバイオマス炭に悪影響を及ぼす可能性が考えられる。本研究ではFig.4に示すような、金属球を蓄熱媒体として排熱回収し、バイオマスの炭化と粉碎を同時に行う新しいプロセスを提案している。

本年は独自設計した小型炭化装置にモデルバイオマスを投入し、作製したチャー特性を調査した。炭化温度が高くなるに従い、チャーの総量が少なくなったが、乾燥状態のチャー収率は高くなった。またバイオマスのガス化挙動の調査から、水分や木酢液の低沸点ガス種とタールといった揮発種のガス化温度を明らかにした。バイオマスと蓄熱体との衝突挙動を粒子シミュレーションによって計算し、粉碎頻度や蓄熱体の衝突強度などを得ることができた。

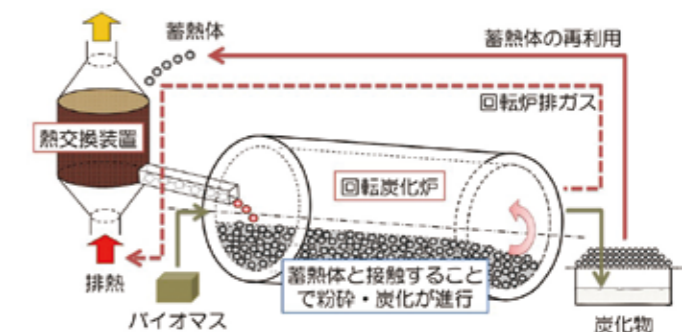


Fig.4 Schematic diagram for rapid carbonization process of biomass utilizing waste energy.

## 極限環境利用下における自己治癒セラミックスの高温腐食挙動

構造用セラミックスの強度信頼性を大幅に向上できる自己治癒セラミックスが開発され、ジェットエンジン用タービン翼部材への応用が検討されている。自己治癒セラミックスにおいては、マトリックスに分散して存在する金属微粒子の酸化によりき裂が消滅することにより、自発的に機械的強度が回復する機能が発現する。回復した強度の維持には自己治癒層の安定性が重要であるが、実際の高温酸化環境では溶融塩による高温腐食が起こりうる。そのため、自己治癒層の高温腐食挙動を調査することは重要である。

本年はNi/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>自己治癒セラミックスを用い、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>による高温腐食挙動について調査し、自己治癒セラミックス表面に生成したNiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>が、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶融塩に溶解している様子を詳細に観察した。

## 学生の活躍

### 原著論文

Yuki Takyu, Taichi Murakami, Sang Han Son and Eiki Kasai, "Reduction Mechanism of Composite Consisted of Coal and Hematite Ore by Volatile Matter at 700-1100K", ISIJ International, vol.55, 2015, No.6, 1188-1196.

### 受賞

四ノ宮裕士君(B4): 日本鉄鋼協会第169回春季講演大会学生ポスターセッション努力賞(March, 2015)

