

# 資源の高度利用・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 村上 太一  
Professor  
Taichi Murakami



助教 丸岡 大佑  
Assistant Professor  
Daisuke Maruoka

当研究室では、鉄鋼をはじめとする波及効果の大きな基幹金属(鉄鋼や非鉄金属) 素材を対象に、高温プロセスを用いた製錬のカーボンニュートラル化などに関する研究を推進している (Fig. 1)。例えば、水素製鉄用原料の炉内での劣化メカニズムの解明とその抑制手法の開発、製鉄プロセスの排出ガスを回収・改質し、固体炭素として再利用する炭素循環製鉄法の開発、高炉装入原料の塊成化手法である焼結プロセスにおける低炭素操業法の開発や品質改善などを実施している。また、ポラス金属の製造技術などの材料プロセッシングに関する研究も行っている。

The laboratory has investigated the carbon neutralization of smelting using high-temperature processes for key metallic materials with large ripple effects, such as iron and steel, and nonferrous metals (Fig. 1). For example, our lab examines the degradation mechanism of raw materials for hydrogen ironmaking to develop a suppression method, develop the carbon recycling ironmaking process that recovers and reforms exhaust gas to solid carbon, and develop low-carbon operation methods and improve quality in the sintering process, which agglomerate the raw materials for a blast furnace. Our lab also focuses on material processing, such as production technology for porous metals.

## 未炭化木質バイオマスを用いて調製した炭材内装鉄の低温還元挙動の解明

製鉄工程から排出される二酸化炭素量を削減するために、カーボンニュートラルな特性を持つバイオマスの利用が検討されている。既往の研究では、木質バイオマスの主成分であるセルロースやリグニンが熱分解されて生成した CO や H<sub>2</sub> が鉄鉱石の低温還元に関与すると報告されている。本研究では、未炭化バイオマスを用いた炭材内装鉄の低温還元挙動について、部分炭化バイオマスを用いた場合と比較し、バイオマス中の揮発性物質の影響を調査した。

炭材内装鉄の還元は、Fig. 1 に示す装置に試料を設置し、窒素雰囲気中で 10°C /min の速度で昇温することにより行った。炭材には未炭化および、400°C および 700°C で乾留した 2 種類の部分炭化バイオマスを準備した。昇温後、炭材内装鉄を粉砕して X 線回折 (XRD) による結晶相同定を行った。

Fig. 2 に未炭化木質バイオマスを用いた炭材内装鉄の XRD プロファイルを示す。セルロースが熱分解する 450°C 以上に加熱した試料にはマグネタイト (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) の生成が認められる。さらに 800°C まで昇温すると、一部の酸化鉄は金属鉄まで還元される。Fig. 3 に未炭化および部分炭化木質バイオマスを用いた炭材内装鉄を 800°C、50 min 還元した後の XRD プロファイルを示す。未炭化バイオマスで認められた金属鉄の生成が、部分炭化バイオマスを用いた試料では認められなかった。バイオマス中のセルロースの熱分解により鉄鉱

## Low-Temperature Reduction Mechanism of Carbon-Iron Ore Composite using Woody Biomass

The utilization of biomass, which is regarded as a carbon-neutral fuel, has been suggested to reduce in the carbon dioxide emissions from the ironmaking processes. It is reported that CO and H<sub>2</sub>, produced by pyrolysis of cellulose and lignin, the main components of woody biomass, contribute to the low-temperature reduction of iron ore. In this study, the low-temperature reduction behaviors of the carbon-iron ore composite using uncarbonized biomass was compared with those using partially carbonized ore. Furthermore, the effect of volatile matters in the biomass on the reduction of iron ores was examined.

The carbon-iron ore composite was set in an apparatus (Fig. 1) and heated at 10°C/min within an N<sub>2</sub> atmosphere. Three types of woody biomass: uncarbonized and torrefied at 400°C and 700°C were used for carbonaceous materials. After heating, the composite was pulverized and analyzed by X-ray diffraction (XRD).

Fig. 2 shows the XRD profiles obtained for the composites using uncarbonized biomass. Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) is observed in the composite heated over 450°C at which cellulose is pyrolyzed. Moreover, iron oxides are partially reduced to metallic iron heated at 800°C. Fig. 3 shows the XRD profiles obtained for the composites using uncarbonized and torrefied biomass heated at 800°C for 50 min. Although metallic iron was obtained by using uncarbonized biomass, it is not found by using torrefied

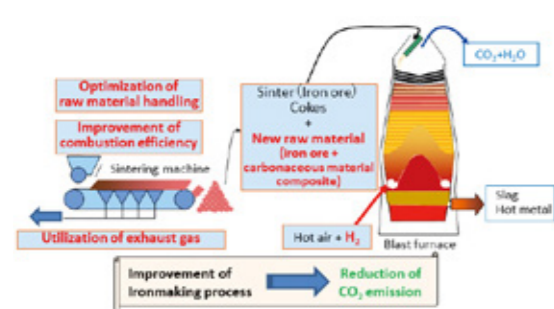


Fig. 1 Strategy to reduce CO<sub>2</sub> emissions from the ironmaking processes.

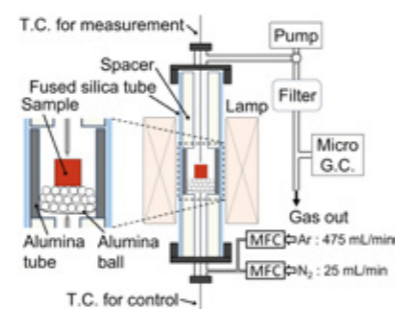


Fig. 2 Schematic diagram of an experimental apparatus.

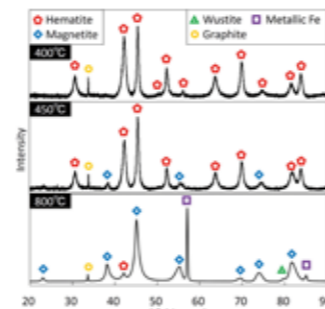


Fig. 3 XRD profiles obtained for the composites using woody biomass heated up to 400°C, 450°C and 800°C.

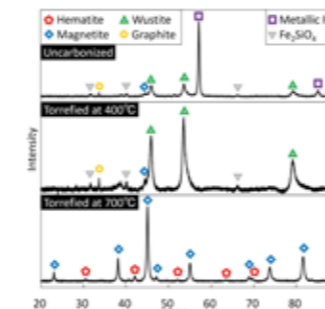


Fig. 4 XRD profiles obtained for the composites using woody and torrefied biomass heated at 800°C for 50 min.

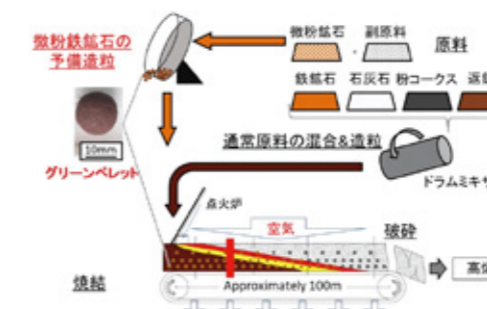


Fig. 5 Schematic diagram of the Mosaic EmBedding Iron Ore Sintering (MEBIOS) process.

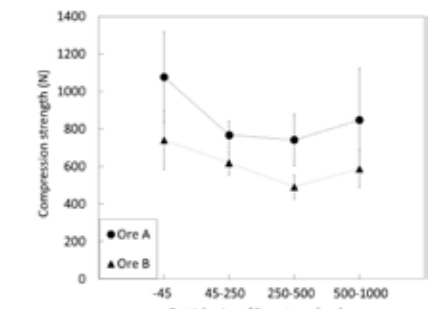


Fig. 6 Effect of limestone particle size on the compression strength of sintered pellets.

石は 450°C 付近で還元され始め、800°C で金属鉄までの還元を可能にすると考えられる。本研究成果により、バイオマス中の揮発性物質による鉄鉱石の還元挙動について重要な知見を得ることができた。

## 複合層焼結法で用いる予備造粒ペレットの強度に対する CaO 成分の影響

現在、日本の年間粗鋼生産量は約 0.9 億トン (世界第 3 位) であるが、原料である鉄鉱石資源の全量を海外に依存している。採掘される鉄鉱石中鉄濃度の低下が顕在化している。鉄鉱石中鉄濃度を高める手法として選鉱処理が知られているが微粉砕を伴う。微粉鉄鉱石の増加は、鉄鉱石塊成化過程である焼結プロセスにおいて通気性の低下を引き起こし、高炉装入原料である焼結鉄の生産性低下に繋がる。そのため Fig. 5 のような、微粉原料を事前造粒し、原料充填層内に分散配置することで通気性確保を狙う複合層焼結 (Mosaic EmBedding Iron Ore Sintering, MEBIOS) 法が提案されている。予備造粒ペレットは固相焼結され、充填層内で骨材的な役割を果たすため、ガス流路の維持と複合焼結鉄の強度および還元性状の確保が可能となる。そのためペレットは被還元性に加えて一定の強度が必要となる。本年は複合焼結鉄の要素技術の検討として、焼成後ペレットの圧壊強度に及ぼす CaO 成分の影響について調査した。

2 種類の微粉鉄鉱石 (Ore A, Ore B) を用いた。各鉱石と石灰石および生石灰を混合し、水を加えてグリーンペレットを造粒した。実機焼結操業を模擬した条件で焼成後、圧壊強度を測定した。

Fig. 6 に焼成後ペレットの圧壊強度に対する石灰石粒度の影響を示す。鉄鉱石における圧壊強度の違いは、鉱石中の SiO<sub>2</sub> 量に起因していると考えられる。添加石灰石粒径が 500 μm までは粒径増加に伴って圧壊強度は低下するが、添加石灰石粒径が 500-1000 μm の場合は圧壊強度は上昇する。ペレットの断面組織から石灰石粒径に対応した粗大な気孔が認められており、添加石灰石粒径が 500-1000 μm の条件では粗大気孔が生成するため、き裂の進展が粗大気孔により抑制されたと考えられる。本研究成果により、MEBIOS 法で用いる予備造粒ペレットの材料設計に重要な知見を得ることができた。

biomass. These results show the cellulose in the biomass reduces iron oxide over 450°C and produces metallic iron at 800°C.

The results of this research have provided important insights into the reduction behavior of iron ore by volatile substances in biomass.

## Effect of CaO Component on Strength of Pre-granulated Pellets in Mosaic EmBedding Iron Ore Sintering

The annual crude steel production of Japan remains at approximately 90 million tons. However, the iron resources as raw material depends on imports from foreign countries. The rapid increase in world crude steel production in recent years has led to degradation of iron concentration in iron ore. The beneficiation process is known to increase the iron concentration. However, the process involves pulverization. The increase in fine iron ore decreases air permeability in the sintering bed for the sintering process, which is one agglomeration method for iron ore, leading to decrease in productivity of the sintered ore for blast furnace. Therefore, the mosaic embedding iron ore sintering (MEBIOS) process has been proposed (Fig. 5). The MEBIOS process aims to maintain air permeability by pre-granulated fine ore (green pellet), dispersing the green pellet in the sintering bed. The green pellets are solid-phase sintered and maintain their shape. As a result, gas flow paths are maintained, and then the strength and reducibility of sintered ore are improved. Therefore, the pellets need to have certain strength and reducibility. In this year, the effect of CaO composition on the compression strength of sintered pellets was investigated as the elemental technology for the MEBIOS process.

Two types of fine iron ores (Ore A and Ore B) were used. Each iron ore was mixed with limestone and quicklime, and green pellets were granulated by adding water. The pellets were sintered under conditions simulating actual sintering operations, and their compression strength was measured.

Fig. 6 shows the effect of limestone particle size on the compression strength of the sintered pellets. The difference in the compression strength of iron ores is considered as the difference of SiO<sub>2</sub> composition in the ores. The compression strength decreases by increasing limestone particle sizes up to 500 μm. However, the value increases by increasing limestone particle sizes from 500 to 1,000 μm. The cross-sectional microstructure of the sintered pellets shows coarse pores corresponding to the limestone particle size, resulting in coarse pores generated by the 500-1,000 μm limestone particle size conditions that suppress crack propagation. The results of this study provide important insights into the raw material design of pre-granulated pellets in the MEBIOS process.