

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21810011

研究課題名（和文）

炭素系廃棄物の鉄鋼製錬プロセスへの有効利用

研究課題名（英文）

Effective Use of Carbonaceous Materials from Waste in Ironmaking Process

研究代表者：

植木 保昭 (UEKI YASUAKI)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・助教

研究者番号：90552654

研究成果の概要（和文）：現在、焼却処分されている都市ゴミや木質バイオマスなどの炭素系廃棄物を鉄鋼製錬プロセスにおいて還元材である石炭の代替原料として有効利用することができれば、石炭使用量を削減して日本国内の CO₂ 排出量を大幅に削減することが可能である。そこで本研究では、炭素系廃棄物の鉄鋼製錬プロセスへの有効利用の可能性を見出すために、各種廃棄物の炭化物（都市ゴミ炭化物、木質バイオマス炭化物）を還元材として利用した場合の酸化鉄の還元反応特性を実験的に明らかにすることを目的とした。その結果、グラファイトを使用した混合試料では反応が途中で停滞したが、各種炭化物を用いた混合試料では反応が停滞することなく反応が進行した。これは都市ゴミ炭化物および木質バイオマス炭化物の反応性がグラファイトの反応性よりも良いためである。

研究成果の概要（英文）：It is important for environmental protection to use waste materials effectively. In this work, we conducted fundamental researches on the application of carbonaceous materials from waste as a reducing agent in an ironmaking process. Carbonaceous materials from waste (carbonized municipal waste and carbonized woody biomass) were mixed with a hematite reagent. The mixtures were heated up at the temperatures of 1000-1200°C in N₂ gas by using a thermo gravimetric analysis (TG) or a vertical tube electric furnace. As a result, however a reaction of the mixture sample using a graphite stagnated, a reaction of the mixture sample using the carbonized municipal waste and the carbonized woody biomass progressed without the reaction stagnating. This is because a reactivity of the carbonized municipal waste and the carbonized woody biomass is better than that of the graphite.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,080,000	324,000	1,404,000
2010年度	980,000	294,000	1,274,000
総計	2,060,000	618,000	2,678,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：環境技術・環境材料

キーワード：鉄鋼製錬プロセス、還元材、炭素系廃棄物、都市ゴミ、木質バイオマス、酸化鉄、還元反応

1. 研究開始当初の背景

現在、日本国内では年間約 5000 万トンもの一般廃棄物（都市ゴミ）が排出されており、その約 8 割が直接焼却処分され、多くの CO₂

を排出し、地球温暖化に加担しているのが現状である。また、樹木の伐採や造材のときに発生した枝、葉や間伐材などの林地残材（木質バイオマス）は年間約 1000 万 m³ 発生して

いるが、そのほとんどが放置され未利用になっている。これらの廃棄物は炭素を多く含有する炭素系廃棄物であり、石炭などの化石燃料の代替原料としてのリサイクルの可能性が示唆されている。

一方、日本国内の鉄鋼業では石炭を燃料や鉄鉱石を還元する際の還元材として大量に使用しているため、その CO₂ 排出量は日本国内の排出量の約 17% を占めている。その約 70% が鉄鉱石を還元する製錬プロセスによって発生しており、この製錬プロセスにおける CO₂ 排出量削減が急務である。そのため、石炭等の固体還元材を直接使用する炭材内装還元法が注目されている。この炭材内装還元法とは一般的に鉄鉱石粉と石炭粉を混合し塊成化した炭材内装塊成鉱を回転炉床炉などによって加熱することで還元鉄を製造する方法である。炭材内装塊成鉱は従来の高炉原料である焼結鉱や鉄鉱石ペレットと比較して高速還元が可能な製鉄原料であるため、エネルギー消費量や CO₂ 排出量の低減が可能であり、鉄鋼製錬プロセスの主流である高炉法と比較して CO₂ 排出量を約 20% 削減することができる。しかし、鉄鋼業において化石燃料である石炭大量使用の状況下での CO₂ 排出量削減には限界があり、更なる大幅な削減を目指すには石炭を使用しない新しい製鉄技術の開発が求められている。

このような背景から、CO₂ 削減の抜本的解決策として、石炭の代替原料としての廃棄物の鉄鋼製錬プロセスにおける有効利用が期待される。廃棄物の有効利用が可能になると、鉄鋼製錬プロセスにおける石炭の使用量が削減でき、国内全体での CO₂ 排出量が削減できる。

そこで、鉄鋼製錬プロセスにおける廃棄物の有効利用をさらに拡大するために、都市ゴミや木質バイオマスといった炭素系廃棄物が石炭の代替として酸化鉄を還元する際の還元材として有効利用できるかを検討する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、焼却処分されている都市ゴミや未利用になっている間伐材などの木質バイオマスといった炭素系廃棄物を還元材として利用し、還元鉄の製造が可能かを検討した。具体的には、都市ゴミおよび木質バイオマスを不活性雰囲気において熱分解させた炭化物を還元材として用い、各炭化物の還元材を内装した酸化鉄混合体を作製し、差動型示差熱天秤 (TG) を用いた昇温実験および縦型管状電気炉を用いた等温実験により、その還元特性を実験的に解明した。

3. 研究の方法

(1) 実験試料

還元材として都市ゴミおよび木質バイオマスを 400~600°C、不活性雰囲気において熱分解させた、都市ゴミ炭化物 (C-Waste) および木質バイオマス炭化物 (C-Biomass) を用いた。比較のために、一般的な瀝青炭 (Coal) およびグラファイト試薬 (Graphite) も用いた。表 1 に各試料性状を示す。

各々の還元材と酸化鉄 (Fe₂O₃ 試薬) を混合試料中の C と O とのモル比が 1:1 となるように混合して混合試料を作製した。縦型管状電気炉を用いた等温実験では、混合試料を 2t で加圧成形したタブレット状の試料を用いた。

表 1 試料性状

	工業分析 (dry, mass%)			元素分析 (dry ash free, mass%)			
	VM	FC	Ash	C	N	H	O
C-Waste	29.4	15.1	55.5	64.3	2.0	1.5	32.2
C-Biomass	21.1	74.5	4.5	78.4	2.6	0.4	18.6
Coal	30.4	56.0	13.6	81.3	1.5	9.4	7.8
Graphite	0.0	99.9	0.1	100	0.0	0.0	0.0

(2) TG による還元およびガス化実験

TG を用いた昇温還元実験では白金パンに混合試料を約 10~30mg 秤量し天秤部に乗せ、流量 150ml/min の N₂ ガスにより炉内を不活性雰囲気にした。室温から 20°C/min で昇温し、107°C で 10 分間保持したのち、1000°C もしくは 1100°C で 30~60 分間保持し、その時の重量変化を測定し、さらに排ガス中の CO および CO₂ 濃度をガスクロにより測定した。

ガス化実験では約 25~35mg の各還元材を試料とし、流量 150ml/min の N₂ ガスにより炉内を不活性雰囲気にしたのちに室温から 20°C/min で昇温した。107°C で 10 分間保持したのち、1000°C において 30 分間保持することで試料中の揮発分をある程度除去した。その後 CO₂ ガスに切り替え、固定炭素の CO₂ によるガス化反応を開始させ、その時の重量変化を測定した。

(3) 縦型管状電気炉による等温還元実験

電子天秤を備えた縦型管状電気炉の概略図を図 1 に示す。本装置は加熱部、反応管、計測部より構成されている。反応管は内径 60mm のアルミナ製円筒管である。加熱部と反応管は一体型となっており、垂直方向に上下移動が可能である。実験では、電子天秤に試料を吊るし、その下方から所定の温度になった加熱部および反応管を上昇させ、試料を反応管中に入れ試料を急速加熱することで反応を開始させて、重量変化を測定した。

実験条件は、炉内が不活性雰囲気となるように電気炉下部より N₂ を 4l/min、電子天秤のシール用ガスとして同じく N₂ を 1l/min 流し

た。実験温度は 1000℃、1100℃、1200℃に設定した。

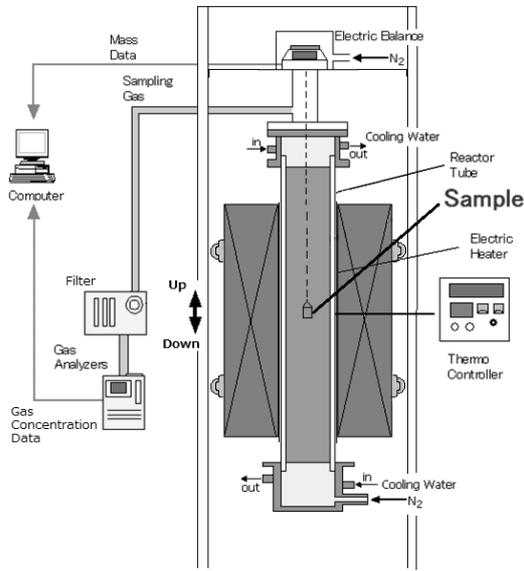


図 1 縦型管状電気炉の概略図

4. 研究成果

(1) TG による混合試料の昇温還元実験

図 2 に TG を用いた混合試料の昇温還元実験 (1000℃保持) における重量変化率 ($\Delta W / \Delta W_{MAX}$) を示す。 ΔW とは実験における重量変化、 ΔW_{MAX} とは試料中の反応しうる成分の重量の総和であり、次式で与えられる。

$$\Delta W_{MAX} = W_0 - (W_{Ash} + W_{Fe})$$

W_0 : 試料重量 (g)

W_{ash} : 試料中の灰分重量 (g)

W_{Fe} : 試料中の全鉄重量 (g)

この指標により、重量変化率が 1 に近づくほど、揮発分放出、ガス化反応および還元反応など、実験中に起こりうるすべての反応が終了したことになり、還元率も高い値になるといえる。

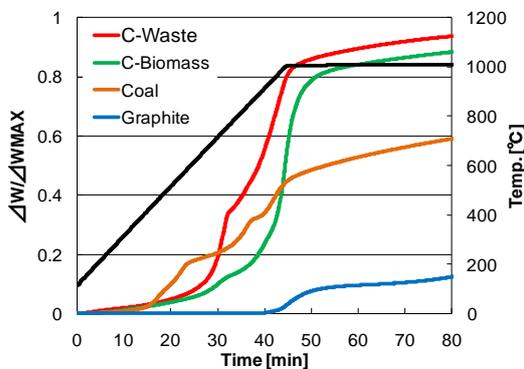


図 2 昇温還元実験 (1000℃保持) における重量変化率曲線

廃棄物由来の C-Waste および C-Biomass を還元材として用いた実験では、重量変化率が約 0.9 に到達しており、高い還元率まで達しているといえる。Coal および Graphite の重量変化率と比較すると、C-Waste および C-Biomass の方が大きい。また、C-Waste および C-Biomass は 800℃付近の低温でも急激な重量変化が生じていることから、Coal や Graphite と異なり、低温でも還元反応が進行することが分かった。

図 3 は昇温還元実験 (1100℃保持) において、排ガス分析の結果から $CO+CO_2$ に対する CO の分圧を算出し、Fe-C-O 系状態図上にプロットしたものである。Graphite では CO 分圧が 1100℃で FeO 領域に到達するのにに対し、C-Waste では約 950℃で Fe 領域に達した。このことから、C-Waste を還元材に用いた場合、Graphite より低温で Fe まで還元されることが分かった。

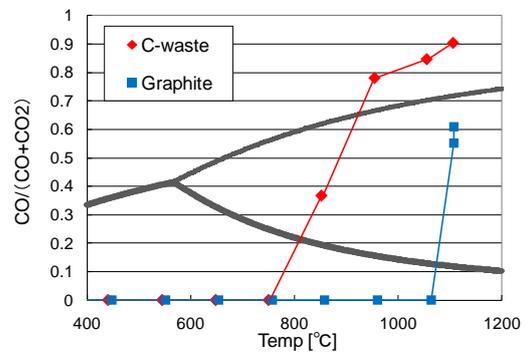


図 3 CO 分圧および Fe-C-O 系状態図

(2) TG による還元材のガス化実験

還元反応に影響を与えるものとして、各還元材の固定炭素の反応性が挙げられる。図 4 に各還元材の固定炭素のガス化率曲線を示す。この実験により C-Waste および C-Biomass のガス化速度は Coal および Graphite と比べて非常に大きいことが分かった。これにより、C-Waste および C-Biomass の固定炭素の反応性が優れているという結果を得た。

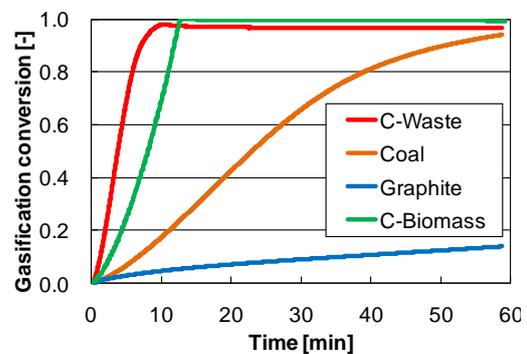


図 4 ガス化率曲線

(3) 縦型管状電気炉による等温還元実験

図5に縦型管状電気炉による等温還元実験(1000℃、1200℃)のC-WasteおよびGraphiteの重量変化率曲線を示す。Graphiteの重量変化率が1000℃では約0.1、1200℃では約0.3で停滞していることから、Graphiteでは反応が停滞していることが分かる。C-WasteはGraphiteよりも大きい重量変化率となっており、特に1200℃においては重量変化率が1に近いことから、高い還元率まで達しているものと考えられる。また、C-Wasteは1000℃、1200℃ともに、Graphiteよりも反応速度が非常に大きく、C-Wasteの反応性が良いことが分かる。

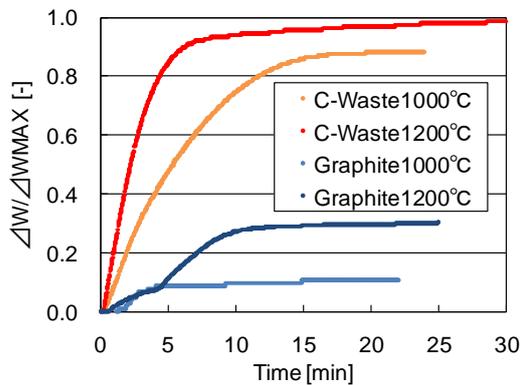


図5 等温還元実験での重量変化率曲線

(4) 結言

差動型示差熱天秤(TG)および縦型管状電気炉での還元実験により都市ゴミ炭化物(C-Waste)および木質バイオマス炭化物

(C-Biomass)は酸化鉄に対して高い還元性を示し、低い温度でも還元力があるという知見を得た。また、ガス分析から、都市ゴミ炭化物(C-Waste)を用いた還元において、 Fe_2O_3 からFeまで還元するガス組成に達した。都市ゴミ炭化物(C-Waste)および木質バイオマス炭化物(C-Biomass)が高い反応性を示す理由は、固定炭素の反応性が瀝青炭(Coal)およびグラファイト試薬(Graphite)よりも優れているためである。

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)

[学会発表](計2件)

①土井淳生、植木保昭、成瀬一郎、都市ゴミ炭化物による酸化鉄の還元特性、社団法人日本鉄鋼協会第160回秋季講演大会、平成22年9月26日、北海道大学(札幌)

②植木保昭、義家亮、成瀬一郎、有機系廃棄物と酸化鉄混合体の還元挙動、日本燃焼学会第47回燃焼シンポジウム、平成21年12月4日、札幌

6. 研究組織

(1) 研究代表者

植木 保昭 (UEKI YASUAKI)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・助教
研究者番号：90552654

(2) 研究分担者 なし