

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22760575

研究課題名（和文）

鉄スクラップからの低温凝固脱銅

研究課題名（英文）

Removal of copper from iron scraps by solidification refining

研究代表者

中本 将嗣 (NAKAMOTO MASASHI)

大阪大学・大学院工学研究科・特任助教

研究者番号：80467539

研究成果の概要（和文）：

鉄スクラップからのトランプエレメント除去技術として、Fe-C-Cu系におけるCu含有 γ -Feの凝固偏析を利用してCuを除去する凝固精製法での脱銅技術の可能性を検討した。Fe-C-Cu系融体の一方向凝固実験によりCuの凝固偏析が生じることを明確にすると共に、2wt%Cu以下では偏析挙動に初期濃度の影響は無いことを見出し、凝固精製法による脱Cuの可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：

Removal of Cu by solidification refining with the segregation of Cu in γ -Fe in Fe-C-Cu system was investigated as a removal technology for tramp-elements from iron-scraps. The segregation of Cu during solidification was clarified with the one-directional solidification method of Fe-C-C melt. In addition, it was found out that the degree of segregation of Cu does not depend on the initial Cu content in the system. These findings confirm the potential of the removal of Cu by solidification refining.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：金属生産工学

キーワード：鉄スクラップ、脱銅、凝固偏析、一方向凝固

1. 研究開始当初の背景

鉄スクラップ利用製鉄は、高炉法による鉄鉱石からの製鉄に比して、還元熱が不要であり、その省エネ効果は約70%にも及び、日本の製造業のCO₂総発生量の約1/3を占める鉄鋼業にとって、社会・経済に大きく貢献できる未来分野である。日本国内での鉄スクラップの蓄積は年々増加しており、2020年には約

18億トンに達し、年5,000万トンの鉄スクラップが発生すると予想されている[1]。市中鉄スクラップ中にはトランプエレメントと称される微少な鉄以外の不純物成分（Cu、Snなど）が含まれるものが多く、我が国製鉄業が得意とする高級鋼材の原料としての使用が制約されている。近年、海外に依存する鉄鋼原料である鉄鉱石、石炭等が、海外資源メジャーの寡占下で、急騰しており、これらの

資源に乏しい我が国にとって、国内に蓄積されている鉄スクラップ資源について、現在のような資源となりにくい状況の拡大を放置しておくことを看過すべきではなく、トランプエレメントを除去するプロセスの開発が必要不可欠である。

市中鉄スクラップの使用拡大を図るため、平成3年度から平成11年度の間、スクラップ回生を目的の一つとした国家プロジェクト『新製鋼フォーラム』が実施された。ここにおいて銅を優先的に蒸発させる[2]、フラックスと接触させて銅を分配させる[3]などの技術が開発されたが、消費エネルギー、廃フラックス処理に課題があり実用化は困難であった。平成20年度からのNEDOプロジェクト『難利用鉄スクラップの利用拡大のための先導的研究』では、上記と同様にフラックス精錬法による脱銅が検討されているものの[4]、フラックス処理に課題が残る。

2. 研究の目的

本研究では、鉄スクラップの脱銅に関して、炭素を添加し、Cu含有オーステナイト(γ -Fe)の凝固偏析を利用してCuを除去する低温凝固精製法での革新的低エネルギー脱銅プロセスを確立することを目的とする。本課題では、Fe-Cu-C系融液からCu含有固体 γ -Feを析出させる一方向凝固により(1)凝固脱Cu実証実験を行うと共に、(2)凝固偏析への初期Cu濃度の影響を明確にすることを目的とする。

3. 研究の方法

図1はFe-Cu-C系状態図[5]とそれに基づいて一方向凝固した際の組織の概念図を示す。 γ -Fe、液相(L)、Cが共存する領域(γ -Fe + L + C)内の組成では、冷却過程でCuを多く含む γ -FeとCが析出し、低Cu濃度の液相が残る。つまり、本研究では凝固相である γ -FeにCuを富化し脱Cuを実現する。

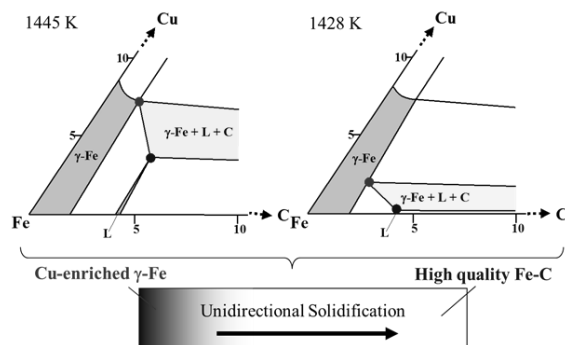


図1 Fe-Cu-C系状態図と凝固脱銅

予備熔融して作製したFe-C-Cu合金14gをアルミナボート(SSA-H:11×7×90mm)にのせ、横型の電気抵抗炉の温度勾配下に配置する。Arガス流通下で試料を完全に熔融させた後、-1 K/minの速度で降温し、温度勾配を利用して、一方向に凝固させた。凝固後の試料の断面組織の観察および濃度分析を行った。

(1) 凝固脱Cu実証実験

試料を炉内の温度勾配が有る領域、温度勾配が無い領域の2つの位置で熔融し、凝固偏析への影響を調査した。試料はFe-4.3wt%C-2wt%C合金を用いた。

(2) 凝固偏析への初期Cu濃度の影響

Cu濃度0.1wt%(Fe-4.3wt%C-0.1wt%C合金)、Cu濃度0.5wt%(Fe-4.3wt%C-0.5wt%C合金)、2.0wt%(Fe-4.3wt%C-2.0wt%C合金)と初期Cu濃度の異なる試料用い、凝固偏析への影響を調査した。

4. 研究成果

(1) 凝固脱Cu実証実験

実験後試料の外観、組織観察結果を図2に示す。温度勾配が無い領域で凝固させた試料では、デンドライト、黒鉛の晶出が全ての位置で観察され、凝固位置による組織の違いは見られなかった。一方、温度勾配が有る領域で凝固させた試料では、凝固が始まる低温部では γ -Fe相と思われるデンドライト上の組織が観察され、高温部に向かうとともにその割合は減少し、高温部ではわずかである。

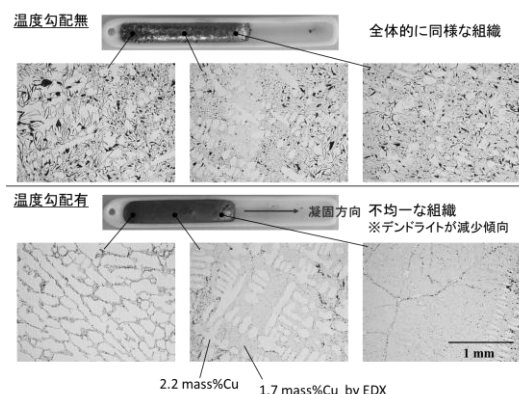


図2 実験後試料外観と断面観察結果 (Fe-4.3wt%C-2wt%C合金)

図3は試料を6分割し、Cuの濃度分布を測定した結果である。温度勾配がない場合の試料中のCu濃度は位置によらず一定であり、初期の2.0wt%を維持している。一方、温度勾配がある場合は低温の凝固初期部でCu濃度が、初期Cu濃度よりも高く、凝固が進むととも

に Cu 濃度が低い傾向がみられる。Cu 濃度は先のデンドライトの量に対応し、デンドライトの割合の多い部分では初期濃度より高く、少ない部分では低くなっている。また、デンドライトとそれ以外の Cu 濃度を測定すると、デンドライト中の Cu 濃度が高くなっており、凝固相である γ -Fe に Cu が富化するという予測と一致する。このように、試料中に Cu 濃度勾配が形成されており、提案する原理による脱 Cu の可能性を確認することができた。

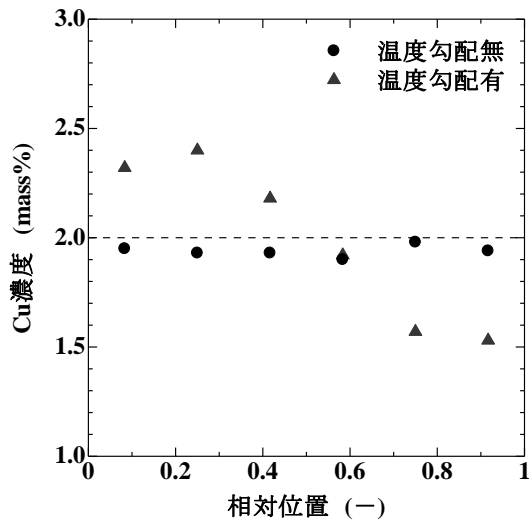


図3 実験後試料の Cu 濃度分布 (Fe-4.3wt%C-2wt%C 合金)

(2) 凝固偏析への初期 Cu 濃度の影響

初期 Cu 濃度を 0.1, 0.5, 2wt% と変化させた際の実験後の試料中の Cu 濃度分布を示す。初期銅濃度によらず、初期凝固部では初期濃度よりも高く、凝固の進行とともに Cu 濃度が減少する傾向がみられる。このように、初期 Cu 濃度によらず、提案する凝固偏析が生じることが明確となった。

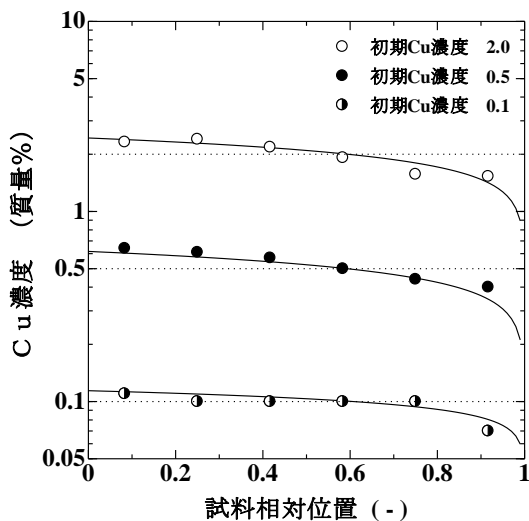


図4 実験後試料の Cu 濃度分布

(Fe-4.3wt%C-0.1, 0.5 or 2wt%C 合金)

凝固における完全混合モデル (図5) を用いて偏析係数 ($k=C_S/C_L$) の算出を試みた。完全混合モデルとは、凝固相である固体中の拡散を無視し、液体中で組成が完全に均一であると仮定しているモデルである。また、ここでは C_S : 固体中元素濃度、 C_L : 液体中元素濃度であり、元素とは Cu のことである。完全混合モデルでは、固体中元素濃度 C_S は以下の式で与えられる。

$$C_S = k C_0 (1 - g)^{k-1} \quad (1)$$

ここで、 C_0 は初期元素濃度、 g は固相の割合である。(1) 式を用いて、初期 Cu 濃度毎に実験データに合う分配係数 k を算出した。その結果、初期 Cu 濃度 $C_0=0.1, 0.5, 2.0$ wt% に対して、それぞれ分配係数 $k=1.14, 1.23, 1.21$ という値を得た。このことから、Cu の凝固偏析係数は初期 Cu 濃度によらず、ほぼ 1.2 であることが明らかとなった。

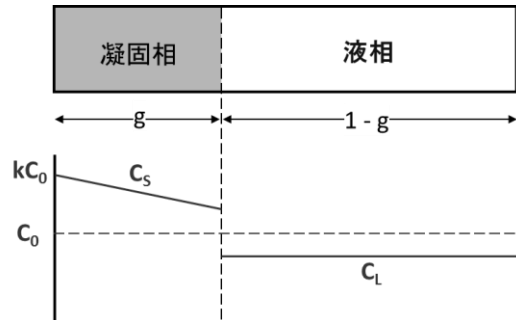


図5 凝固における完全混合モデル

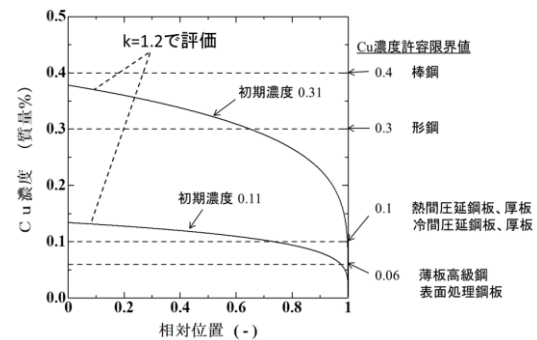


図6 本技術によるグレードの高い鋼材への利用の提案

図6は本提案する技術を用いて、リサイクルによって部分的にグレードの高い鋼材への利用を提案するものである。例えば、Cu 濃度が 0.11wt% の場合、棒鋼もしくは形鋼のいずれにしか利用できない。また、Cu 濃度 0.31wt% の場合は、棒鋼のみにしか利用できない。一方、本技術を適用すると (ここでは偏析係数 1.2 としている)、Cu 濃度 0.11wt% のものに関しては 20%程度熱・冷間圧延鋼板への利用が可能になる。また、Cu 濃度が 0.31wt% のものについても、30%程度形鋼への

利用が可能となる。

本提案する技術は Cu のみならず Sn など他のトランプエレメントを除去することへの応用も考えられる。また、トランプエレメントをレアメタルに置き換えると、近年喫緊の課題となっているスクラップからのレアメタルの濃縮回収へと展開も可能である。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 1 件)

中本将嗣、奥村泰光、田中敏宏、山本高郁：
“Fe-Cu-C 融体の凝固偏析を利用した脱 Cu”、
日本鉄鋼協会、平成 22 年 9 月 21 日、大阪
大学。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中本 将嗣 (NAKAMOTO MASASHI)
大阪大学・大学院工学研究科・特任助教
研究者番号：80467539