

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656473

研究課題名（和文）微小粒滴による超高速鉄鋼製錬技術の基盤研究

研究課題名（英文） Study on the highly efficient steel refining technique by using metal emulsion

研究代表者

北村 信也 (KITAMURA SHINYA)

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：80400422

研究成果の概要（和文）：

鉄鋼プロセス反応速度向上には反応界面積の拡大が重要で、本研究ではメタルエマルジョンに着目し、スラグ中に溶鉄微粒子を懸濁させる条件の解明を目的とした。具体的にはメタル相に Al, Sn, Pb、スラグ相に塩化物系溶融塩を用い、エマルジョン生成能のガス流量および各種物性値の寄与・高速度カメラでの生成挙動観察を検討し、エマルジョン生成速度を整理した経験式を提案した。

研究成果の概要（英文）：

In the steelmaking process, an enlargement of interfacial area for reaction is important. In this study, the condition of effective formation of metal emulsion was investigated. In experiment, Al, Sn, and Pb were used as metal phase and chloride salt was used as slag phase. The effect of gas flow rate and physical properties on the emulsion formation was investigated. The phenomena of the formation of metal emulsion were observed by high speed camera, and finally the empirical equation was proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・金属生産工学

キーワード：鉄鋼製錬、メタルエマルジョン、化学工学、高速製錬、その場観察、反応界面積、粒度分布、溶融塩

## 1. 研究開始当初の背景

一般に精錬反応速度を増加させる方策は①反応界面積の増加、②物質移動係数の増加、③分配比の向上であるが、②や③については多くの研究があるのに対して①についての

知見は非常に少ない。同一の反応速度を得る条件をメタル側・スラグ側の物質移動の混合律速で計算した例では、反応界面積が十分に大きい場合には分配比が小さいスラグでも大きな精錬速度が得られるため、少ないスラ

グで高速に精錬を実施することが可能になる。これまでスラグ（フラックス）をメタルに懸濁させる（スラグエマルジョン）ために、攪拌羽根で渦流を生成させたりフラックスをメタル浴に吹き込んだりする技術が開発されたが、安定したエマルジョンを生成させるには至っていない。エマルジョン粒子は比重差により分離するため、その安定化のためにはバルク浴の粘性抵抗が重要であり、従来のスラグエマルジョンよりも、メタル粒子を粘性の大きなスラグに懸濁させるメタルエマルジョンの方が、はるかに安定であると考えられる。しかし、この分野での知見は、これまでほとんど報告がない。本研究は、このメタルエマルジョンに着目し、これを活かす事で超高速金属精製技術の開発に繋げようとするものである。

## 2. 研究の目的

鉄鋼精錬プロセスは多くのエネルギーが必要であり、副産物として生成するスラグが環境問題を引き起こしている。これを解決するには、最低量のスラグを用いて短時間で処理を行うプロセスの開発が必要である。反応速度を向上させるには反応界面積を抜本的に拡大する事が重要であるが、本研究は、転炉や取鍋精錬といった既存のプロセスに捕らわれず、最も反応界面積を増大できる方法を検討するものである。基本的思想は「微小粒滴による超高速金属精製」であり、その基盤研究として次の2点を明らかにしたい；①微小なメタル粒子を多量にスラグ浴にエマルジョンさせる条件の定量化、②エマルジョン粒子の最大利用を可能とするプロセスの提案。

## 3. 研究の方法

本研究では、プロセスのキーとなる要素研究を平成23年度から2年間行う計画である。本申請では要素研究として主に以下の実験を行う。

(1) 低融点金属-溶融塩系でのエマルジョン生成挙動の測定：ガス攪拌により溶融塩中に懸濁した低融点金属粒子の量、粒径分布、浴内分布を測定し、それらに対する、比重、粘度、界面張力等の物性を明らかにする。同時に、界面を直接観察しエマルジョンの生成機構と発生量の関係を把握する。

(2) Zn等の溶融塩から金属浴への移動速度を測定する事で、エマルジョン生成挙動と反応速度との関係を求める。

## 4. 研究成果

鉄鋼精錬はエネルギー多消費プロセスで、

さらに副産物として大量生成するスラグが環境問題を引き起こす。この解決には、最低量のスラグで短時間処理するプロセス開発が必要である。反応速度向上には反応界面積の抜本的拡大が重要で、本研究ではメタルエマルジョンに着目し、スラグ中に溶鉄微粒子を懸濁させる条件の解明を目的とした。具体的にはエマルジョン生成能のガス流量および各種物性値の寄与・高速度カメラでの生成挙動観察を検討した。

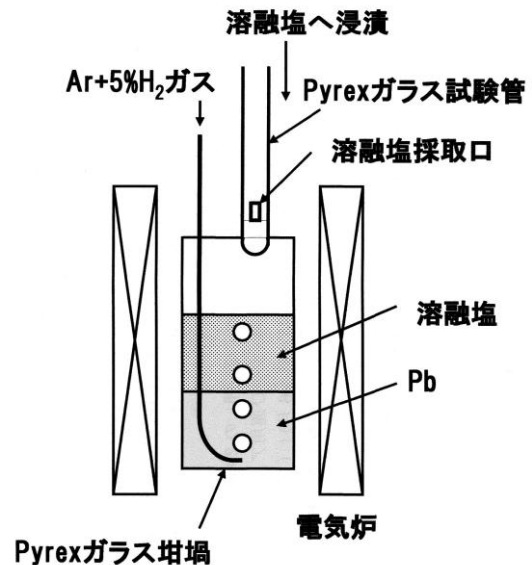


図1 予備実験に用いた装置

実験装置図を図1に示す。低融点金属および溶融塩をPyrex容器に入れ、電気炉で溶解後、ガラス製ノズルを挿入し、ガス攪拌した。一定時間毎に溶融塩を採取し、水で溶解することでメタル粒子を抽出し、粒度分布および懸濁量を評価した。メタル相にはAl, Sn, Pb、スラグ相には塩化物系溶融塩を用い、各系におけるガス流量の影響を明らかにした。この溶融塩は透明で、またパイレックス容器も透明であるため、メタル-溶融塩界面におけるエマルジョン生成挙動を直接観察可能である。

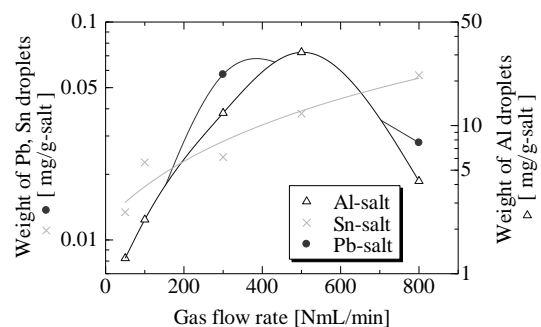


図2 ガス流量とエマルジョン量の関係

生成量計測結果を図2に示す。Sn系は流量増加とともに単純増加するのに対し、Al、Pb系は300~500mL/minで極大値を持ったあと現象する傾向を示した。この違いはメタル-熔融塩相界面気泡時のメタル粒子生成挙動の違いに起因すると考えられる。そこで、高速度カメラで界面における気泡およびメタルの分散現象を観察した。その結果、その挙動は図3に示す3種に分類された。

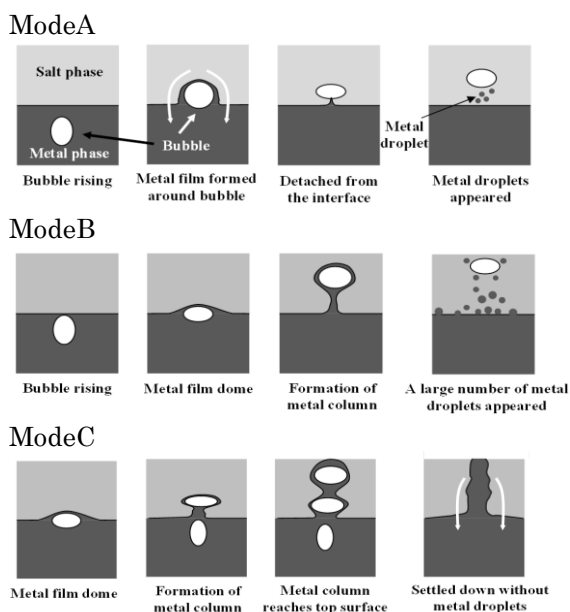


図3 高速度カメラ観察によるエマルジョン生成モード

Mode Aは、上昇気泡がメタル-熔融塩界面通過時界面に滞留し、破泡時にメタル滴が生成した。Mode Bは、気泡が界面に停滞せずメタルとともに上昇後破泡し液滴を生成した。Mode CはMode Bの破泡前に次の気泡が到達することで押し上げられ、熔融塩相最上部に達し、気相に突出して崩壊した。これらのModeは系・ガス流量により頻度が異なり、Al系：低ガス流量→ModeA,B、高ガス流量→ModeC、Pb系：低ガス流量→ModeA、高ガス流量→ModeB、Sn系：全流量→ModeAが主であった。この結果をエマルジョン量と比較すると、エマルジョン生成にはModeAまたはBが有効で、破泡時にメタル膜が十分薄いことが重要であることが判明した。モードAとBの頻度とエマルジョン生成速度の関係を図4に示す。明瞭な相関関係があることがあきらかになり、経験式を提案した。

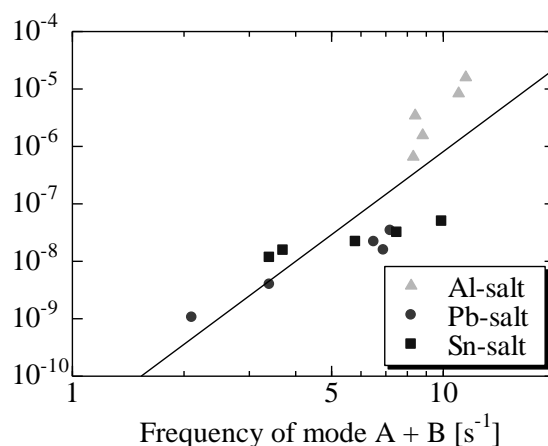


図4 エマルジョン生成速度と生成モード頻度の関係

## 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3件)

- ① Smita Kamble, Duk-Yong Song, Abitha Dhavamani, Govind Sharan Gupta, Nobuhiro Maruoka, Shin-ya Kitamura and Hiroyuki Shibata, Modelling of metal-slag emulsion, High Temperatures-High Pressures, 2013, 査読有り, 印刷中
- ② Song, D.-Y., Maruoka, N., Gupta, G.S., Shibata, H., Kitamura, S.-Y., Sasaki, N., Ogawa, Y., Matsuo, M., Influence of Bottom Bubbling Rate on Formation of Metal Emulsion in Al-Cu alloy and Molten Salt System, ISIJ International, 査読有, 52巻, 2012年, 1018-1025 DOI:10.2355/isijinternational.52.1018
- ③ Song, D.-Y., Maruoka, N., Gupta, G.S., Shibata, H., Kitamura, S.-Y., Kamble, S., Modeling of Ascending/Descending Velocity of Metal Droplet Emulsified on Pb-Salt System, Metallurgical and Materials Transactions B, 査読有, 43B, 2012年, 973-983 DOI: 10.1007/s11663-012-9642-6

[学会発表] (計5件)

- ① Nobuhiro Maruoka, Duk-Yong Song, Hiroyuki Shibata, Shin-ya Kitamura, Naoto Sasaki, Yuji Ogawa, Metal emulsion formation in low-melting-point metal/molten salt

system、The 30th JSI、2012年12月18日～2012年12月19日、Paris、フランス

- ② Smita Kamble, Duk-Yong Song, Abitha Dhavamanai, Govind Sharan Gupta, Nobuhiro Maruoka, Shin-ya Kitamura, Hiroyuki Shibata、Modelling of Metal-Slag Emulsion、5th International Congress on the Science and Technology of Steelmaking、2012年10月01日～2012年10月03日、Dresden、ドイツ
- ③ Duk-Yong Song、Influence of bottom bubbling rate on formation of metal emulsion in Sn-Sb-Cu alloy/salt system、日本鉄鋼協会第164回秋季講演大会、2012年09月17日～2012年09月19日、愛媛大学
- ④ D. Song, N. Maruoka, H. Shibata, S. Kitamura, N. Sasaki, Y. Ogawa, M. Matsuo, Influence of Density Difference on Metal Emulsion Formation by Bottom Bubbling Condition, Proceedings of High Temperature Processing Symposium 2011, 2011.2.7-8.
- ⑤ D.Y. Song, N. Maruoka, H. Shibata, S. Kitamura, N. Sasaki, Y. Ogawa, M. Matsuo, Influence of Metal Phase Density on Emulsion Formulation in Bottom Bubbling Condition, Proceedings of the Roderick Guthrie Honorary Symposium on Process Metallurgy, 2011, pp.443-440, 2011.6.6.

[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

北村 信也 (KITAMURA SHINYA)  
東北大学・多元物質科学研究所・教授  
研究者番号：80400422

##### (2) 研究分担者

丸岡 伸洋 (MARUOKA NOBUHIRO)  
東北大学・多元物質科学研究所・助教  
研究者番号：40431473

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：