

# 6.1 ロータリーファーネス溶解における溶湯の成分変動

## Chemical Compositions Fluctuation of Melting by Rotary Furnace

村川 悟                      西尾 憲行                      藤川 貴朗  
 Satoru Murakawa    Noriyuki Nishio    Takao Fujikawa

### Abstract

Cast iron have been melted by rotary furnace, to examine chemical compositions fluctuation of molten iron. Gas composition inside the furnace was fluctuated by a chemical reaction of carburizer. The gas composition was depended on the mixing ratio, when carburizer does not exist inside the furnace. C, Si and Mn contents in the molten iron decreased with melting operation time. P and S contents do not decreased. One can reduce the decrease of Si, Mn, by combining carburizer.

Keywords: rotary furnace, cast iron, melting, gas composition, chemical composition

### 1. 緒言

鑄鉄の溶解において、酸素バーナーを利用したロータリーファーネスは、従来一部で実用化の研究が行われた空気バーナーを利用した炉<sup>1)</sup>に比べて、溶解速度が速く、溶湯の化学成分が安定したとされている<sup>2)</sup>。しかし、酸素バーナーを利用したロータリーファーネスにおいても、電気炉等と比較すると、化学成分の減耗が大きい。そのため、炉を安定して操業するためには、成分と溶解条件の関係を実験的に明らかにする必要がある。しかし、この関係について、系統的に調査した報告はほとんど見あたらない。

そこで、本研究では、ロータリーファーネスの溶解において、燃料比率（λ：供給された酸素の量と供給された燃料の量の比を量論比で除した値）などの溶解条件を変えて溶解実験を行い、化学成分の変動について調査した。

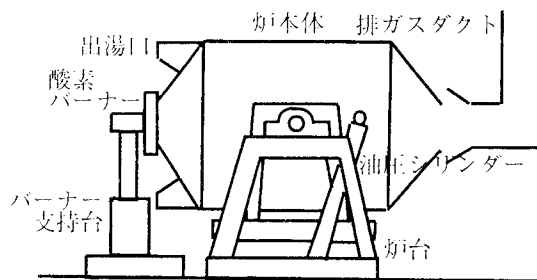


図1 ロータリーファーネス構造図

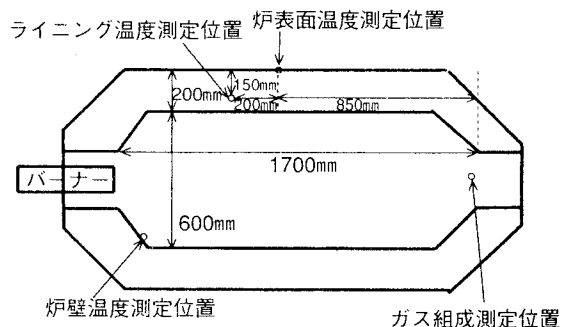


図2 ロータリーファーネス断面図

### 2. 実験方法

#### 2.1 溶解炉

図1に使用した250kgロータリーファーネスの構造図、図2に断面図、表1に仕様を示す。

炉には、図2に示す位置に、炉内のガス組成測定用の磁性管、炉のライニングの温度測定用のK熱電対、また、炉壁温度測定用のR熱電対を取り付けた。

表1 炉の仕様

炉容量	250kg
炉耐火物	アルミナキャストブル
バーナー	純酸素バーナー
酸素流量	10 ~ 100N m <sup>3</sup> /h
LPG流量	2 ~ 15N m <sup>3</sup> /h

## 2.2 溶解材料および配合

溶解材料は、銑鉄（普通銑鉄C号）と加炭剤として電極黒鉛屑を使用した。表2に、材料の化学成分を示す。

溶解材料の配合を、表3に示す。

表2 溶解材料の化学成分 (mass%)

	C	Si	Mn	P	S
銑鉄	4.0	2.3	0.44	0.12	0.01
加炭剤	99.7	—	—	—	<0.01

表3 溶解材料の配合

	銑鉄	加炭剤
加炭剤なし	200 kg	—
加炭剤あり	195 kg	9 kg

## 2.3 予熱条件および操業条件

溶解前には、予熱を行うこととし、炉壁の温度が1473 K程度、ライニングの温度が1248 K程度に達したときに予熱を終了させ、溶解材料を投入し、溶解を開始した。

溶解時間は80分とし、1773 K程度の溶湯が出湯可能な条件を基本的な操業条件（表4）として定めた。なお、表4に示した2つの操業条件において、バーナーによる発熱量が、計算上一定となるようにガス量を決定した。

表4 操業条件

	1	2
溶解量	200kg	
回転	300秒に1回転	
酸素流量	66N m <sup>3</sup> /h	78N m <sup>3</sup> /h
LPG流量	16.5N m <sup>3</sup> /h	13N m <sup>3</sup> /h
燃焼比率	0.8	1.2

\*燃焼比率 ( $\lambda$ ) = (供給された酸素の量 / 供給された燃料の量) / 量論比

## 2.4 溶解実験

溶解は、炉内のガス組成 (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) を、図2に示す位置で、ガス分析装置により連続的に測定しながら行った。さらに、材料が溶け落ちた後（約30分程度で溶け落ちる）は、約10分間隔で、溶湯の化学分析用の試料を、バーナーの横に

あるサンプリング用の窓から石英管により吸引して採取した。

溶解終了後、溶湯を直径30mmのフェノールウレタン系有機自硬性鑄型に鑄込み、分析試料を採取した。

なお、炉内ガス組成については、予熱後、材料を投入しない状態でも、 $\lambda$ を変化させて、炉内ガス組成を測定した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 炉内ガス組成

図3に、炉に材料を投入せず、炉内のガス組成を測定した結果を示す。 $\lambda$ が1.05付近でCO<sub>2</sub>ガス濃度はピークとなり、COおよびO<sub>2</sub>ガス濃度はほぼ0となった。これは、実験に用いた炉では $\lambda$ 1.05で燃焼効率が最も高いことを示している。この1.05を境界にして、 $\lambda$ は下がればCOが増加し、上がればO<sub>2</sub>が増加した。

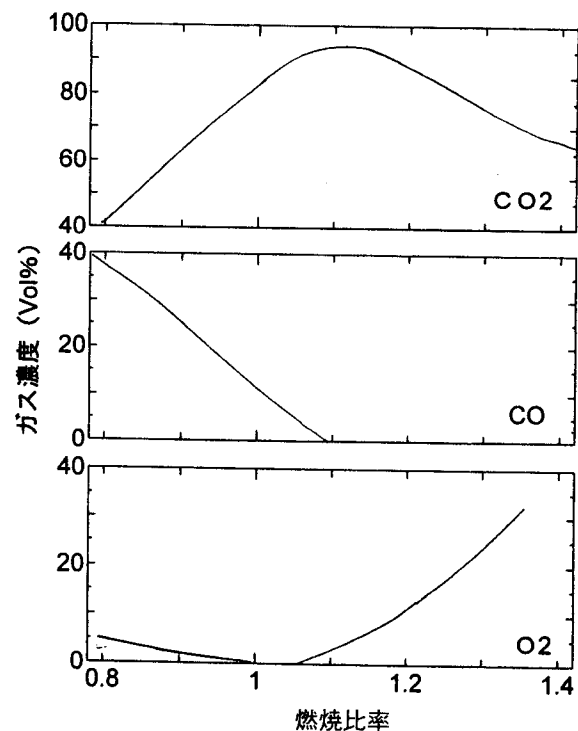


図3 材料未投入時の炉内ガス組成

図4, 図5に、 $\lambda$ および配合を変えて溶解を行ったときの炉内ガス組成の変化を示す。

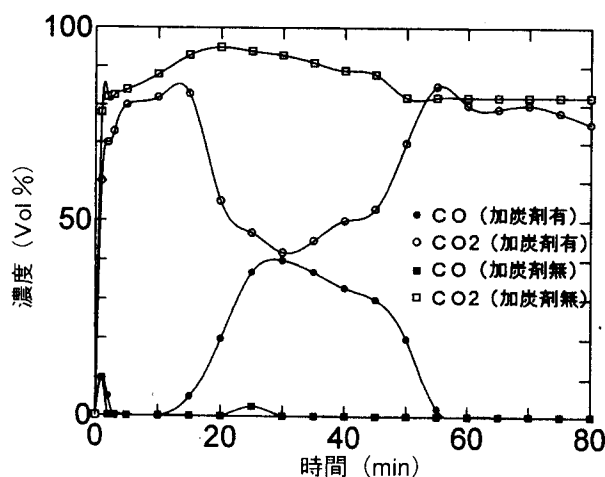


図4 炉内ガス組成 (燃焼比率 1.2)

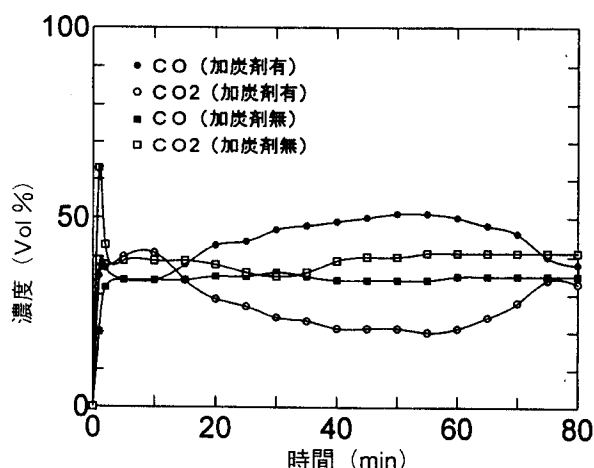


図5 炉内ガス組成 (燃焼比率 0.8)

$\lambda$  1.2で、加炭剤を配合しないとき、ガス組成は、溶解時間が55分程度になるまでは変動し、その後一定となる。また、溶解時間25分前後に、COの発生が認められる。55分以後の、ガス組成は、材料未投入時の炉内ガス組成とほぼ一致している。このとき、炉内の溶湯は上面のスラグにより炉内雰囲気と遮断されている状態である。このことから、溶湯がスラグで覆われると、炉内雰囲気と溶湯の反応によるガスの発生がないことを示している。また、25分前後に認められるCOの発生については、この時間が溶け落ちが始まる時間と一致していることから、溶け落ちが始まる段階で、材料中のCが炉内のCO<sub>2</sub>と反応していると考えられる。

$\lambda$  0.8で、加炭剤を配合しないときにおいても、炉内ガス組成は、溶解時間55分以後は材料未投入時の炉内ガス組成と一致した。さらには、溶け落ち始まりの溶解時間30分前後にCOの増加が認め

られ、 $\lambda$  1.2と同様の傾向を示した。

加炭剤を配合したときは、 $\lambda$  1.2, 0.8共に加炭剤の反応によるCOの発生が溶解途中で認められる。このCOの発生は、溶解直後には認められず、溶解時間が約15分で始まっている。なお、COの発生が認められる時間以外は、炉内ガス組成は、加炭剤を配合しないときと同様であった。よって、COが発生する反応以外は、炉内のガス発生反応は、加炭剤を配合しないときと同一と考えられる。以上の結果より、炉内ガス組成は、主に加炭剤の反応により発生するCOガスにより変動し、加炭剤が反応しないときは、バーナーの $\lambda$ により決定されるといえる。

### 3.2 溶湯の成分変動

図6に、溶解時のCの変動(溶湯温度とCの関係)を示す。1575 K付近でCが上昇しており、加炭剤

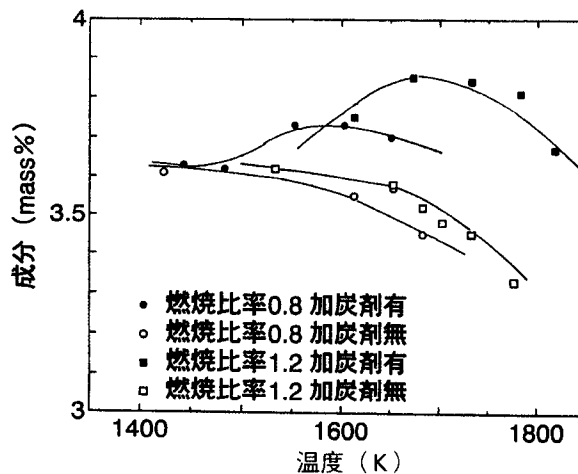


図6 Cの変動

による加炭は主に溶湯温度が1575 K以上に達したときに、起こることを示している。Cは、1400 K付近で3.6%であるが、溶解材料中のCは、表に示したとおり4.0%であり、溶け落ちるまでの溶解過程において10%程度減耗している。 $\lambda$ とCの変動の関係については、明確な関係は認められない。

図7に、溶解時のSiの変動を示す。Siの減耗は、加炭剤を配合したときには小さくなる傾向がみられる。また、1725 Kより高い温度ではSiの減耗率が大きくなる傾向が認められ、1725 K付近より高い温度では、Siの酸化が活発になることを示している。溶け落ち前の減耗については、Cと異な

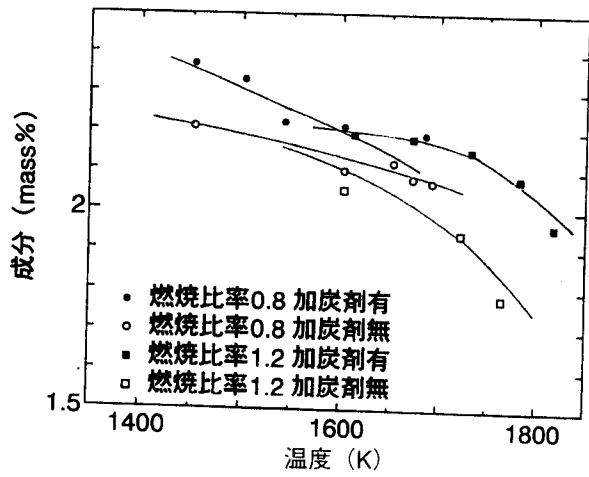


図7 Siの変動

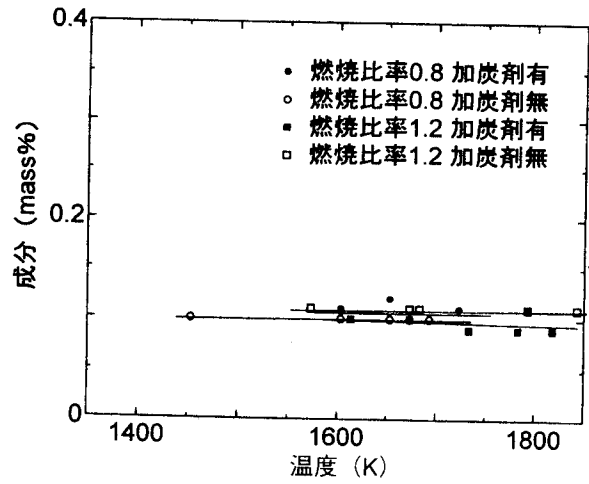


図9 Pの変動

り、明らかな減耗は認められない。 $\lambda$ とSiの変動の関係についてはCと同様に認められない。

図8に、溶解時のMnの変動を示す。Mnの減耗と加炭剤の配合の関係、溶け落ち前の減耗、 $\lambda$ と減耗の関係については、Siと同じ傾向を示した。また、減耗率の変化については、1700 K付近より、高い温度で減耗率が大きくなる傾向が認められた。

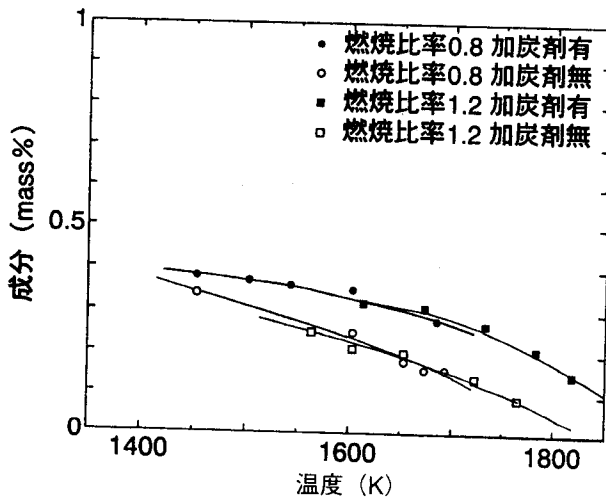


図8 Mnの変動

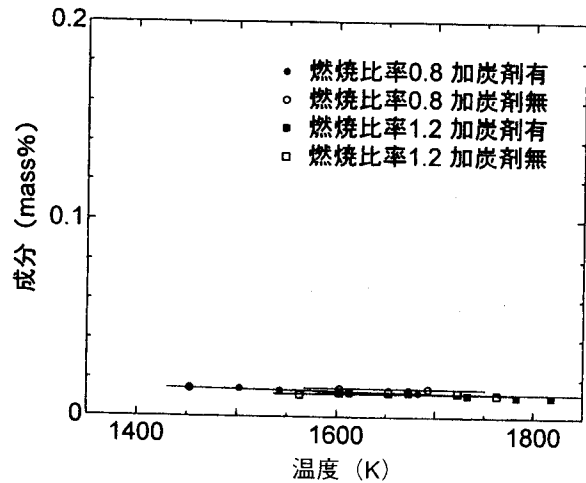


図10 Sの変動

緩和するのは、炉内ガス組成で測定された加炭剤によるCOの発生が一因であると考えられる。

このCOについては、 $\lambda$ を小さくすることにより、炉内のCOを増加させることが可能である。しかし、今回の結果では、 $\lambda$ とC、Si、Mnの減耗には明確な関係は認められなかった。

一方、 $\lambda$ と成分の減耗については、 $\lambda$ と減耗の間には関係が認められるとする報告<sup>3)4)</sup>がある。しかし、この報告では、加炭剤が存在する状態での実験であると共に、実操業実験であり、今回の実験と比べると投入された溶解材料も鋼くず、合金鉄などを含んでおり溶解条件が複雑であると考えられる。よって、 $\lambda$ のみが成分の変動に影響をしているか否かは明らかでない。成分の減耗については、加炭剤が溶解材料の近傍でCOを発生させていることにより、溶解材料近傍でのCO濃度が高いこと、加炭剤のCが酸化したSi、Mnと反応して還元反応を起こすことなどを要因と考えるべきである。

図9に、溶解時のPの変動を、図10に、Sの変動を示す。P、S共に、減耗は認められない。

### 3.3 成分変動の要因

ロータリーファーネスのSi、Mnの変動については、加炭剤を配合することにより減耗が抑えられることが、明らかである。これについては、無煙炭を添加することにより、金属の酸化(Si、Mnの酸化)を保護することができるとの報告<sup>2)</sup>があり、今回の結果と一致する。加炭剤が減耗を

#### 4. 結 言

ロータリーファーネスの溶解において、 $\lambda$ 、材料配合などを変化させて鑄鉄の溶解を行った結果、溶湯成分の変動について、以下のことが明らかになった。

(1) 炉内ガス組成は、加炭剤の反応により発生するCOガスにより変動する。

(2) 炉内ガス組成は、加炭剤がないとき、 $\lambda$ により決まる。

(3) 溶解において、溶湯のC, Si, Mnは時間と共に減耗するが、P, Sは減耗しない。

(4) 溶解におけるSi, Mnの減耗は、加炭剤を配合することにより、抑えることが可能である。

#### 5. 謝 辞

本研究は、平成9年度中小企業庁の石油代替エネルギー等技術改善費補助金を受けて実施したものである。ご指導、ご協力いただいた工業技術院名古屋工業技術研究所技術交流推進センター（現：産学官連携推進センター）町田充秀所長をはじめ、中小企業庁、通商産業省中部通商産業局の方々に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 安達秀男, 御沢三郎, 横関透, 小松俊明, 酒井義秋: 鑄物 41 (1969), 993
- 2) M. Massei and C. Taccone: AFS Trans, 100 (1992), 377
- 3) G. Gross and A. Managnotti: Giesserei, 79 (1992), 12, 510
- 4) H. Kadelka and P. Bohmfeld: Gesserei-Praxis: 17 (1993), 332