

6.1 ロータリーファーネスによる鋳鉄の溶解

Melting of Grey Cast Iron by Rotary Furnace

村川 悟 柴田 周治 増田 峰知 金森 陽一
Satoru Murakawa Shuji Shibata Takanori Masuda Yoichi Kanamori

Abstract

Rotary furnace is a new type furnace that utilized an oxygen burner. Cast iron were melted by this furnace, to examine an situation of melting. The gas inside a furnace was composed of oxygen, carbon dioxide, carbon monoxide mainly. Carbon monoxide was generated by a reaction of a carburizer. A content percent of carbon, silicon, manganese in molten metal always decreased with time. slag showed strong acidity.

Keywords: rotary furnace, grey cast iron, melting, molten metal, carburizer, gas composition

1. 緒言

ロータリーファーネスは、横型の炉体を回転しながら、燃料ガスをバーナーで燃焼させ、鋳鉄を溶解する炉である。1920～30年頃に、燃料ガスを空気で燃焼させるバーナー（空気バーナー）を利用した炉がヨーロッパで利用され始め、日本においては1970年頃、数社が試験的に導入した¹⁾。しかし、溶解速度が遅いこと、溶湯の管理が難しいことなどにより、普及しなかった²⁾。

1986年にイタリアで、燃料ガスを純酸素で燃焼させるバーナー（純酸素バーナー）を採用した新しいロータリーファーネスが開発された。この炉は、従来の炉に比べて、溶解速度が大幅に上がり、溶湯の化学成分の安定化が実現した。そのため、ヨーロッパでは、ロータリーファーネスが普及し始めており、我が国でもこの炉への関心が高まっている^{3) 4)}。

そこで、純酸素バーナーを利用したロータリーファーネスについて、ねずみ鋳鉄を溶解し、溶解時の炉の状況（炉内のガス組成など）について検討を行った。

2. ロータリーファーネスの構造と操業方法

2.1 構造

図1に、ロータリーファーネスの構造を示す。炉は、炉本体と酸素バーナー、炉本体を回転・傾動させる炉台、バーナーを支える支持台、排ガスダクトからなっている。炉本体は、円錐状の炉体がフランジにより円筒状の炉体に固定されたものであり、炉に回転運動を与える炉台の支持ローラーにより支えられている。また、炉の傾動は、油圧シリンダーにより行われる。

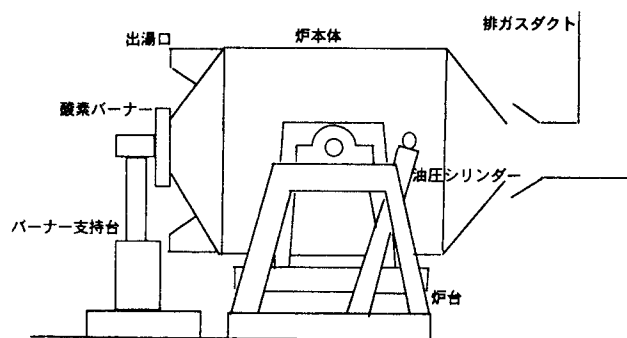


図1 ロータリーファーネス構造図

2.2 操業方法

2.2 (a) 予熱

溶解時間を短縮するため、材料投入前にバーナーによる炉の予熱を行う。この予熱は、省略可能である。また、連続して溶解する場合は、予熱は不要である。

炉の予熱は、溶解時の急激な加熱によるライニングの損傷、材料投入時の材料のライニングへの衝突衝撃による損傷を和らげ、ライニングの寿命を長くすることにつながる。

2.2 (b) 材料投入

材料投入は排ガス口から投入する。このため、投入できる材料の大きさは排ガス口の大きさで決まる。また、材料投入後における炉内の材料の高さが排ガス口より高い場合、溶解時の回転により材料が排ガス口より炉外へ落ちる可能性がある。

材料投入は、①バーナーを炉体から離す、②炉体を傾動する、③排ガス口から材料を投入する、④炉を回転させて、材料を炉内に均一に分布させる、⑤炉体を水平に戻す、⑥バーナーを炉にセットするという手順で行われる。

2.2 (c) 溶解

溶解はバーナーを点火し、炉体を回転させながら行う。材料は、バーナーからの輻射熱とバーナーの輻射で熱せられたライニングからの伝熱により溶ける。溶解時の炉の回転方法としては、連続回転または間欠回転があり、回転速度も変えることが可能である。溶解時間は炉の容量等により異なるが、通常、1～2時間程度である。バーナーを止めて、バーナー口から温度測定を行い、所定の温度になったことを確認した後に、生砂をつめた出湯口を開けて出湯する(図2)。出湯終了後は、直ちに炉を傾動させて、バーナー口からスラグの排出を行う。

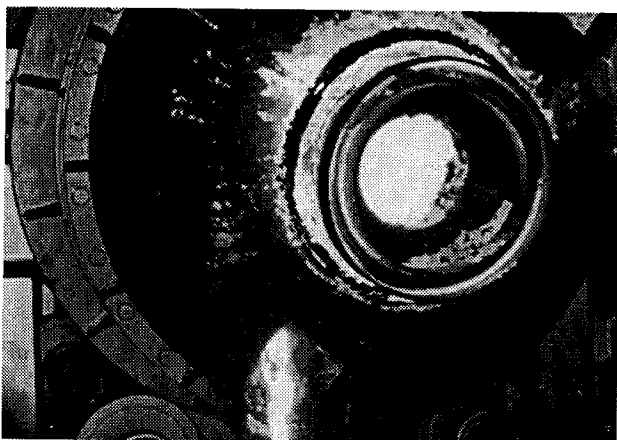


図2 出湯

3. 実験方法

3.1 ロータリーファーネス (図3)

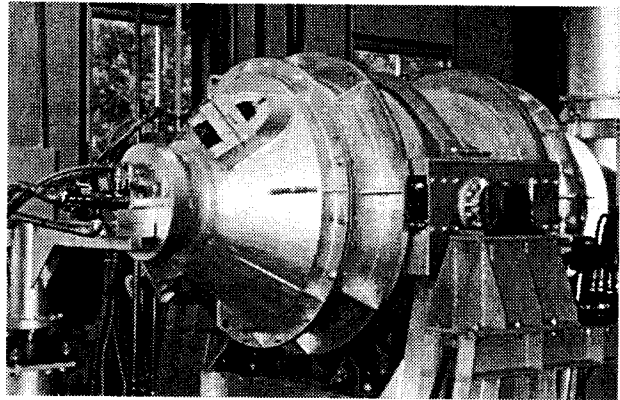


図3 ロータリーファーネス外観

図4に使用した250 kg ロータリーファーネスの断面図、表1に仕様を示す。

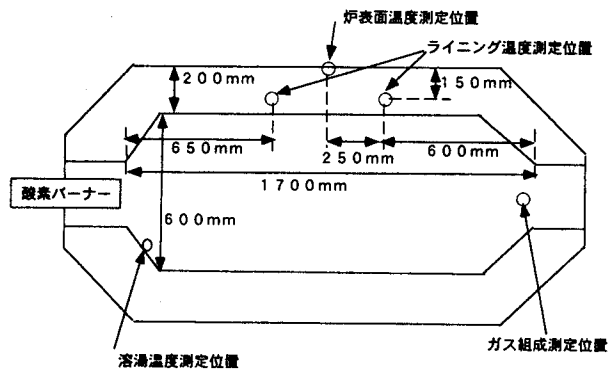


図4 ロータリーファーネス断面図

炉には、図4に示したように炉内のガスのサンプリング用に磁性管を、炉表面とライニングの温度測定用にK熱電対、溶湯温度測定用にR熱電対を取り付けた。

表1 ロータリーファーネスの仕様

炉容量	250 kg
炉耐火物	アルミナキャストブル $\left[\begin{array}{l} \text{Al}_2\text{O}_3 \quad 79 \text{ mass\%} \\ \text{SiO}_2 \quad 3 \text{ mass\%} \\ \text{SiC} \quad 15 \text{ mass\%} \end{array} \right]$
バーナー	純酸素バーナー
燃料	LPG
酸素流量	10 ~ 100 Nm^3/h
燃料流量	2 ~ 15 Nm^3/h

3.2 操業条件

本研究では、1回の実験で連続して2回の溶解を行った。1回目の溶解前には予熱を行うこととし、炉表面温度が473 K、ライニングの温度が1173 K程度に達したときに予熱を終了させた（この時の炉内のライニングの表面温度は放射温度計の測定で1623 K程度）。

また、実験条件を一定とするために、1時間以内でねずみ鉄鑄物の溶製が可能な条件を、基本的な操業条件（表2）として定めた。

表2 操業条件

溶解量	200 kg
酸素流量	13 Nm ³ /h
LPG流量	78 Nm ³ /h
燃焼比率λ	1.2
回転	溶け落ち前 間欠運転 5分に1回 90度回転 溶け落ち後 連続運転 80秒に1回転

3.3 溶解材料および目標成分

溶解材料の配合は、鉄鉄6：鋼くず4を基本とした。表3に使用した材料の化学組成を示す。鉄鉄はC鉄，鋼くずはかさ比重1000 kg/m³程度，単重0.1 kg程度の鋼屑板（厚さ2～3mm），フェロシリコンは1号（75 mass % Si サイズ10～50mm），フェロマンガンは高炭素フェロマンガン1号（74 mass % Mn サイズ50～100mm），加炭剤は電極棒黒鉛屑を使用した。

表3 溶解材料の化学成分 (mass %)

	C	Si	Mn
鉄鉄 (C鉄)	4.30	2.38	0.46
鋼くず	0.05	0.003	0.34
フェロシリコン	0.09	7.52	—
フェロマンガン	6.93	—	7.37
加炭材	99.7	—	—

溶湯の目標成分は、表4に示す範囲とした。溶湯は接種材（75 mass % Si）を0.3%接種して、直径30mmのフラン自硬性鑄型に鑄込んだ。

表4 溶製した鑄鉄の目標成分 (mass %)

成分	C	Si	Mn
目標範囲	3.3～3.5	1.5～2.1	0.5～0.8

3.4 溶解実験

3.4 (a) 溶解時の炉の状況

基本的な操業条件として定めた条件で溶解を行い、炉に取り付けられたのぞき窓から目視により炉内の状況を観察した。溶解時には、炉に取り付けたガスサンプリング用磁性管を利用して炉内のガス組成、熱電対による溶湯温度などを測定した。さらに、溶湯の化学成分分析用試料を、溶け落ち後、約5分間隔でバーナー口から採取した。

3.4 (b) 操業条件と炉内ガス組成

ロータリーファーンエスの操業条件としては、バーナーの混合比・炉の回転条件等が変更可能である。そこで、混合比を1～1.2に変化させて溶解し、炉内のガス組成を測定した。また、回転条件として、連続回転と間欠回転でそれぞれの溶解を行い、炉内のガス組成を比較した。

4. 実験結果及び考察

4.1 溶解時の炉の状況

4.1 (a) 目視による観察

図5に、溶解状況の観察結果を示す。

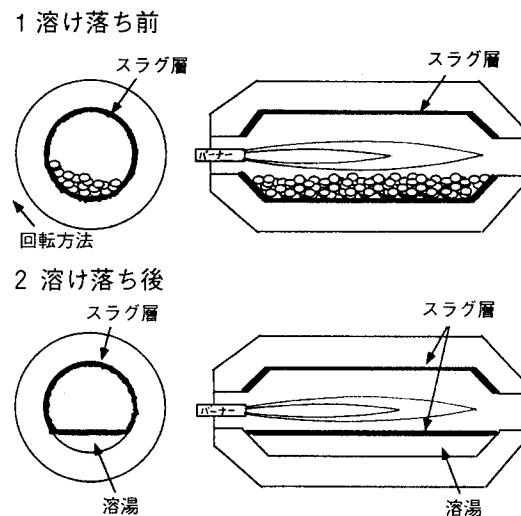


図5 溶解状況のモデル図

溶け落ち前においては、ライニングの表面は前回溶解時のスラグが残存している。このスラグは、予熱により材料投入時には半熔融状態であった。そのため、投入した材料は、炉の回転に伴いスラグと混ざり合った。すなわち、溶け落ち前においては、スラグと材料は混在状態となった。

溶け落ち後は、スラグと溶湯は分離し、スラグが溶湯の上面を覆った。この結果、炉内雰囲気とも溶湯は隔絶されたと考えてよい。

4.1 (b) 炉内ガス組成

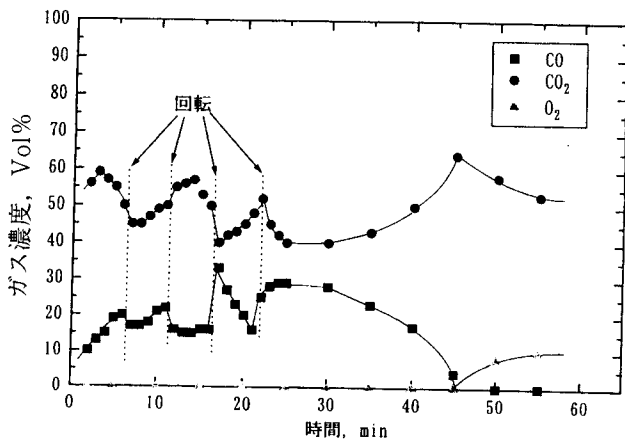


図6 溶解時の炉内ガス組成

図6に、溶解時の炉内ガス組成を示す。炉内ガスは主にO₂、CO₂、COで構成されており、その組成比は、溶解の進行に伴い大きく変化した。

表5に示すように、材料を投入せずにバーナーを燃焼させたとき、炉内ガスからCOは測定されない。しかし、図6に示したとおり溶解時にはCOの発生が認められた。これは、炉内が高温であるために加炭剤がCO₂と反応してCOを発生していたことによるものと考えられる。よって、炉内は、加炭剤とO₂と反応による発熱反応と、加炭剤とCOの反応による吸熱反応が同時に起こっていることとなる。

表5 材料未投入時の炉内ガス成分 (vol%)

O ₂	CO ₂	CO
15	80	0

溶製した鋳鉄中のCの化学成分の値から逆算すると、加炭剤は70～80%程度が炉内のガスと反応していると推定される。

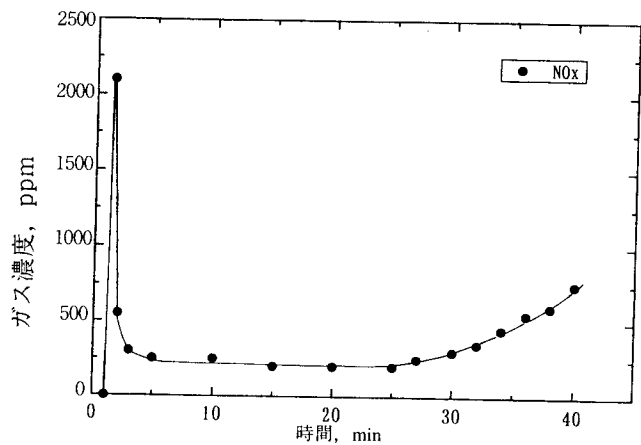


図7 溶解時の炉内ガス組成

図7に、溶解時のNO_xの測定例を示す。NO_xは、溶解開始直後は、数千ppm程度の値を示すが、その後は数百ppm程度でほぼ一定となった。純酸素バーナーを利用したロータリーファーンズにおいて、バーナーの燃焼によってはNO_xは発生しない。よって、NO_xの発生は隙間等から炉内に流入した空気中のN₂がO₂と反応して発生するものと考えられる。溶解開始直後のNO_xが相対的に高い値を示すのは、バーナー点火直後(溶解開始直後)には、炉内が空気で満たされており、この空気中のN₂が発生源となるためと考えられる。

4.1 (c) 溶湯およびスラグ

図8に、溶解時の溶け落ち後から1673 Kまでの溶湯の温度の測定例を示す。溶湯の昇温速度は

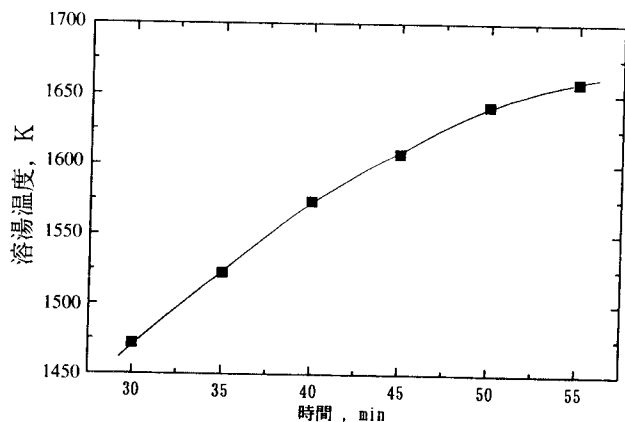


図8 溶解時の溶湯温度

徐々に下がる傾向を示しており、溶湯の温度の上昇に伴いライニングとの温度勾配が小さくなることから、その原因と考えられる。

図9に、溶解時の化学成分を示す。C, Si, Mnの値は溶解時間の経過とともに下降した。すなわち、ロータリーファーンエスの溶解においては、C, Si, Mnは溶け落ちてから、出湯までの間、常に減耗していることを示している。

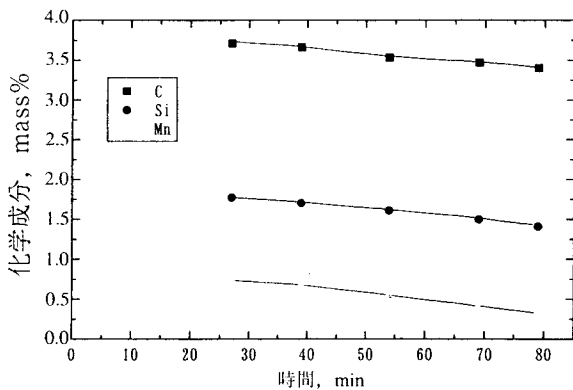


図9 溶解時の化学成分の変動

表6に、スラグの化学成分の例を示す。Fe₂O₃の量は、通常のキュボラのスラグ(0.5~5 mass%)⁵⁾と比較して高い値となっている。また、塩基度についても0.1以下の値となり非常に強い酸性とみなされる。よって、キュボラに比べて鉄の酸化損失が大きいとみられる。

表6 スラグの化学成分

(mass%)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO
44.1	26.2	24.1	1.7	0.2	2.1

* 塩基度 = (CaO+MgO) / SiO₂

4.2 操業条件と炉内ガス組成

図10に、バーナーの燃焼比率を変化させたときの炉内ガス組成を示す。燃焼比率が1.2の方が、1.0よりCOガス濃度が低い傾向となった。これは、1.2の場合、バーナーの未燃焼のO₂ガスが、炉内のCOガスと二次燃焼を起こし、COガスの濃

度が低くなることを示している。なお、この二次燃焼の影響で、溶解時間について、燃焼比率1.2の方が短い傾向が認められた。

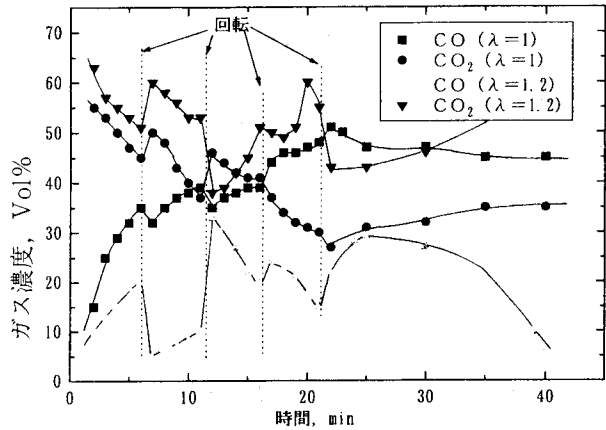


図10 溶解時の炉内ガス組成

図11に、溶け落ち前にも連続回転をした場合の炉内ガス組成を示す。前出の図6で示した溶け落ち前に間欠運転した場合と比較して、炉内のガス組成の変化が緩やかとなった。これは、間欠運転のときには、静止状態で徐々に炉内ガスと反応している加炭剤が、回転時には炉の中を移動し、炉内ガスとの接触状況が急に変わるためと考えられる。

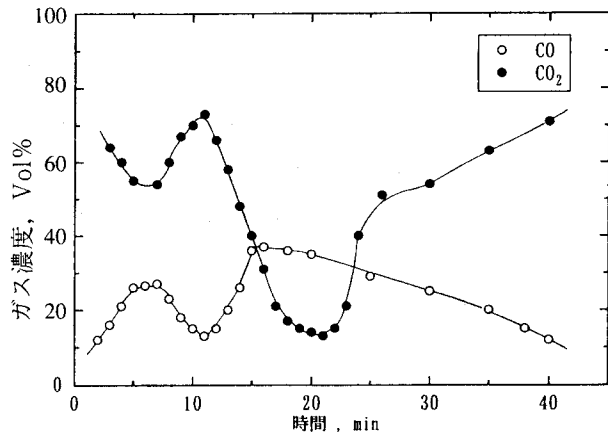


図11 溶解時の炉内ガス組成

5. 結 言

ロータリーファーンエスによりねずみ鑄鉄の溶解を行った結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 炉内のガスは、主にO₂, CO₂, COで構成されており、COは加炭剤の反応により発生する。

- (2) 加炭剤は、加炭の効果以外に、燃焼して発熱する効果がある。
- (3) 溶湯のC, Si, Mnは溶け落ち直後から出湯まで常に減耗する。
- (4) スラグは、 Fe_2O_3 の量が通常のキュポラのスラグより高く、強い酸性である。
- (5) バーナーの混合比を1より大きくすると、炉内のCOの濃度が低くなる。

謝 辞

本研究は、平成8年度中小企業庁技術開発研究費補助金事業として実施したもので、ご指導、ご協力いただきまし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ならびに共同研究機関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: 鋳物 41 (1969), 993
- (2) M. Mazzei and C. Taccone: AFS Trans, 100 (1992) 377
- (3) 石野亨: 鋳鍛造と熱処理 47 (1994) 10, 3
- (4) 中小企業事業団: 廃ガス利用天然ガス回転炉公開説明会資料 (1996)
- (5) 日本鋳物協会編: 鋳鉄溶解ハンドブック (1983), 58