

# ロータリーファーネスによる銑だらいの溶解

金森 陽一\* , 河合 真\* , 樋尾 勝也\*

Development of Turning of Cast Iron Melting by Rotary Furnace

by Yoichi KANAMORI , Makoto KAWAI and Katsuya HIO

## 要旨

ロータリーファーネスによる銑だらいの溶解を行い、燃焼比率、酸素及び燃料ガスの流量、銑だらいの投入時期の溶解歩留に与える影響を調査した。また、溶解歩留の向上策について検討した。その結果以下のことが明らかになった。(1) 銑だらいの溶解ではCOガスの発生量が多い。(2) 及び流量によってCOの発生終了時期が異なる。(3) 銑だらいの投入時期の変更により大幅に溶解歩留は向上する。

## 1. はじめに

鑄鉄の溶解用原材料としての銑だらいの利用は、コスト低減、資源の有効利用の面から期待されている。しかしながら、従来のキュボラおよび電気炉を用いた鑄鉄の溶解では、原材料に銑だらいを使用する場合、表面積が大きく酸化しやすい、かさ比重が小さく扱いが困難であるなどの問題がある。

現在、ロータリーファーネス(以下、RFと示す)は、キュボラや電気炉に変わる新しい鑄鉄溶解炉として注目されている<sup>1)</sup>。著者らはRFによる銑だらいの溶解を行い、FC300程度の鑄鉄の溶解が可能であることを明らかにした<sup>2)</sup>。しかしながら同時に、溶解歩留(投入した原材料の総重量に対して出湯した鑄鉄の総重量歩留)の低下の問題も確認した。そこで、燃焼比率(供給酸素量/供給燃料量)量論比)、酸素および燃料ガス(純プロパン)流量、銑だらいの投入時期の溶解歩留に及ぼす影響を調査し、溶解歩留向上策を検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 原材料

主原材料にはJIS G 2202 1種1号C銑鉄を用いた。これに24.1mass%(以下%と示す)銑だらい、加炭材、

Fe-Si、Fe-Mnを配合し鑄鉄を溶解した。原材料の配合量はすべての実験で共通とし、あらかじめ予備実験により求めた。配合量を定める予備実験では、 $\alpha=1.1$ 、酸素流量 $63.3\text{Nm}^3/\text{h}$ 、燃料ガス流量 $11.5\text{Nm}^3/\text{h}$ でFC300の鑄鉄が溶製できることを条件とした。表1に使用した原材料の化学成分値と配合量を示す。

### 2.2 溶解実験

鑄鉄の溶解条件を統一するため、熱電対を取り付けた炉内の耐火物の温度が約 $1173\text{K}$ になった時点で原材料を投入した。なお、一部の実験では、銑だらいの投入時期の溶解歩留に及ぼす影響を調査するため、銑だらい等の投入を溶け落ち開始直後に行った。1回分の溶解量は、すべての実験において $200\text{kg}$ とした。材料投入開始から10分後に炉の酸素バーナーを着火し、溶解開始とした。ガスの条件については、 $\alpha$ を $1.1 \sim 1.5$ とし、酸素および燃料ガスの流量をそれぞれ $63.3 \sim 97.5\text{Nm}^3/\text{h}$ 、 $11.5 \sim 15\text{Nm}^3/\text{h}$ とした。溶解中は逐次炉壁温度、溶湯温度及び炉内のCOガス濃度を測定した。なお測定方法はこれまでの報告の通りである<sup>2)</sup><sup>3)</sup>。

出湯後、溶解歩留測定及び化学成分分析を行った。溶解歩留は、全溶解量( $200\text{kg}$ )に対する出湯量とした。化学成分分析については酸素は赤外線吸収法、窒素は熱伝導度法により行った。

\* 金属センター研究グループ

表1 原材料の化学成分と配合量

	C(%)	Si(%)	Mn(%)	配合量 (kg)
銑鉄	4.1	2.2	0.5	144.4
銑だらい	3.9	2.5	0.4	48.1
加炭材	99.7	-	-	4.4
Fe-Si	0.1	75.2	-	1.0
Fe-Mn	6.8	0.1	74.4	2.1

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 の影響

の溶解歩留に及ぼす影響を調べるために、燃料ガスの流量を  $11.5\text{Nm}^3/\text{h}$  で固定し、 $\alpha$  を 1.1 ~ 1.5 まで変化させ銑鉄の溶解を行った。表 2 に  $\alpha$  と溶解歩留の関係を示す。溶解歩留は  $\alpha=1.1$  のとき 85.2% で最も悪く、 $\alpha=1.3$  のとき 92.0% で最も良かった。図 1 に  $\alpha$  を 1.1 ~ 1.5 まで変えた際の溶解時間と炉内の CO ガス濃度、炉壁温度の関係を示す。24.1%銑だらいの溶解では、 $\alpha$  が 1.1 ~ 1.5 のような過剰な  $\text{O}_2$  の雰囲気でも溶解直後から CO ガスを発生した。この結果は、溶解中に CO が発生しない、「材料なし」や「銑鉄のみ」の実験結果と異なっていた<sup>2)3)</sup>。また、図 1 より CO ガスの発生終了時期は、 $\alpha$  の値が大きいほど早くなった。即ち、 $\alpha$  が 1.1 では溶解開始から 40 分を過ぎても CO ガスが発生しているのに対し、 $\alpha$  が 1.3 では溶解開始から約 30 分、1.5 では約 20 分で CO ガスの発生は終了した。この結果は、過剰酸素量が多ければ CO 発生時間も短くなることを示している。

燃焼に使用されなかった過剰酸素は加炭材や銑だらい中の脱落した C と式(1)の反応<sup>4)</sup>により  $\text{CO}_2$  ガスとなる。また、高温では燃焼や式(1)により発生した  $\text{CO}_2$  ガスの一部は式(2)の反応により CO ガスを発生すると報告されている<sup>5)</sup>。CO の発生で問題になるのは、昇温速度の低下である。これは式(2)が吸熱反応であることに起因する。そこで、 $\alpha$  を変えた 3 種類の実験における CO の発生と炉壁の昇温速度との関係について検討した。図 1 では傾きが炉壁の昇温速度を示している。 $\alpha$  が 1.3 と 1.5 では CO の発生が終了するのを境に傾きが大きく変化し、CO 発生中より明らかに CO の発生終了後の傾きが大きくなった。これは CO 発生中の炉壁昇温速度は遅く、CO の発生終了後の炉壁昇温速度は速くなっていることを示している。従って、CO の発生は炉壁の昇温速度に悪影響を及ぼすことがわかった。

による溶解歩留の違いについて考察する。バーナー燃焼時の未反応の過剰酸素量は  $\alpha$  に依存し、 $\alpha$  が大

きくなると過剰酸素量も多くなる。未反応の酸素は、炉内で加炭材や銑だらいから脱落した C 及び鉄との酸化反応により消費される。これらの反応は発熱反応である。また一方で、吸熱反応である式(2)の反応が同時に起こるため、発熱量と吸熱量の差が原材料の昇温速度に関与すると考えられる。原材料の 1473K への到達時間は  $\alpha=1.1, 1.3, 1.5$  でそれぞれ約 33 分、18 分、10 分であった。この結果から推測すると、発熱量と吸熱量の差はプラスとなり、 $\alpha$  が大きくなるとその差も大きくなると考えられる。従って、CO 発生中の原材料の昇温速度は  $\alpha$  が大きくなると速くなると考えられる。また、 $\alpha=1.1$  の場合でも炉内の酸素濃度を測定した結果では 5% ~ 10% 程度酸素が残存する。従って、バーナーからの排気は過剰酸素雰囲気にもかかわらず  $\alpha$  が 1.3 や 1.5 では昇温速度が速いため、1.1 に比べ溶解歩留が向上したと考えられる。しかしながら、CO が発生している期間中の炉壁の昇温速度には明らかな差がみられなかった。また、 $\alpha$  が 1.3 と 1.5 を比較すると、1.5 の溶解歩留はわずかに低下した。これは過剰酸素による原材料の酸化が進んだことによると考えられる。

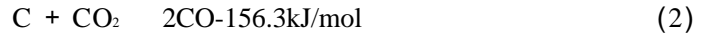
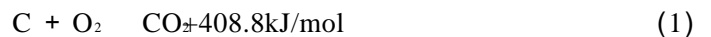


表2  $\alpha$  と溶解歩留の関係

	1.1	1.3	1.5
溶解歩留(%)	85.2	92.0	91.6

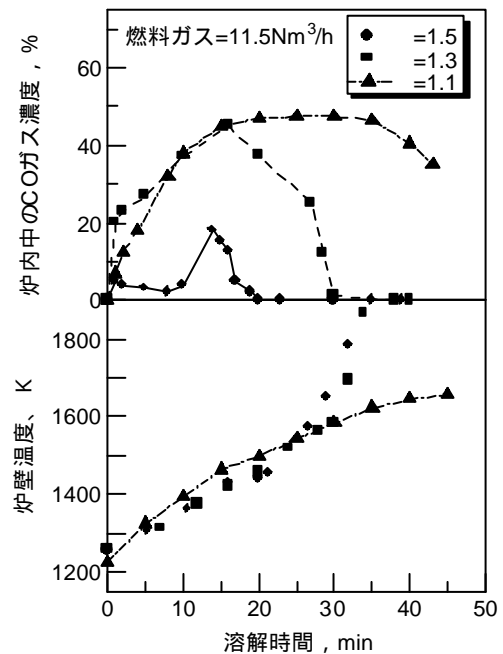


図1 溶解時間と炉内のCOガス濃度、炉壁温度の関係

### 3.2 流量の影響

流量の影響を調べるために、 $\phi$  を 1.3 で固定して、酸素及び燃料ガスの流量がそれぞれ  $74.8\text{Nm}^3/\text{h}$  と  $11.5\text{Nm}^3/\text{h}$  (以下, 条件 A と示す),  $97.5\text{Nm}^3/\text{h}$  と  $15\text{Nm}^3/\text{h}$  (以下, 条件 B と示す) の条件について溶解を行った。流量が多い条件 B の溶解歩留は 93.3% となり, 条件 A の 92.0% に比べ, 1.3% 向上した。

図 2 に  $\phi$  を 1.3 で固定し流量を変えた際の溶解時間と炉内の CO ガス濃度, 炉壁温度の関係を示す。条件 A では溶解開始から約 30 分間 CO が発生した。条件 B では溶解開始から約 17 分間 CO が発生していた。条件 A, B を比較すると, 流量が多い B は CO の発生期間が短くなることがわかった。従って, 酸素及び燃料の流量を変更することにより CO の発生終了時間をある程度コントロールできることがわかる。条件 A, B ともに炉壁の昇温速度は CO の発生が終了するのを境に傾きが大きく変化し, CO 発生中より明らかに CO の発生終了後の傾きが大きくなった。

流量による溶解歩留の変化は, 流量により過剰酸素量が変わるためであると考えられる。の結果と同様に流量が多いと過剰酸素量が増え, 原材料の昇温速度が速くなり, 溶解歩留が向上したと考えられる。

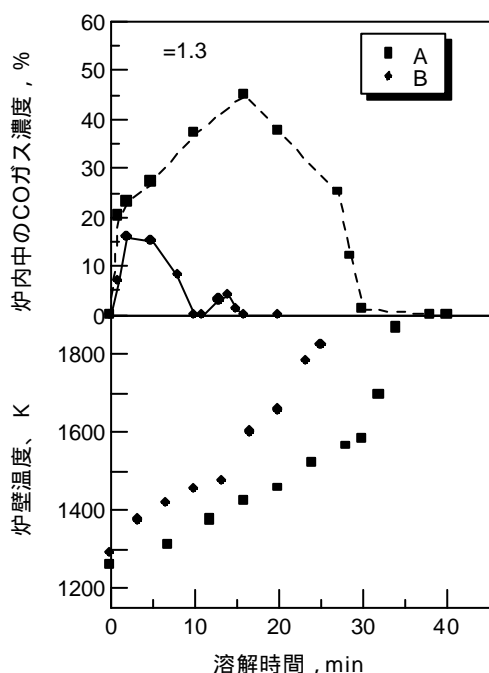


図2 溶解時間と炉内のCOガス濃度、炉壁温度の関係

### 3.3 溶解歩留向上策の検討

#### 銑だらいの投入時期の変更

銑だらいは銑鉄に比べ表面積が大きいいため酸化されやすく, 溶解歩留が低下すると考えられる。そこで銑だらいの投入時期を溶け落ち直後に変更して溶解を行った。具体的には, 銑鉄と加炭材 2kg を最初に投入し, 溶け落ちたら, 銑だらい, Fe-Si, Fe-Mn, 残りの加炭材 (2.43kg) を投入し鑄鉄を溶製した。最初に投入する加炭材は銑鉄の酸化防止用である。なお  $\phi$  は 1.3 である。

溶解開始 10 分後に銑だらい等を投入した。投入には約 2 分要した。投入により炉壁温度は約 180K 低下した。溶解開始から 39 分後, 1836K の溶湯を出湯した。この結果, 溶解歩留は 95.9% まで向上し, 加炭材を最初に全部投入するより約 1% 溶解歩留が向上した。従って, この方法は溶解歩留向上に非常に有効であることがわかった。

著者らが銑鉄に銑だらいを 25% 配合して溶解を行った結果, 溶製した鑄鉄中には酸素が 70ppm, 窒素が 30ppm 程度含有していることを確認した<sup>2)</sup>。銑だらいの投入時期を遅らせて溶製した鑄鉄中の酸素は 18ppm で非常に少なかった。これは余分な酸化が抑えられるためであると考えられる。また, 窒素も 14ppm で非常に低い値であった。

### 4. まとめ

RF による銑だらいの溶解において, 燃焼比率 ( $\phi$ : (供給酸素量/供給燃料量) 量論比), 酸素および燃料ガス (純プロパン) の流量, 銑だらいの投入時期の溶解歩留に及ぼす影響を調査し, 溶解歩留向上策を検討した結果以下のことがわかった。

- 1) 銑だらいを配合した溶解では,  $\phi = 1.3$  や 1.5 の場合でも溶解初期から CO ガスが発生する。
- 2)  $\phi$  及び流量によって CO の発生終了時期が異なる。
- 3) 銑だらいの投入時期の変更により大幅に溶解歩留は向上する。

### 参考文献

- 1) 例えば 石野亨: 鑄鉄溶解炉の史的变化と今後の方向。鑄鍛造と熱処理。10, P3 ~ 8, (1995)
- 2) 樋尾, 河合, 金森: RF による低品位材料を利用した溶解。平成 9 年度三重県工業技術総合研究所金属

センター業務報告．P55 ~ 58 , (1998)

3)村川，西尾，藤川：RF 溶解における溶湯成分の変  
動挙動．平成 9 年度三重県工業技術総合研究所金属  
センター業務報告．P21 ~ 25 , (1998)

4)日本鋳物協会編：鋳鉄溶解ハンドブック．P43 ,  
(1983)

5)石野亨：キュボラ．(社)新日本鋳鍛造協会．P13  
~ 16 , (1998)