

ロータリーファーンズで溶解した鋳鉄溶湯の成分変動 に及ぼす鋼くず配合および炉内雰囲気の影響

村川 悟* , 柴田 周治* , 藤川 貴朗* , 金森 陽一*

Influence of Steel Scrap Admixture Ratio and Atmosphere on Chemical Compositions Fluctuation of Molten Cast Iron Melted by Rotary Furnace

by Satoru MURAKAWA, Syuji SHIBATA,
Takao FUJIKAWA and Yoichi KANAMORI

Key Words: rotary furnace, cast iron, steel scrap, chemical composition

[要旨]

The cast iron was melted by rotary furnace , to examine influence of steel scrap admixture ratio and atmosphere on chemical composition fluctuation.

When the steel scrap was charged, C and Si in molten metal fluctuated widely. Curburizer retards the oxidation of a material. Evolution time of carbon monoxide gas depended on a weight of curburizer.

1 . はじめに

鋳鉄をロータリーファーンズで溶解するとき、電気炉などと比較すると、溶湯の化学成分の減耗が大きくなるとされている。そこで、著者らはロータリーファーンズで、鋳鉄のみの配合で溶解を行い、溶湯の化学成分の変動と溶解条件の関係について検討を行った。その結果、成分の減耗を抑えるためには、加炭剤を配合し、炉内雰囲気調整することが有効であることを示した。⁽¹⁾

一方、鋳鉄の製造においては、鋼くずを配合した溶解が一般的である。鋼くずは、鋳鉄と化学成分が異なる(C量, Si量が低い)。また、鋳鉄の製造に用いられる鋼くずは、鋳鉄に比べ単重が軽く、表面積が大きい。そのため、鋼くずを配合して溶解したとき、化学成分の変動は鋳鉄のみの溶解と大きく変化することが予測される。そこで、ロータリーファーンズで鋼く

ずを配合して溶解を行い、化学成分の変動などを検討した。

2 . 実験方法

2 . 1 溶解炉と溶解材料

実験に用いた炉は、前報⁽¹⁾と同じ溶解容量250kgのロータリーファーンズを使用した。

溶解重量は200kgとした、鋳鉄は普通鋳鉄(JIS G2202 1種1号C)、鋼くずは厚さ3.2mm、重量0.01kg程度の鋼板くず、フェロシリコンは75mass%Si(JIS G2302 1号 サイズ10~50mm)、加炭剤は電極黒鉛くず(サイズ1~4mm)を使用した。表1に使用した溶解材料の化学成分を示す。

2 . 2 溶解中の測定および試料採取

溶解は、炉内のガス濃度(CO₂, CO, O₂)を連続的に測定しながら行った。また、溶け落ち後は、約10分間隔で、溶湯の温度を測定すると共に、溶湯の成分分析用試料を採取した。

* 金属センター研究グループ

表1 溶解材料の化学成分 (mass%)

| | C | Si | Mn | P | S |
|---------|------|------|------|------|-------|
| 銑鉄 | 4.0 | 2.3 | 0.46 | 0.08 | 0.02 |
| 鋼くず | 0.1 | — | 0.77 | 0.01 | 0.01 |
| フェロシリコン | 0.1 | 75.2 | — | 0.02 | 0.01 |
| 加炭剤 | 99.7 | — | — | — | <0.01 |

表2 溶解材料の配合

| 基本配合 | 材料 | 銑鉄 | 鋼くず | フェロシリコン | 加炭剤 |
|------------|------------|-------|------|---------|------|
| 銑鉄のみ | 配合 (mass%) | 100.0 | — | — | — |
| | 重量 (kg) | 200.0 | — | — | — |
| 銑鉄8 : 鋼くず2 | 配合 (mass%) | 72.3 | 19.3 | 0.8 | 2.7 |
| | 重量 (kg) | 154.6 | 38.6 | 1.5 | 5.3 |
| 銑鉄6 : 鋼くず4 | 配合 (mass%) | 55.8 | 37.2 | 1.35 | 5.65 |
| | 重量 (kg) | 111.6 | 74.4 | 2.7 | 11.3 |

2.3 溶解実験

2.3.1 配合割合の影響

鋼くずの配合割合を変えたときの成分変動への影響を調べるために、表2に示す3種類の配合で溶解を行った。

2.3.2 雰囲気の影響

ロータリーファーネスの炉内雰囲気は、加炭剤の量および（燃焼比率）により変化する。そこで、鋼くず配合した溶解において、雰囲気の化学成分への影響を検討するため、表3に示した条件で溶解を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 配合割合の影響

溶解中に炉内を目視で観察した結果、鋼くずが銑鉄と同じ時間帯に溶け落ち始めるのが観察された。また、溶け落ち始めてからは、一部の鋼くずは炉壁に付着し、付着した鋼くずが炉の上部にあるときに湯滴が落下するのも観察された。融点の高い鋼くずの溶け落ちが、銑鉄と同じ時間帯となるのは、銑鉄に比べて熱容量が小さく、輻射熱の影響を受けやすいためと考えられる。

溶解過程における化学成分の変動は、炉内の観察な

どから以下のように考えられる。

銑鉄のみの配合のとき

溶け落ち前は材料表面の酸化（いわゆる錆の発生）により、Feおよび各成分（C, Si, Mn）が酸化され、FeOなどの酸化物が生成する。この段階では主成分のFeも酸化されるため、結果的に成分の減耗は少ないと考えられる。溶け落ちが始まると、材料表面の酸化と溶湯成分中のC, Si, Mnの酸化が同時に進み、成分が減耗する。溶け落ち後は、温度上昇と共に、溶湯成分中のC, Si, Mnの酸化が進み、成分が減耗する。

銑鉄と鋼くずを配合したとき

溶け落ち前は鋼くずおよび銑鉄は、表面が酸化し、Feおよび各成分（C, Si, Mn）の酸化物が生成する。ただし、銑鉄のみと同様に各成分の減耗は少ない。

溶け落ちは、融点の低い銑鉄・フェロシリコンから始まる。ただし、バーナーの火炎の輻射に晒されている部分については、鋼くずについても銑鉄とほぼ同じ時間帯に溶け落ちる。溶け落ち中は、材料の表面の酸化、溶湯中のC, Si、Mnの酸化、成分調整用に配合した加炭剤およびフェロシリコンによるC量の増加（加炭）およびSi量の増加（加けい）が同時に進行し、C量、Si量、Mn量が変動する。溶け落ちの終了は、融点の低い銑鉄・フェロシリコンが先で、次に鋼くずとなる。加炭剤は他の材料が溶け落ちた後も残存し、加炭が進行する。その後、加炭剤がなくなって溶湯のみとなり、溶湯中のC, Si, Mnの酸化により減耗が進行する。

表4に溶湯が1723K程度に達したときの化学成分を示す。銑鉄のみの配合と比べて、銑鉄6:鋼くず4の配合の方が、溶湯中のCの最大値と最小値との差が大きくなっている。Siについても同様である。ただし、Mnについては、配合の違いによる差は認められない。す

表3 溶解条件

| | 基本配合 | 溶解条件 | | |
|-----|------------|-----------|-------|----------|
| | | λ | 加炭剤の量 | |
| 条件1 | 銑鉄6 : 鋼くず4 | 1 | 1.2 | 5.3kg(有) |
| | | 2 | 1.2 | 0kg(無) |
| | | 3 | 1.8 | 0kg(無) |
| 条件2 | 銑鉄8 : 鋼くず2 | λ | | 加炭剤の量 |
| | | 1 | 1.2 | 5.3kg |
| | | 2 | 1.2 | 11.3kg |

* λ (燃焼比率) = (供給された酸素の量 / 供給された燃料の量) / 理論比

表4 溶湯の化学成分

| No. | 基本配合 | C mass% | Si mass% | Mn mass% | 溶湯温度 K |
|-----|--------|------------|-------------|-------------|-----------|
| 1 | 銑鉄のみ | 3.5 | 2.0 | 0.12 | 1723 |
| 2 | | 3.5 | 1.9 | 0.14 | 1723 |
| 3 | | 3.6 | 2.1 | 0.20 | 1733 |
| 4 | 銑鉄8：鋼2 | 3.2 | 1.6 | 0.16 | 1713 |
| 5 | | 3.2 | 1.7 | 0.13 | 1733 |
| 6 | 銑鉄6：鋼4 | 3.4 | 1.5 | 0.16 | 1723 |
| 7 | | 3.0 | 1.6 | 0.15 | 1733 |
| 8 | | 3.6 | 1.9 | 0.26 | 1733 |
| 9 | | 3.6 | 2.1 | 0.21 | 1733 |
| 10 | | 3.6 | 1.9 | 0.26 | 1713 |

なわち、鋼くずを多く配合したとき、C量、Si量の変動の幅が大きくなることを示している。

このC量、Si量の変動は、前述のように、鋼くずを配合したときは、銑鉄のみを配合したときに比べて、溶け落ちが始まって以降の溶解過程が複雑なことから考えられる。すなわち、鋼くずを配合したときの溶解は、材料表面の酸化、溶湯中のC、Siの酸化、加炭剤、フェロシリコンによる加炭、加けいが、同時に進行するのに対して、銑鉄のみの溶解では材料表面の酸化、溶湯中のC、Siの酸化が進行するだけである。それぞれの現象の進行は、温度、雰囲気、溶解材料の状況（他の材料との接触状況など）などの変化により影響を受けるが、温度上昇速度、雰囲気、溶解材料の状況は溶解ごとに同一にはならない。このため、溶解過程が複雑な鋼くずを配合した溶解は、成分の変

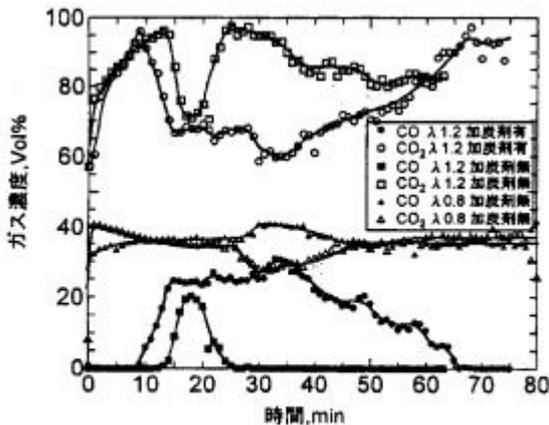


図1 溶解時の炉内ガス組成

動の幅が大きくなると考えられる。

ただし、Mnについては成分調整用のフェロマンガンを配合していないこと、表1に示したようにC量、Si量に比べるとMn量は銑鉄と鋼くずの差が少ないことなどにより変動の差が同程度になったと考えられる。すなわち、フェロマンガンを配合し、銑鉄とMn量が大きく異なる鋼くずを使用したとき、C、Siと同じ要因により、成分の反動の幅が大きくなる可能性がある。

3.2 雰囲気の影響

図1に、および加炭剤の量を変化させて溶解したとき（表3の条件1）の炉内ガス組成を示す。=1.2で加炭剤を配合したとき、10min程度から65min程度まで加炭剤の反応（加炭剤と炉内のCO₂の反応）によるCOが認められる。加炭剤を配合しないときは、加炭剤の反応がないため、ほぼ表5に示した材料未投入時の炉内ガス組成と同様のガス組成となった。ただし、1.2の条件で20min程度の時COの発生が認められる。これは、溶け落ちの時間とほぼ一致しており、このときに材料中のCが反応しているものと考えられる。

条件1のときの化学成分（C量、Si量、Mn量）の変動を図2に示す。C量、Si量、Mn量共に、加炭剤がないときは急激に減耗している。ただし、の違いによる明確な差は認められない。加炭剤があるときは、C量については加炭の効果によるC量の増加が認められる。Si量については、1500K付近でフェロシリコンの加けいの効果による増加があり、その後減耗した。ただし、加炭剤がないときに比べると減耗量は少ない。Mn量についても減耗したが、Siと同様に加炭剤がないときに比べると減耗量は少ない。

以上の結果から、SiおよびMnの減耗を抑えるには加炭剤を投入することが有効であると考えられる。

を0.8にして炉内雰囲気をCOが40vol%程度の状態にしても減耗を抑える効果は認められない。この結果は銑鉄のみの溶解における結果と一致する。加炭剤が減耗を抑えるのは、CO₂と反応してCOを発生することにより、O₂の濃度（酸素分圧）が下がり、各化学成

表5 材料未投入時の炉内ガス成分

| | (vol%) | | |
|-----------|----------------|-----------------|----|
| λ | O ₂ | CO ₂ | CO |
| 0.8 | 5 | 40 | 40 |
| 1.2 | 15 | 80 | 0 |

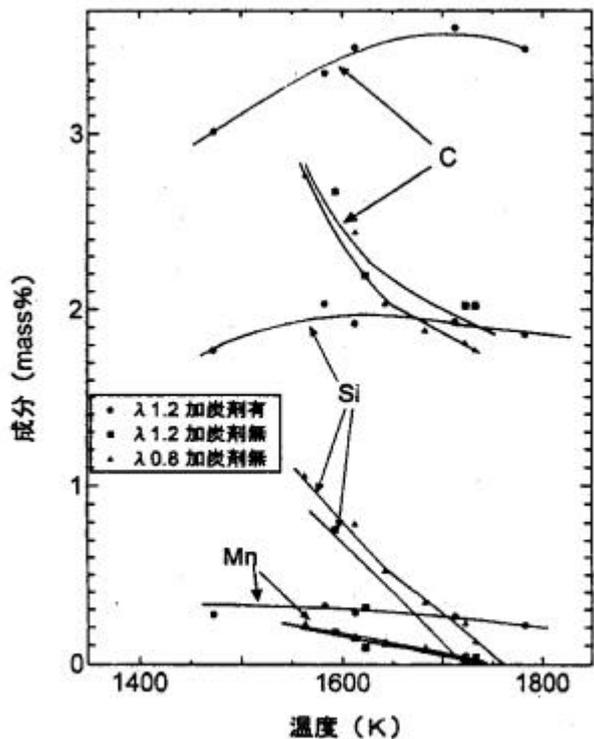


図2 化学成分の変動

分の酸化の反応速度を抑えるためと考えられる。加炭剤を添加したときの炉内雰囲気は、図3に示したとおり、炉の内部は、溶解材料あるいは溶湯上部の強い酸化性雰囲気と、溶解材料の近傍あるいは溶湯直上の高濃度COが存在するより酸化性の弱い雰囲気の2つの雰囲気が共存している（2ガス雰囲気）状態であると考えられる。これは、構造が同様の鉄鉱石還元用の回転炉⁽²⁾と同じ雰囲気の構成である。

図4に、加炭剤の量を変化させて溶解したとき（表3の条件2）の炉内ガス組成を示す。COの発生は、条件1と同様に加炭剤の投入後10min程度である。また、COの濃度は、投入量と関係なく、20vol%程度であった。さらにCOが発生しているときのCO₂の濃度は80vol%から60vol%程度であった。また、発生時間は、5.3kgが約30minに対して、11.3kgが70minであった。よって、加炭剤の反応（COおよびCO₂の生成）による時間当たりの消費量は大きく変化しないと推定される。これは他の報告⁽³⁾と一致する。このことからCOの発生時間（加炭剤の炉内での残留時間）は、投入量により調整できると考えられる。

条件2のときの化学成分（C量、Si量、Mn量）の変動を図5に、COの発生時間およびその時の温度を表6に示す。C量は、1500K付近ではほぼ同等の値であるが、その後は5.3kgのときは減耗するのに対して、11.3

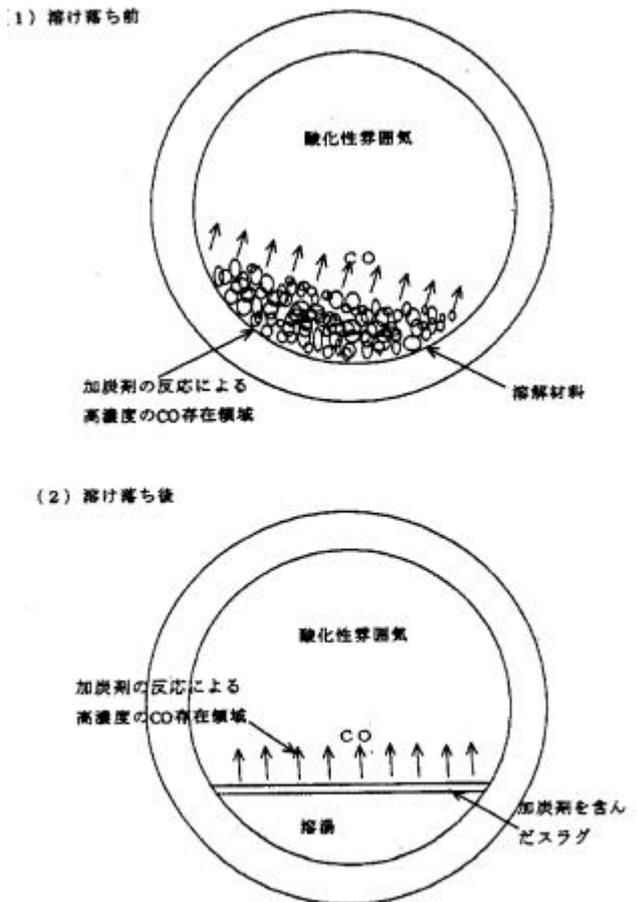


図3 炉内雰囲気

kgのとき

は加炭により増加する。1500Kは5.3kgでは、COの発生が終了する時間であり、5.3kgでは加炭剤がこの時点でほぼなくなったと判断できる。Si量についても、同様に1500Kを越える温度で減耗に差が生じた。Mnについては、温度の違いによる差は生じなかったが、11.3kgの方が減耗が少なかった。

以上のことから、他の溶解条件が同一であるならば、加炭剤の量を変えることにより、COの発生時間（加炭剤の炉内での残留時間）を調整することが可能である。

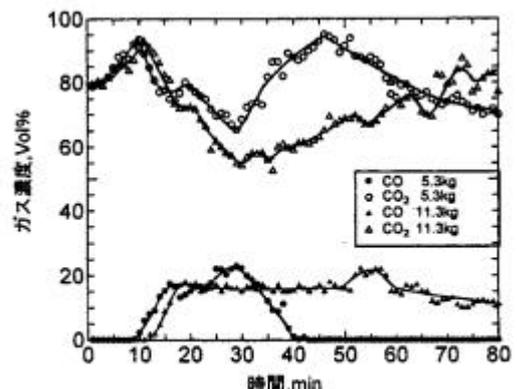


図4 溶解時の炉内ガス組成

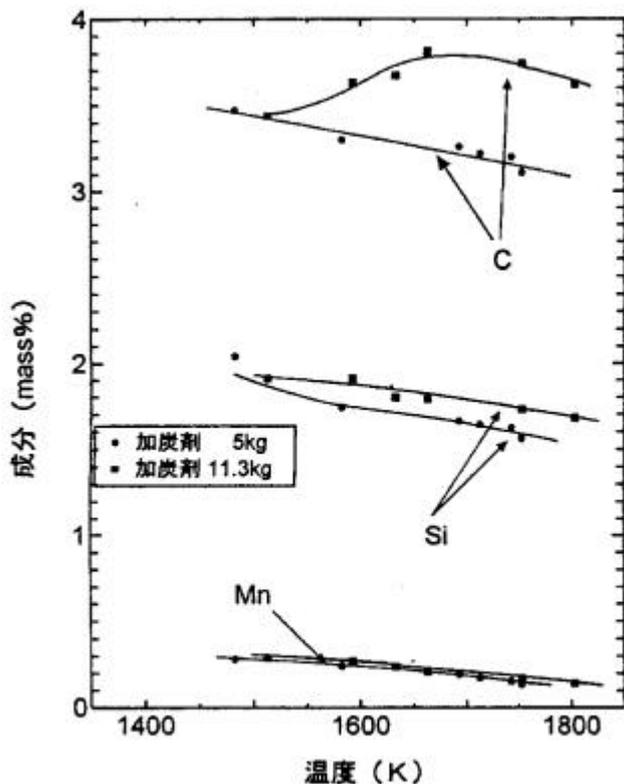


図5 化学成分の変動

表6 COの発生時間及びその時の溶湯温度

| 加炭剤の量 | (mass%) | | | |
|--------|---------|-------|---------|-------|
| | 発生開始 | | 発生終了 | |
| | 時間(min) | 温度(K) | 時間(min) | 温度(K) |
| 5.3kg | 9 | — | 40 | 1560 |
| 11.3kg | 12 | — | 80 | 1800 |

4. まとめ

鋼くずを配合してロータリーファーネスで鑄鉄の溶解を行い、化学成分の変動などを検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 鋼くずを配合すると、溶湯中のC量、Si量の成分の変動が大きくなる。
- (2) 加炭剤は、溶解材料近傍で反応することにより、材料の酸化を抑制する。
- (3) 加炭剤の投入量を変えることにより、溶解中のCOの発生時間を調整できる。

謝辞

本研究は、平成10年度中小企業庁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・ご協力をいただいた工業技術院名古屋工業技術研究所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) 村川悟他：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(1997)21-25
- 2) L.von Bogdandy他：鉄鉱石の還元(1971)233
- 3) 古口容士他：日本酸素技法No.16(1997)46