

リジェネレイティブバーナーのロータリーファーンスへの適用

村川 悟*，樋尾 勝也*，柴田 周治*

Application to Rotary Furnace of Regenerative Burner

by Satoru MURAKAWA, Katsuya HIO
and Shuji SHIBATA

[要旨]

ロータリーファーンスは，鑄鉄の新しい溶解炉として普及が期待されている．このロータリーファーンスの熱源として，リジェネレイティブバーナーの適用を試みた．その結果，従来の熱源である酸素バーナーと同等の溶解時間で同等の温度の溶湯を得ることを確認した．さらに，消費する純酸素ガス量を 1 / 3 以下に減らすことが可能であった．

以上の実験結果から，ロータリーファーンスの新しい熱源として，リジェネバーナーを利用できる可能性は高いと考えられる．

1．はじめに

鑄鉄の新しい溶解炉として普及が期待されているロータリーファーンスでは，現在，酸素バーナーを熱源として利用している．しかし，廃熱は炉外へ放出されて，熱回収が行われていないため，熱回収の必要性が指摘されている．また，高価な純酸素ガスを消費するためにコスト的にも問題があるとされている．

一方，リジェネレイティブバーナーシステム（以下，リジェネバーナーと示す）は，バーナーと蓄熱体が一体となった構造を持ち，廃熱を効率よく回収できるバーナー⁽¹⁾で，比較的低温の炉には普及している．また，空気を燃焼時の酸素源として利用するために，コスト的にも酸素バーナーより有利と考えられる．そこで，このリジェネバーナーが1773K以上の高温が必要な鑄鉄溶解用のロータリーファーンスの熱源として適用可能かどうか，検討を行った．

2．実験方法

2.1 リジェネバーナー及びロータリーファーンス

図1にリジェネバーナーを装着したロータリーファーンスの外観を，図2にバーナーの燃焼時の状況を，

表1に仕様を示す．

図2に示したように，リジェネバーナーは，左右の1対（2本）のバーナーを数十秒のサイクルで交互に

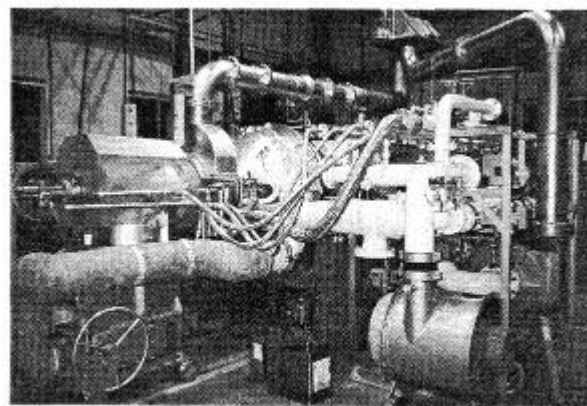


図1 リジェネバーナーを装着したロータリーファーンス

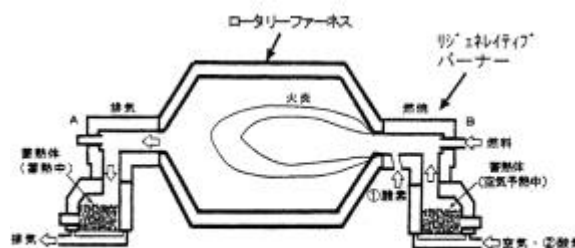


図2 リジェネバーナーの燃焼時の状況

* 金属センター研究グループ

表1 リジェネバーナーの仕様

燃料	LNG
最大インプット	470kW(344400kcal/h)
点火方式	イグニッション装置による自動点火
蓄熱体	アルミナボール
酸素富化時における最大酸素添加率	30%

燃焼することにより、バーナー下部に設置された蓄熱体で廃熱を回収し、この蓄熱を利用して燃焼空気を予熱する構造となっている。実験に使用したリジェネバーナーは、火炎温度の調整を可能とするために酸素濃度を高める（酸素富化）ことができる構造とした。また、酸素富化する場合の酸素の導入位置は、図2に示したとおり、空気を予熱後、空気予熱前の2箇所いずれかを選択できる。

2.2 溶解材料

溶解重量は200kgとし、溶解材料の配合は、銑鉄のみおよび銑鉄6：鋼くず4を基本とし、表2に示す2種類の配合とした。銑鉄は普通銑鉄（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

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	-	-	-
	重量(kg)	200.0	-	-	-
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

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。

2.3 溶解実験

溶解前には、炉の耐火物温度が1073K程度となるまで予熱を行った。その後、溶解材料を炉に投入して、溶解を開始した。

溶解は、70分で1773K以上の溶湯を得ることを目標に、燃焼条件（LNGのガス流量、酸素富化量（純酸素流量）など）を変化させて溶解を行った。表3に、溶解条件を示す。

得られた溶湯については、化学成分の減耗・炉内ガスの溶湯への影響を調べるために、化学分析および酸素・窒素分析を行った。

3. 実験結果及び考察

表4に、溶解実験の結果の一覧を示す。70分で最も高温の溶湯（1957K）が得られたのはNo5の溶解条件のときであった。すなわち、LNGガス量は33Nm³/h、酸素富化あり、空気比1.2、酸素導入位置、バーナー内圧がプラス圧（50Pa）、バーナー切り替え時間30secのときである。

表3 溶解条件

溶解時間	70min
炉の回転	300秒に1回転
LNG流量	30～40Nm ³ /h
酸素富化	有りまたは無し
酸素流量	0～46Nm ³ /h
空気比	1.0～1.2
空気中の酸素濃度	21～40vol%
酸素導入位置	空気予熱後または空気予熱前
バーナー内圧	-200,50Pa
バーナー切り替え時間	20,30sec

*空気比は燃料供給量に対する理論空気量の何倍の空気が供給されたかを表す値

表4 溶解実験の結果

No.	基本配合	LNGガス量 Nm ³ /h	酸素富化	純酸素ガス量 Nm ³ /h	空気比	空気中の酸素濃度 Vol%	酸素導入位置	バーナー内圧 Pa	バーナー切り替え時間 sec	出湯温度 K
1	銑鉄のみ	35	有り	41	1.0	35	①	-200	20	1708
2	銑鉄のみ	40	有り	46	1.1	35	①	-200	20	1725
3	銑鉄6：鋼4	30	有り	42	1.0	40	①	-200	20	1605
4	銑鉄6：鋼4	35	無し	-	1.2	21	-	50	30	1719
5	銑鉄6：鋼4	33	有り	25	1.2	29	②	50	30	1957

表5 バーナー燃焼条件とガス消費量

		リジェネバーナー		酸素バーナー
溶湯温度 (K)		1957	(1773)*	1793
燃焼条件	時間 (分)	70	(50)*	55
	LNGガス流量 (Nm ³ /h)	33	33	30
	純酸素流量 (Nm ³ /h)	25	25	78
	空気中の酸素濃度 (%)	29	29	
ガス消費量	LNGガス消費量 (Nm ³)	39	28	28
	純酸素消費量 (Nm ³)	29	21	72

* () 内はリジェネバーナーの溶湯温度1957Kの時のデータを基に推定した値

表7 材料未投入時の炉内ガス組成

(vol%)		
	リジェネバーナー 〔空気比1 酸素富化なし〕	酸素バーナー (燃焼比率1)
CO ₂	11	85
O	1	0
CO	0.5	1.0
N ₂	87	0

*N₂は推定値
リジェネバーナーについては、LNGが完全燃焼したとして計算

No5の溶解条件において最も高温の溶湯が得られたのは、以下の要因によるものと考えられる。

LNGガス量については、35Nm³/h以上にした場合、火炎が炉外へ伸びるのが観察され、ガス量を増加させ発熱量を増やしても、効果がない。一方、ガス量を減らすと発熱量が減少する。よって、33Nm³/hのガス量が最も適当なガス量となる。

空気比については、1.1以下に下げると排ガス中のCOが増加する傾向が認められ、COの発生による吸熱反応が炉内の熱を奪う。1.2であれば、ほぼ完全燃焼の状態となり、COの発生がほとんどなく吸熱反応が起こらない。

バーナーの内圧をマイナス圧 (-200Pa) にした場合、炉とバーナーのすきまから空気が炉内に侵入するのが観察され、侵入した空気により炉内の熱が奪われた。

バーナー切り替え時間は、長くすることにより、予熱空気の温度が上昇し、バーナーの火炎温度が上昇し

た。

酸素富化および酸素富化時の酸素の予熱（酸素導入位置の変更）についても、火炎温度を上昇させた。

表5に、No5の溶解条件のときのバーナー燃焼条件とガス消費量および酸素バーナーで1793Kの溶湯を得たときの燃焼条件とガス消費量を示す。表5に示した溶湯温度1773K、溶解時間50分は、No5の溶解のデータを基に推定した値である。これによれば、1770K程度の溶湯温度に達するのに要する時間は酸素バーナーと同等である。さらに、そのときのガス消費量を比べると、LNGガス消費量は同等、酸素ガス消費量は1/3以下である。

表6に、溶製した鑄鉄の化学成分を示す。配合が同じで、出湯温度が1765K以下の時、C, Si, Mn共に酸素バーナーで溶解した鑄鉄とほぼ同等の値である。

表6 溶製した鑄鉄の化学成分

バーナーの種類	No.	基本配合	出湯温度 K		C mass%	Si mass%	Mn mass%	酸素 ppm	窒素 ppm
リジェネバーナー	1	鉄鉄のみ	低温	1708	3.5	1.9	0.2	15	12
リジェネバーナー	2	鉄鉄のみ	低温	1725	3.6	1.9	0.2		
酸素バーナー		鉄鉄のみ	低温	1765	3.4	1.8	0.1	9	9
リジェネバーナー	3	鉄鉄6：鋼4	中温	1605	3.6	2.0	0.2		
リジェネバーナー	4	鉄鉄6：鋼4	中温	1719	3.6	1.8	0.2		
酸素バーナー		鉄鉄6：鋼4	中温	1737	3.6	2.0	0.2		
リジェネバーナー	5	鉄鉄6：鋼4	高温	1957	3.3	1.7	0.1		
酸素バーナー		鉄鉄6：鋼4	高温	1879	2.7	0.8	0.2		

ただし、出湯温度が高温の場合、酸素バーナーに比べて、C、Siについてはその値が高く、リジェネバーナーの方が、成分の減耗が少なくなる可能性があることを示している。また、酸素・窒素については、リジェネバーナーと酸素バーナー共に10ppm程度と同等であった。

表7は、材料を投入しないときのバーナー燃焼時の炉内ガス組成である。リジェネバーナーはN₂（窒素）ガスの割合が高く、酸素系ガス（CO₂とO₂）の量が少ない。これはリジェネバーナーに供給するガスは、空気と燃料であり、酸素バーナーは純酸素と燃料であることによるものである。このガス組成の違い、特に酸素系ガス量の違いが、成分の減耗にも影響しているものと考えられる。窒素については、逆に、炉内ガス組成の影響による溶湯中の窒素の増加は認められなかった。しかし、リジェネバーナーと同様に炉内に空気を送風するキューボラは、ロータリーファーン（酸素バーナー）と比べて溶湯中の窒素が高くなるとの報告⁽²⁾があり、今後の検討を要する。

4. 結言

リジェネバーナーをロータリーファーンスの熱源として適用して鋳鉄を溶解した結果、以下のことが明らかとなった。

(1) リジェネバーナーは、酸素バーナーと同等の溶解時間で、同等の温度の溶湯を得ることが可能である。

(2) リジェネバーナーは、酸素バーナーに比べて、消費する純酸素ガス量を1/3以下に減らすことが可能である。

以上の結果から、リジェネバーナーをロータリーファーンスの新しい熱源として利用できる可能性は高いと考えられる。

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り、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産学官連携推進センター町田充秀所長を始め、東邦ガス(株)都市エネルギー技術開発部服部雅夫氏、伊藤稔氏、東京ガス(株)産業エネルギー事業部内田進氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 仲町一郎，庄司不二雄：ガス燃焼の理論と実際 (1992)118
- 2) 石野亨：鋳鍛造と熱処理49(1996)5,3