

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.8 (1976) No.3

熱風炉の能力増強と操業改善について

On the Capacity Increase and Operational Improvements of Hot Stoves

才野 光男(Mitsuo Saino) 高橋 洋光(Hiromitsu Takahashi) 安野 元造(Motozo Yasuno) 田中 和精(Kazuaki Tanaka)

要旨：

川崎製鉄（株）千葉製鉄所の第3，4高炉は，それぞれ1973，1972年に改修され，熱風炉の能力もカウパー型からコパース型への改修に伴って大きく増強された。さらに，熱風炉の操業改善が行われ，能力増強と相まって送風温度1280℃までの上昇が可能となり，高炉の燃費比低減，生産性向上に寄与している。

Synopsis：

No.3 and No.4 blast furnaces at Chiba Works were reconstructed in 1973 and 1972 respectively. Taking these opportunities, the Cowper type hot stoves then existed were remodelled into the Koppers type. Improvements on the capacity and operation of these hot stoves are summarized in this article. These improvements have realized the high blast temperatures up to 1280℃, which have resulted in a decrease in fuel ratio and an increase of blast furnace productivity.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

熱風炉の能力増強と操業改善について

On the Capacity Increase and Operational Improvements of Hot Stoves

才 野 光 男*

Mitsuo Saino

高 橋 洋 光**

Hiromitsu Takahashi

安 野 元 造***

Motozo Yasuno

田 中 和 精****

Kazuaki Tanaka

Synopsis:

No. 3 and No. 4 blast furnaces at Chiba Works were reconstructed in 1973 and 1972 respectively. Taking these opportunities, the Cowper type hot stoves then existed were remodelled into the Koppers type.

Improvements on the capacity and operation of these hot stoves are summarized in this article. These improvements have realized the high blast temperatures up to 1280°C, which have resulted in a decrease in fuel ratio and an increase of blast furnace productivity

1. 緒 言

千葉製鉄所第3および第4高炉は、1972年から1973年にかけて相ついで第3次改修が行われた。この改修に際して、送風温度の上昇を期して熱風炉能力の大幅な増強を計画した。既設設備の増強は、多くの制約条件からとかく大きな困難を伴うものであるが、この増強に際しても、問題点解決のために多くの技術的対応策が要求された。レイアウト、設備、さらに施工等に種々の新しい試みが採用されたこれらの熱風炉は、両高炉の再火入れと同時にフル操業にはいり、その後順調に稼動して高炉の低燃料比操業に大きく貢献し、所期の目的を達成した。この間、熱風炉操業にも種々の改善が加えられ、高温送風の維持と熱効率の向上が図られてきた。省エネルギー、なかでも

高炉用コークスの節約が叫ばれている現在、これらの設備および操業上の改善は時代の要請に合致したものになった。以下に熱風炉増強の概要と操業改善について述べる。

2. 熱風炉の増強

2.1 熱風炉本体

第3、4高炉付属熱風炉は第3次改修前までカウパー型であったが、これは燃焼室と蓄熱室との隔壁レンガにスポーリングを生じやすいため、ドーム温度や投入熱量に制約があり、1200°C以上の高温送風には不向きであった。したがって、第3次改修ではコパース型外燃式熱風炉への改造を行った¹⁾。

外燃式に改造するためには、レイアウト、設計・施

* 千葉製鉄所製鉄部製鉄課課長

*** 千葉製鉄所製鉄部製鉄課掛長

** 千葉製鉄所製鉄部 掛長

**** 千葉製鉄所製鉄部

工等に次のような制約があった。

- (1) 改修期間の制限
- (2) 燃焼室増設スペースの不足
- (3) 基礎耐力の不足

このため、基礎工事等は高炉操業中に事前工事として先行することとし、さらに次のような処置をとった。

- (1) 燃焼室と蓄熱室の芯間距離が大きくなるので燃焼室を高炉側へ15°振る。
- (2) 燃焼、蓄熱両室の基礎を分離し、燃焼室基礎を新設する。
- (3) 両室間の上・下部を継ぎ梁で接続し、基礎耐力の不足を補う。
- (4) 熱風本管は両室の間を通す。

また、燃焼室は燃料の大量投入と重油混焼を考慮して燃焼室負荷を少なくするため、内径、高さとも大型化を図った。

図1に新設熱風炉の構造を示す。斜線部は旧熱風炉の鉄皮およびレンガ流用部である。図2にレイアウトを示す。

2.2 バーナーの設計

従来、熱風炉の使用燃料は、作業性やフレーム温度の管理等を考慮してほとんどMガスすなわちBガス（高炉ガス）とCガス（コークス炉ガス）との混合ガスを使用してきた。しかし、新熱風炉の計画時点では千葉製鉄所内のガス需給関係に余裕がなく、Cガスの熱風炉への供給は望めなかった。一方、高温送風を維持するためには高熱量の燃料の使用が不可欠である。そのためS分の低いミナス重油をBガスと混焼する方式を採用した。したがって、ガスバーナーには重油混焼のできるセラミックバーナーを採用した。熱風炉で使用される重油バーナーは最高4000l/hの大型であり、千葉製鉄所第5高炉での実績を参考にして設計製作した。重油バーナーには一般的に次のような問題点がある。

- (1) フレームが長い
- (2) 燃焼性が悪い
- (3) 温度制御が難しい

これらを以下のような対策で解決した。

- (1) バーナーチップの噴射孔の数と角度の適正化

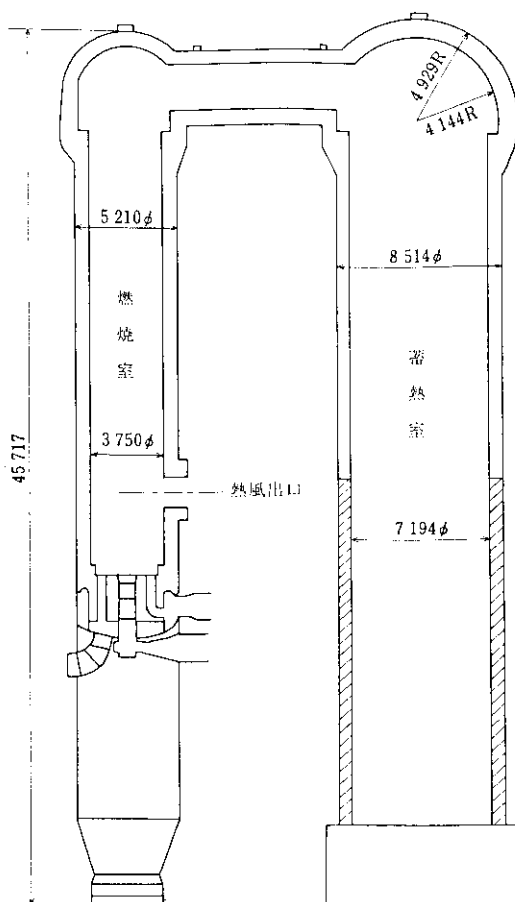


図1 新設熱風炉の構造

- (2) スワラーおよびディフューザーの利用
- (3) 蒸気霧化の採用
- (4) 燃焼室の大型化

一方、黒煙発生防止のための蒸気パージ機構も改良した。

表1に熱風炉の2次と3次の仕様比較を、表2には最近の熱風炉操業成績を示す。

3. 熱風炉操業の改善

第3次火入れ以後、高炉操業改善とともに多くの熱風炉操業改善が行われてきた。それらは、燃焼管理の徹底によって熱効率の向上と送風温度の上昇を可能にすることを目的としたもので、高炉燃料比低減に寄与している。図3に昭和44～50年の第3、4高炉の送風温度の推移を示す。以下に、

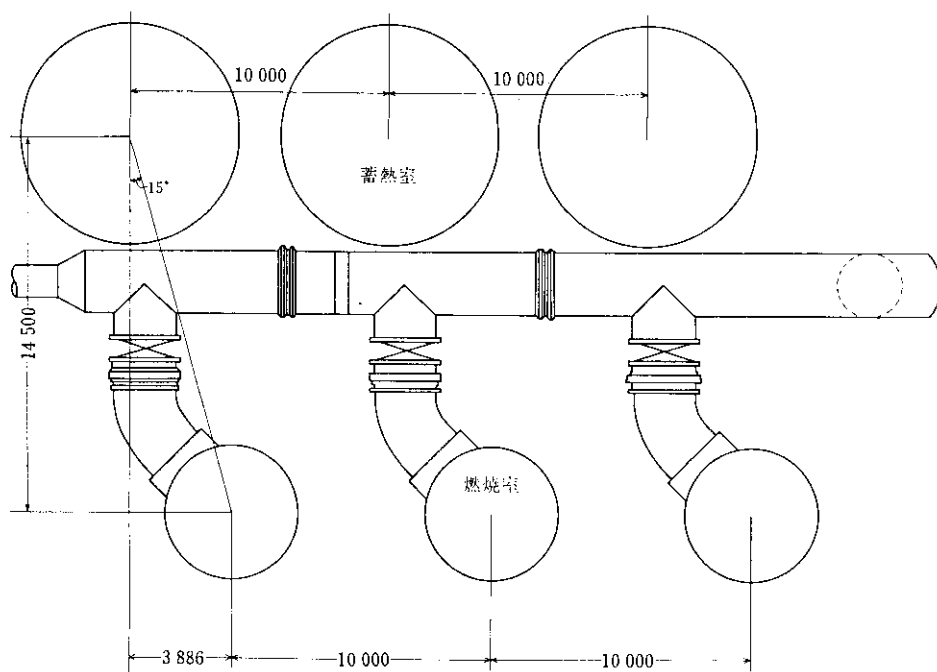


図 2 新設熱風炉のレイアウト

表 1 第 3, 4 高炉熱風炉仕様比較

	2 次	3 次
型 式	カウバー内燃式 3 基	コバース外燃式 3 基
送 風 量 (Nm^3/min)	Nor. 2 400	Nor. 2 930 Max. 3 300
送 風 圧 (kg/cm^2)	Nor. 1.65	Nor. 2.1 Max. 2.6
送 風 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	Nor. 1 050	Nor. 1 200 Max. 1 250
ド ー ム 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	Max. 1 250	Max. 1 450
廃 ガ ス 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	Max. 400	Max. 400
加 熱 面 積 ($\text{m}^2/\text{基}$)	25 600	48 000
ギッターレンガ形状	浅 輪 式	フ ラ イ ン 式
燃 焼 量		
ガ ス 用 ($\text{Nm}^3/\text{h 基}$)	Max. 44 000	Max. 60 000
重 油 用 ($\text{l}/\text{h 基}$)		Max. 4 000
燃 焼 用 フ ァ ン		
B ガ ス 用 ($\text{Nm}^3/\text{h 基}$)		Max. 50 000
重 油 用 ($\text{Nm}^3/\text{h 基}$)		Max. 70 000

表2 第3, 4高炉熱風炉操業成績 (1976年1月)

	第3高炉 付属HS	第4高炉 付属HS
送風量 (Nm ³ /min)	2 839	2 697
送風圧 (kg/cm ²)	2.503	2.341
送風温度 (°C)	1 263	1 265
ドーム温度 (°C)	1 450	1 440
廃ガス温度 (°C)	340	334
Bガス量 (Nm ³ /h基)	42 500	41 000
Cガス量 (Nm ³ /h基)	4 200	4 000
ミナス重油量 (l/h基)	1 200	1 150

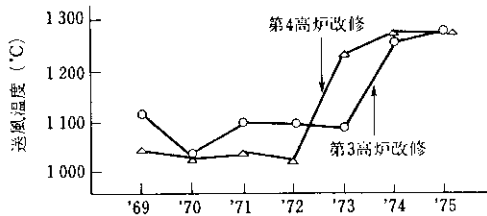


図3 第3, 4高炉送風温度の年度別推移

今まで行ってきた改善の中で代表的なものを時系列的に列挙説明する。

3・1 燃焼管理

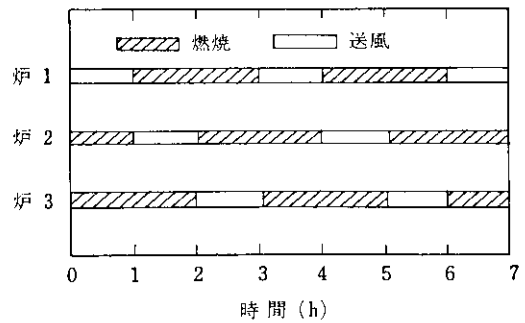
3・1・1 セミラップ送風の採用

従来、高炉1基に3基の熱風炉が付属している場合は、図4(a)に示すように2基燃焼1基送風が常識であり、熱風炉運転開始当時は通常の切替方式で操業を行った。しかし、廃ガス温度が高く低熱効率であったので、第5高炉でのスタガード・パラレル送風の経験と熱風炉能力の余裕を勘案して燃焼時間を30min短縮し、図4(b)に示すような90min送風、90min燃焼のセミラップ送風に切替えた。この結果、廃ガス温度が大きく下がり大幅な熱効率上昇が得られた。

3・1・2 燃料特性の活用

当初、熱風炉の燃料はミナス重油とBガスであり、その比率は理論燃焼温度一定という条件で管理されていた。しかし、ミナス重油は理論燃焼温度が高く、空燃比の調整によって蓄熱室上・下部とも蓄熱できるが、Bガスは低熱量のため理論燃焼温度が低く、蓄熱室下部しか蓄熱できないと

(a) 2基燃焼-1基送風



(b) セミラップ送風

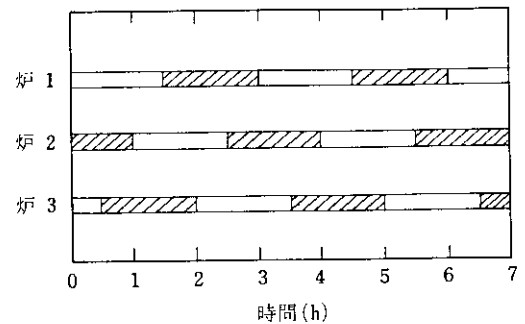


図4 熱風炉切替方法の改善

いう特徴がある。したがって、蓄熱室上・下部別に蓄熱状況を判定し、両者を適正な温度範囲に保ちつつ、Bガスを有効利用することを目的として、表3に示すような燃料の操作基準を作製し、燃焼管理を行った。この結果、熱効率アップと重油使用量の削減および送風温度の大幅な上昇が達成された。

表3 投入燃料の操作基準

	$T_d > 1450$	$1450 \geq T_d \geq 1440$	$T_d < 1440$
$T_g > 340$	O ↓ B ↓	O → B ↓	O ↑ B ↓
$340 \geq T_g \geq 310$	O ↓ B →	O → B →	O ↑ B →
$T_g < 310$	O ↓ B ↑	O → B ↑	O ↑ B ↑

T_d : ドーム温度(°C)、 T_g : 廃ガス温度(°C)、↑: 増量、→: 現状維持、↓: 減量、O: ミナス重油、B: Bガス

3・1・3 空燃比の調整

空燃比の調整は、燃焼管理において最も重要な

ものの一つである。理論的には、燃料成分が一定であれば空燃比は変動しないが、Bガスの成分変動は激しく、それによって熱量は $700\sim 800\text{kcal/Nm}^3$ の間で変動している。従来は、定期的な廃ガス分析によって空燃比を調整してきたが、1976年に廃ガス O_2 メーターを設置し、空燃比の管理を厳密かつ容易にできるようにした。これは、今後熱風炉設備として不可欠なものとなるであろう。現状では、廃ガス O_2 が0.4%以下では未燃焼の H_2 、 CO が残留するので、0.5%を目標に空燃比を調整している。空燃比の変更はオペレーターが手動で行っているが、将来は計算機制御を行う予定である。

3.1.4 ドーム温度の上昇

従来、熱風がドーム温度や熱風温度の計測には、TiN系の保護管で保護された熱電対を使用していた。しかし、保護管の消耗が激しくしかも経時的に感度が劣化して、3ヶ月使用で最高 70°C も低い指示値を示すことがあり、このため温度計の指示値への不信感から許容温度までドームを昇温することができなかつた。この点からより精度の高い放射温度計を1974年に採用している。この結果、ドーム温度管理がより厳密にできるようになり、ドーム温度を $10^\circ\sim 20^\circ\text{C}$ 高めに管理することができるようになった。

3.1.5 重油混焼時間の短縮

熱風が熱効率アップのためには燃焼中一部の期間にのみ重油混焼を行う混焼短縮、特に前期混焼が効果がある。図5、6に重油の連続混焼時と、前期混焼時の空燃比等の操業因子と蓄熱状況の比較を示す。この図からもわかるとおり、前期混焼法とは、ドーム温度の上昇していない燃焼初期に重油を集中して燃焼し、カスケード制御が働き始めたら重油混焼を停止してガス燃料だけで過剰空気不要の燃焼を続け、熱効率上昇を図るものである。この方法によれば、アトマイズ蒸気節減、廃ガス減量による顕熱損失削減等の点でも有利である。

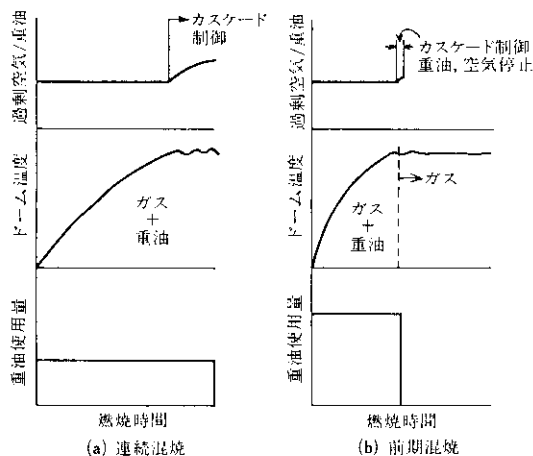


図5 重油混焼方法の比較

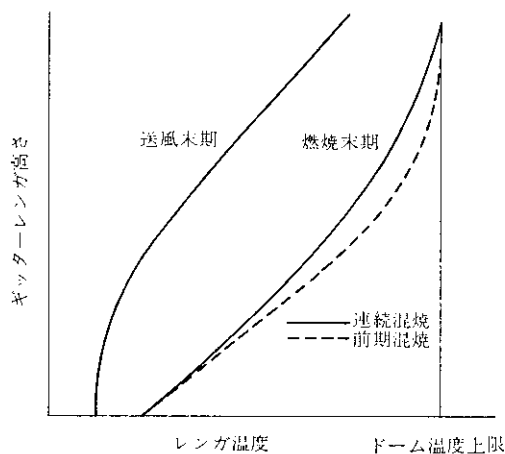


図6 重油混焼方法の改善効果

3.2 燃料多様化

3.2.1 多様化の経緯

前述したように、操業開始時、燃料はミナス重油とBガスだけであったが、1974年にBガスにCガスを富化し、外部より購入しているミナス重油の使用削減を図った。その後のCガス富化率は7.5~10.0%で、ミナス重油使用量は約 $\frac{1}{2}$ まで激減した。

さらに1976年には、LPG(液化石油ガス)も燃焼できるような設備改造を行った。これは燃料の多様化を行うことによって、各種燃料の需給変動に柔軟に対応できるようにするためと、公害発生

防止を目的として行っている。表4に燃焼時の投入燃料の変遷を時系列的に示す。

表4 投入燃料の変遷

	ミナス重油 (t/h)	LPG (Nm ³ /h)	Cガス (Nm ³ /h)	Bガス (Nm ³ /h)
I期	3 700	—	—	38 000
II期	1 200	—	4 200	42 500
III期	—	600	3 000	45 000
IV期	—	1 020	—	46 000

3・2・2 ガスカロリー調整

Cガスが熱風炉に導入され、Mガスとミナス重油の混焼方式に切替えられた後、Mガス成分は2種類のカス成分の変動の影響を受けることとなった。そのため、熱量や空燃比の管理が従来の管理方式では不十分となったため、BガスとCガスの分析を定期的に行い、比率設定器を利用してCガス富化率を変更しながらMガスの熱量調整を行った。比率設定器のC/B流量比をAとすると、Mガス熱量 H_M は $(AH_C + H_B)/(1 + A)$ で表わされる。ここに、 H_C 、 H_B はそれぞれC、Bガスの発熱量を示す。

4. 高温送風の効果

熱風炉の能力増強と操業改善の積み重ねによって、送風温度は第2次操業の1050℃から第3次火入れ当初の1230℃を経て、昭和49年春までには最高1280℃の送風温度レベルを維持できるようになった。熱効率も操業当初の75%台から77%まで上昇するに至った。

一般的には、送風温度100℃上昇につきコークス比(銑鉄1t造るのに要するコークス量)が15～20kg/t低下すると言われているが、第3、4高炉もこの例に漏れず、火入れ後3、4年経過した現在もなお、世界のトップクラスの低燃料比、低コークス比および高出銑比を維持し安定した操業を続けている。

高温送風の効果を示すために、国内高炉別の燃料比ベストテンを図7に、また当社第3、4高炉

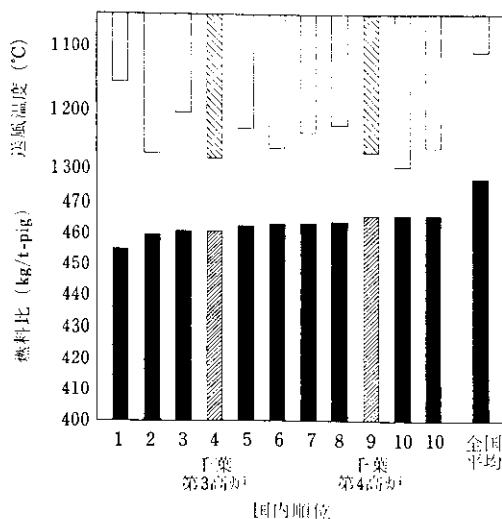


図7 高炉別燃料比実績(1975年11月)

表5 第3、4高炉の操業成績(1976年1月)

	第3高炉	第4高炉
出 銑 量 (t/d)	3 867.2	3 727.7
コークス比 (kg/t)	394.9	408.2
重 油 比 (kg/t)	61.5	55.3
燃 料 比 (kg/t)	456.4	463.5
酸 素 比 (Nm ³ /t)	16.9	16.4
スラグ比 (kg/t)	313	306
処理 銑 比 (%)	80.0	80.4
焼 結 銑 比 (%)	80.0	78.4
ペレット比 (%)	0	2.0

の最近の操業成績を表5に示す。

5. 結 言

(1) 千葉製鉄所第3、4高炉付属熱風炉は、昭和47、48年の第3次改修で各種の制約を受けながらも大幅な能力増強を行うとともに、その後の操業において熱効率上昇に結びつく多くの操業改善を行い、順調な操業を続けている。

(2) 同熱風炉の送風温度は最高1280℃で、高炉の低燃料比、生産性向上に大きく寄与している。

なお執筆に際して、当社千葉製鉄所企画部設計室、動力部動力技術室、臨時建設室製鉄建設班から助言および指導を受けた。

参 考 文 献

- 1) 川崎製鉄(株)：熱風炉の構造について一千葉No.4高炉用熱風炉の内燃式から外燃式への改善について一，日本鉄鋼協会第9回銑鋼設備分科会資料7月5日，(1973)