

技 術 報 告

UDC 669.162.22-977 : 669.162.23-977

神鋼加古川の高炉における高温送風について*

佐伯 修**・田村 節夫**・上仲 俊行**

太田 芳男**・田中 孝三**

High Blast Temperature Operation of Blast Furnace at Kakogawa Works, Kobe Steel LTD

*Osamu SAEKI, Setsuo TAMURA, Toshiyuki UENAKA,
Yoshio OOTA, and Kozo TANAKA*

Synopsis:

The technique of high blast-temperature operation of blast furnace is advantageous in that it can reduce coke ratio and increase production of hot metal. Therefore, it is now a common practice to operate blast furnace with blast temperature over 1 100°C. With the advent of large, high top-pressure blast furnace operations, however, an increase in physical load caused by rising inside temperature and pressure due to high blast temperature leads to troubles in equipments. This is the bottleneck of such operation.

By adopting the following measures, we have achieved a satisfactory operation of No 1 blast furnace at our Kakogawa Works with blast temperature of 1 250 to 1 300°C.

- (1) Adoption of Martin type hot stoves.
- (2) Increase in thickness of the lining of hot main and bustle pipe and improvement of their structure.
- (3) Adoption of blowing stock with two-fold lining structure.
- (4) Increase of dome temperature of hot stoves through adoption of air preheater.
- (5) Protector for hot blast valves.
- (6) Control of charging material for blast furnace and adjustment of gas distribution by using movable armour and sampling equipment of furnace gas.

The basic construction plan for No 2 blast furnace at Kakogawa will be worked out based on our experiences in No 1 blast furnace. Furthermore, through lap parallel operation with four hot stoves and hot blast valves made of steel plates etc., we are intending to establish a technique of high blast temperature operation for a large, high top pressure blast temperature operation for a large, high top pressure blast furnace of 4 000m³ class.

(Received Aug. 19, 1971)

1. 緒 言

近年わが国の高炉の操業技術は短期間のうちに長足の進歩を遂げ、出銑比およびコークス比の両面で名実ともに世界をリードするに至った。この中で高温送風技術は調湿操業、燃料吹込および酸素富化操業など、いわゆる複合送風技術と同様、コークス比の低下、生産量の増大などにおいて有利性があり、高温送風への要求は漸次厳しくなり現段階では1 100°C以上の風温が常識化されている。

しかしながら、大型高圧高炉の出現に伴い送風温度の上昇により内部温度、圧力が増加し、これに帰因する設備上の物理的負荷の増大が設備トラブルを発生せしめ、これが高温送風実施上のネックとなつているようである。

加古川製鉄所第1高炉では建設計画に各種高温送風設備を織込み、まだ火入後1年足らずではあるが1 250°C以上の高温送風操業に成功したので、各設備の概要と使

* 昭和46年8月19日受付

** (株)神戸製鋼所加古川製鉄所

用実績、問題点などを紹介し、合せて高温送風設備の考え方を報告する。

2. 高温送風設備の計画

2.1 高温送風設備の前提条件

加古川第1高炉は粗鋼年産 250 万 t に見合う設備とし、高炉内容積 2843m³、最大出鉄量 7000 t/日の能力とし、送風温度の設定は酸素富化操業は行なわないでコークス比 430 kg/t、重油比 50 kg/t、燃料比 480 kg/t に見合うものとし、1300°C と決定した。なお装入原料は塩基度 (CaO/SiO₂) 1.3 の自溶性ペレットを 80% 配合するものである。これらの生産条件を満足する送風条件は次のとおりである。

- (1) 送風量； max. 6500 Nm³/min
- (2) 送風圧力； max. 4.5 kg/cm²・G
- (3) 送風温度； max. 1300°C

上記条件を満足する設備の計画ならびに設計に当たっては、特に高温送風用設備としては神戸製鉄所における数年の試行経験、操業実績を基に配慮した。

2.2 熱風炉設備

2.2.1 熱風炉型式

高温送風実施上、従来の内燃型 Cowper 式熱風炉で最も問題となる点は、燃焼室と蓄熱室との隔壁レンガの損傷であり、外燃式熱風炉の優位性は言をまたないが、加古川計画に当たつての課題はどのタイプの外燃式熱風炉を採用するかにあつた。外燃式としては Koppers 式、ERT 式、Martin 式などがあるが、当所では西独 Martin and Pargenstecher 社と技術提携し、Martin 式熱風炉を建設コストも考慮し3基設置することとした。本式を採用した理由は主として次のとおりである。

(1) 築炉設計および外殻鉄構設計が高温、高圧送風に適している。鉄皮の伸びに対する対策として Koppers 式あるいは ERT 式はドーム連絡管あるいは燃焼室底部に伸縮部 (expansion joint) を設け燃焼室と蓄熱室の鉄皮膨脹差を吸収しているが、Martin 式では燃焼室と蓄熱室の熱膨脹がほぼ同一となるよう、それぞれの高さを規定してあり expansion joint は取入れていない。また送風期における高温部での NO アタックによる鉄皮の亀裂、損傷がヨーロッパで発生したことがあるが Martin 式では NO アタック防止策として鉄皮表面温度の限界を規定している。

(2) 燃焼排ガスがギッターレンガに入る際、均一に分配されるような炉内プロフィールに設計されており、熱効率の向上が期待できる。

(3) 西独 ATH 社、Hoesh 社 Dortmund において

風温 1250°C 以上の長期連続操業の実績があり、とくに設備的トラブルも発生していない。

2.2.2 熱風炉本体

Fig. 1 に熱風炉プロフィール、Photo. 1 に熱風炉の設備仕様を示す。

熱風炉加熱面積は高炉内容積 1m³ 当たり 84m² と余裕を大きくとり、送風温度の変動ならびに高炉巻替時の炉容拡大に対処した。使用レンガは熱風炉上部は珪石レンガを使用し、ドーム最高許容温度 1550°C を可能とした。ただし、燃焼室と混合室との間の連絡管およびセラミックバーナー直上部など、温度変化の大きい所は高アルミナレンガを使用した。

なお炉体支持は鉄骨支持方式は採用せず、完全フリースタANDING方式とし、鋼材の節約と設置面積の縮小を図つた。(特許出願中)

2.2.3 ギッター受金物

ギッター受金物は、最高使用温度長期 400°C、短期 450°C が可能な耐熱クロム鑄鉄を選定し、熱風炉乾燥昇温時あるいは燃焼負荷増加時の排ガス温度上昇に対処できるものとした。

2.2.4 混合冷風方式

通風期に 1500°C 程度のドーム温度に近い高温熱風が、熱風弁を通過して熱風弁熱負荷を増大せしめることを回避するため、各熱風炉ごとに混合室を設け、熱風弁に対する負荷軽減を図るレイアウトとした。

2.2.5 熱風弁

銅製熱風弁は口径が大きくなるほど重量が増加し、取替のための専用設備が必要となり、また鑄物欠陥の発生も増加するなど、経費上・保守上難点が増すと考えられ、鋼板製熱風弁採用の兆しが国内でも見えてきていた。当社では将来の高温送風に備えて、神戸第1高炉に鋼板製熱風弁 (Raco 型) を国内第1号基として実用したが、1150~1200°C 程度の送風温度ではなんら問題なかった。

しかし鋼板製のものは大口径で高温高圧の実績に乏しく、比較的水質条件も厳しいなど、不安な要素があり、第1高炉用には採用を断念した。したがって第1高炉には、耐火レンガの許容しうる限りまで熱風流速を上げることにより熱風出口管の口径を小さくし、最終的に熱風弁は 1600mmφ 口径のシート上抜型銅製のものを採用することに決定した。また熱風弁を比較的小口径としたことにより、取替にはクレーンカーを使用することが可能となり、専用取替設備を常設する必要は避け得た。

冷却用水は高炉の送風羽口、ステーブクーラーなどと同質の工業用水を薬注処理して循環使用するものとし

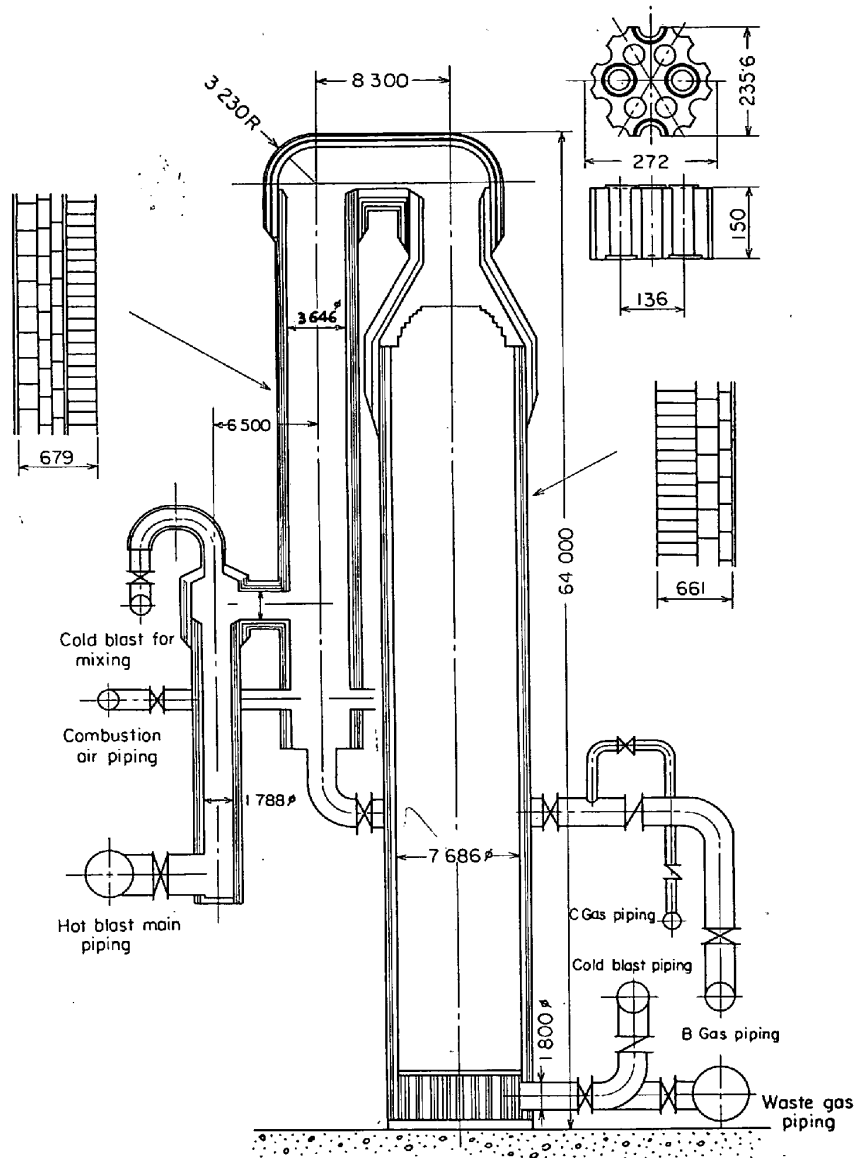


Fig. 1. Profile of hot stove for Kakogawa No 1 BF.

Table 1. Specification of hot stoves for Kakogawa No 1 BF.

Item	Specification
Form	Martin and external combustion type
Number	3
Diameter of checker room	Inner diameter shell : 9 000 mm ϕ Inner diameter of brick : 7 690 mm ϕ
Diameter of combustion room	Inner diameter of shell : 5 000 mm ϕ Inner diameter of brick : 3 646 mm ϕ
Total height	Ground line + 64 000 mm
Heating area	About 80 000m ² /one hot stove
Burner form	Martin type ceramic burner
Burner capacity	B gas 100 000Nm ³ /hr C gas 18 000 "
Maximum dome temperature	Air 120 000 " 1 550°C

た. 水量は 鋼板製熱風弁への 転換を考慮して 1 基当たり 110m³/hr, 水圧は弁部で 5 kg/cm²·G を計画した.

2.2.6 高温送風を得るための補助手段

高炉から熱風炉に供給される B ガスの予想カロリーは

750~850 kcal/Nm³ 程度であり、これから得られるドーム温度はたかだか 1 160~1 250°C 程度であるから、B ガス専焼では所望の 1 300°C 送風は不可能である。したがって高温送風実施上なんらかの補助手段が必要となるが、一般にはこの手段として次の方法がある。

- (1) 高カロリーガス (COG, LPG, LNG など) との混合燃焼
 - (2) 熱焼用空気、燃料ガスの予熱使用
 - (3) 液体燃料 (重油等) の併用燃焼
 - (4) 2 次手段としては
 - i) 高炉の酸素富化操業、重油吹込による B ガスカロリーの増加
 - ii) 熱風炉 4 基設置によるパラレル操業の実施
 - iii) 熱風炉切替時間の短縮
- 第 1 高炉用熱風炉に対して上記諸項目と製鉄所内 C ガスバランスを合わせて検討した結果、C ガスの混焼と燃

焼空気の予熱 (max. 450°C) の両者併用方式を採用するものとした。この場合熱風炉の C ガス混合率は次のとおりとなる。

- (a) 燃焼空気を予熱する場合 (400°C 予熱); 7~11%
 - (b) 燃焼空気を予熱しない場合 ; 15~25%
- ただし、ガスカロリーは B ガス 750~850 kcal/Nm³, C ガス 4 500~4 700 kcal/Nm³.

空気予熱装置は神戸第 1 高炉の使用経験から、運転操作が単純で切替使用が容易であること、ならびに熱交換器の汚れが少なく寿命の長い形状・材質であることを第 1 条件として、Photo. 2 に示す仕様の設備とした。

熱交換体は耐熱鋼管チューブとし、通過排ガス雰囲気温度 1 000°C までに耐えうる材質とした。耐火物は熱交換部に定型レンガを使用し、燃焼室・混合室に不定型プラスチック耐火物を使用するものとした。運転制御は遠隔全自動運転可能とし、警報指示装置の取付けにより機

Table 2. Specification of air pre-heater for hot stoves of Kakogawa No 1BF.

Item	Specification
Form	Channel type recuperater (Made in Japan Shack Co. LTD)
Number	4
Pre-heating air volume	190 000 Nm ³ /hr
Pre-heating air temp	Max. 450°C
Diluting form	Waste gas circulating type
Burner form	Ceramic burner
Burner capacity	Heat capacity : 10 · 5 × 10 kcal/hr × 2set
	B gas 50 000Nm ³ /hr × 2set
	Air 40 000Nm ³ /hr × 2set
Fuel	B gas

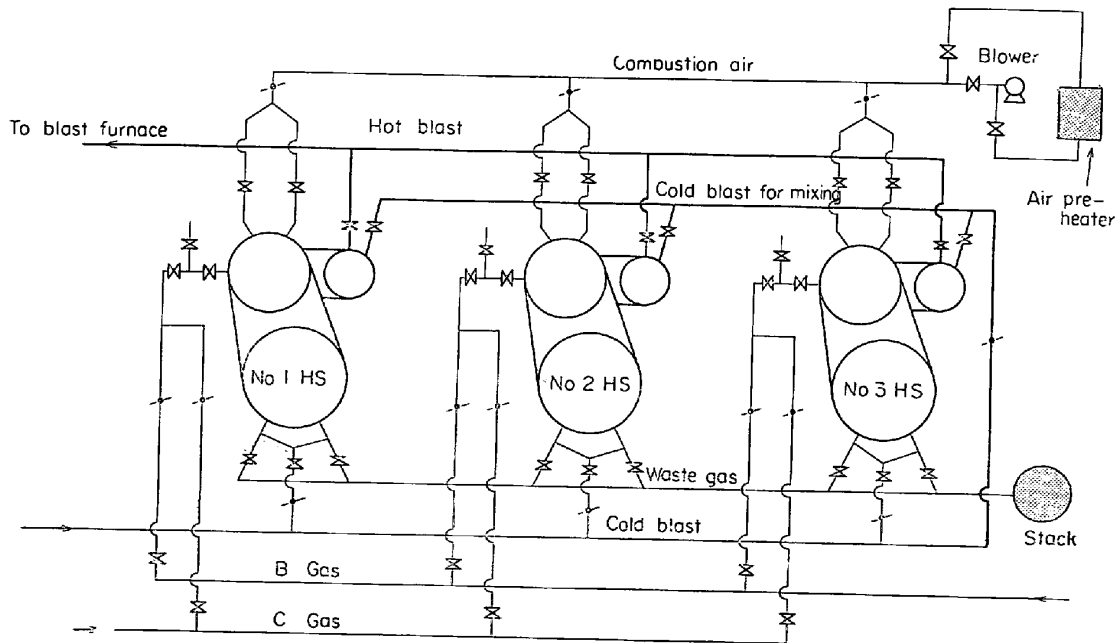


Fig. 2. Flow sheet of pipings of hot stove for Kakogawa No 1 BF.

側での運転・監視を不要なものとした。

2.2.7 Cガス混合方式

熱風炉の配管系統図を Fig. 2 に示す。

BガスへのCガス混合方式は Fig. 2 に示すとおり各熱風炉ごとに混合する方式としたが、これのおもな理由は次のとおりである。

(1) ドーム温度制御がBガスとCガスの混合比率の変更で各炉ごとに可能であること。

(2) 各熱風炉の性能特性に見合った混合ガスカロリーの設定ならびにドーム温度の設定が容易であること。

(3) 燃焼排ガス量一定でドーム温度制御、燃焼制御が可能であること。この場合空気比率の変更は不要となること。

なお熱風炉はコンピューターの導入によりオンラインコントロールができるものとした。

2.3 熱風本管、環状管

2.3.1 ライニング構成と鉄構設計

熱風本管、環状管は、熱風弁の取替えの便宜を図ることと送風支管を短くして設備的トラブルを減少させるために、据付けレベルを極力低くした。

ライニング厚みは、鉄皮および伸縮管など金物類の高温脆化、ホットスポットの発生などを防止すること、更には環状管レベルを下げたことによる高炉作業床上羽口回りの環境温度の上昇を押えるため、従来より50~100 mm程度厚くし合計550 mmとした。ライニング構成は内側より鉄皮に向かって耐火レンガー耐火断熱レンガー断熱レンガー不定型耐火物とし、とくに耐火断熱レンガを耐火レンガと断熱レンガの間に入れ、断熱レンガの保護と断熱効果を図った。なお鉄皮内径は3000 mmである。

2.3.2 熱風弁部レンガ築造

熱風弁取替えの際、熱風出口管のレンガが弁側に突出し、弁の取外し取付けにとかく困難を伴うのが旧来の状況であったが、今回はレンガが膨張によつても弁側に突

出ないようなレンガの形状・施行方法とし、弁取替えの便宜を図った。また熱風出口管の expansion joint は熱風弁と混合室の間に入れた。

2.4 送風支管

高温送風実施上最大のネックとなる設備は送風支管であろう。送風支管計画に当たつての課題は、接合部の赤熱、漏風、鉄皮のホットスポット発生などの防止ならびに風温降下の減少であるが、第1高炉に対しては金物関係ではとくに斬新な方策は取り入れず、ライニング方法を改良することにより、上記諸課題の主対策とした。

2.4.1 ライニング方法

Fig. 3 に送風支管組立図、Table 3 に送風支管金物およびライニング仕様を示す。

ライニング方法は、金物類に大きな熱負荷を与えないこと、金物からの熱損失を少なくすることを骨子として

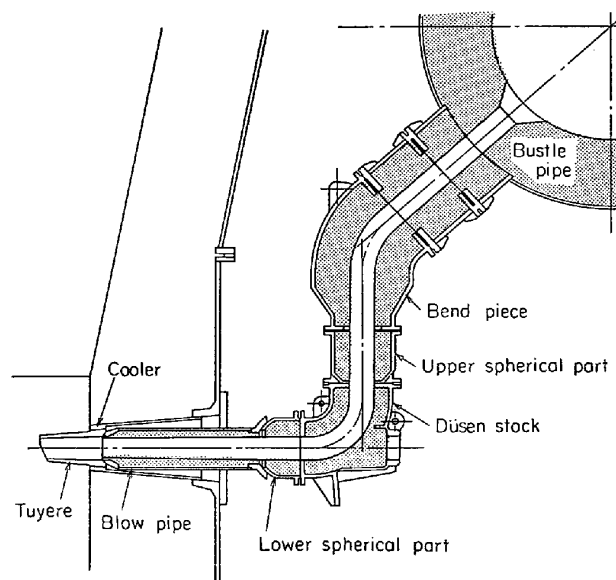


Fig. 3. Assembly of blowing stock for Kakogawa No 1 BF.

Table 3. Specification of the shell and the lining of the blowing stock for Kakogawa No BF.

	Quality	Lining thickness (mm)	
		Refractory castable	Insulation castable
Bend piece	SC46	75~110	50~110
Upper spherical part	SC46	75	50
Düsen stock	SC46	75~95	50
Lower spherical part	SC46	75	50
Blow pipe end point Straight part	SC46 STPG38 350A Sch60	40	33~43
Packing	SUS+Asbestos	—	—
Bolt	ASTM A193 B14	—	—
Nut	ASTM A194 Gr4	—	—

(1) ライニング構成は、熱風通過側に比較的熱伝導率の小さい耐火断熱キャストブルを、金物側に断熱キャストブルをライニングする2重ライニング方式とし、できる限りライニング厚みを大きくとる。(特許申請中)

(2) ブローパイプはとくにライニング厚みに制限を受ける所であるが、送風羽口、羽口クーラーの給排水管に支障のない限りブローパイプ金物の内径を拡大して、ライニング厚みを大きくする。

(3) キャスタブル受金物、球面座金物など、金物類が熱風に直接当たらないよう、すべての金物類はキャストブルで熱風から保護することとした。

2.4.2 金物

送風支管金物の形状は従来タイプをそのまま踏襲するものとした。すなわち Fig. 3 に示すとおり、球面メタル接合部は下部球面とブローパイプおよび上部球面と曲管(デュゼンストック)の2箇所とし、その他はフランジ接合とするものである。従来から最大のネックとなつている球面接合部からの漏風は、球面座摺合部の加工不良や環状熱風管の膨張による動きによる送風支管の変位あるいは羽口クーラーの経年変形に帰因していると考えられるが、これらは加工整備の仕方、環状管の固定方法および羽口クーラー回りおよび炉底側壁レンガの築造方法などで解決できるものと考えた。

ブローパイプと曲管をフランジ接合として一体化し取替えの便宜を図る方策についても検討したが、取替え機械が大型化すること、作業スペースの拡大を要すること、適切な取替え機械が見当たらぬこと、取替え時間の短縮にならぬであろうことなど、建設コストと現場作業

性の両面でマイナスの要素もあり、見合わせることにした。

ブローパイプ先後端部はキャストブルを厚く施行できない所であり、水冷ジャケット式として高温送風に備えた。

金物の材質は Table 3 に示すとおり、ブローパイプ直管部は STPG 38 とし、その他はすべて SC 46 とし、経験上とくに特殊鋼材は使用しなかつた。

3. 高温送風設備の使用実績と問題点ならびに対策

3.1 温度の推移

加古川第1高炉は昭和45年8月7日火入れし、現在まで10カ月経過して順調に操業を続けているが、この間の送風温度の推移を Fig. 4 に示す。

送風温度は火入2カ月目に1100°C、4カ月目に1200°C、6カ月目に1250°Cとし、現在1250~1300°Cで操業している。なお今後は1300~1350°Cを目標としているが、耐火物の耐熱度その他の点での可能性を検討する必要がある。

熱風炉のドーム温度は熱風炉乾燥期に1200°Cまで上昇させていたが、高炉火入後の風温の上昇に合わせてドーム温度も立上げ、風温1200°Cの時点で1400°C、風温1250~1300°Cの現在、1450~1480°Cまでドーム温度をそれぞれ上昇せしめている。

3.2 鉄皮温度と熱損失

熱風本管から送風支管ブローパイプに至る熱風管の鉄皮表面温度とこの間の送風温度の低下量を、送風量5350 Nm³/min、送風温度1300°C時点での第1高炉

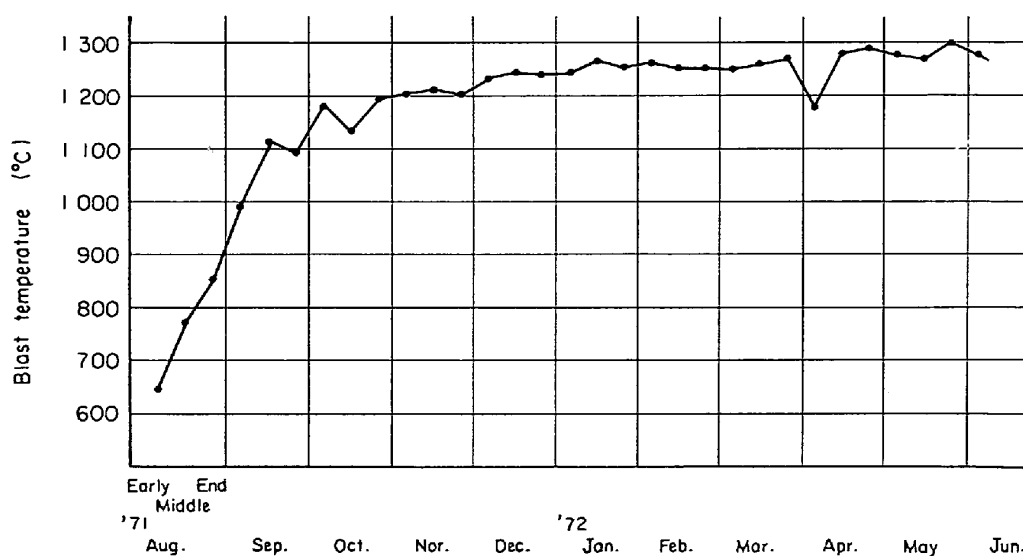


Fig. 4. Transition of hot blast temperature at Kakogawa No BF.

Table 4. Problems and counterplans of the high blast temperature equipments for Kakogawa No 1 BF.

Equipment	Problems	Causes	Counterplans
Hot stove	1) Crack of the guide pipe for dome thermo couple. 2) Rising of the shell temperature of hot blast outlet piping. 3) Damage of the protecting pipe for dome thermo couple. 4) Falling off of the castable of waste gas piping. 5) Leak of hot blast at the gland-packing of hot blast valve.	Fault of welding. Hot blast passes through out between shell and brick. Inadequacy of inserting depth, inserting method and quality of the protecting pipe. No installation of studs for the castable. Fault of packing of maintenance.	Repair of welding and insertion of castable into the gap between shell and brick. Insertion of castable into the gap between shell and brick. Alternation of inserting method of the protecting pipe and changing thermo couple into radiant type thermometer. Under investigation. Refueling and tightening bolts.
Hot main and bustle pipe	1) Leakage of hot blast at the main hole flange. 2) Falling off of the castable and the inner pipe of air bleeder piping (Gas blowing piping)	Fault of tightening bolts. Distortion of the inner pipe by means of heat.	Tightening bolts and insertion of castable Removing of the inner pipe and repairing of castable
Blowing stock	1) Melting of the tip of blow pipe. 2) Superheating and hot blast leakage at the eyesight elbow.	Inadequacy of the inserting position and shape of the burner nozzle for oil injection. Fault of finishing spherical part.	Alternation of the inserting position and the shape of the burner nozzle. Intensifying of finishing work and lining of the eyesight below cover.

Castable=castable refractories

と、同一送風条件での旧来のライニング方式のもの（熱風本管および環状管はライニング厚みを第1高炉より100 mm 薄くし、送風支管は耐火断熱キャストブルを1層施行したもの）と比較すると次のとおりであった。

すなわち第1高炉の場合、鉄皮表面温度は熱風本管、環状管で 65~100°C（平均 85°C）、送風支管で 170~250°C（平均 210°C）で、これらから計算される送風温度の低下量は前者は 6°C、後者は 7°C であった。一方旧来のライニング方式の場合、鉄皮表面温度は熱風本管、環状管で 95°C、送風支管で 310°C、送風温度低下量は前者は 9°C、後者は 15°C とそれぞれ計算推定された。

したがって送風温度の低下は 10°C 以上改善されているものと推察される。鉄皮金物の温度がどこまで許容できるかは議論の余地があるが、ライニング方式の配慮により金物温度を下げることは設備保護と作業環境の改善上効果があると考えられる。

3.3 高温送風設備の問題点と対策

Table 4 に各設備の問題点と対策を取りまとめた。稼

動以来1年足らずの実績ではあるが、Table 4 に示すように問題は局部に限られており、高温送風実施上ネックとなるトラブルではなく、熱風炉切替え時あるいは高炉予定休風時に補修、取替えをする程度で順調に運転されている。

3.3.1 熱風炉

ドーム測温計としては熱電対と輻射高温計を併設し、火入れ以来熱電対を使用していたが、ドーム温度 1350°C 以上で保護管の損傷が激しく熱電対は使用困難となり、その後各熱風炉とも輻射高温計に切替えている。現在ドーム温度 1450~1480°C であるが、輻射高温計は問題が起こっていない。

熱電対用保護管としては、再結晶アルミナの2重管または再結晶アルミナ管と磁性管の組合せのものを使っていたが、取付け挿入時の急熱あるいは挿入深さに損傷の原因がある模様で、保護管の外面積覆など現在検討中で再使用を試みたいと考えている。

保護管用ガイドパイプ付け根の亀裂事故は熱風がガイ

ドパイプフランジから漏風したことに帰因しており、溶接補修とキャストブルの圧入等の対策を講じたが第2高炉ではガイドパイプ回りの築炉方法を十分検討したい。

排ガス管底面のスタッドを取付けてない箇所でも一部キャストブルが脱落したが、この部分の鉄皮表面温度は100~120°C程度であるところから処置は取っていない。

熱風炉本体についての問題点はほとんどなく、今後の長期高温送風実施上とくに配慮すべき箇所は今のところ見当たらないが、十分な点検管理は続けていく必要はあると考えている。

3.3.2 熱風本管、環状管

エアーブリーダ管は内面ライニング施行を容易にするため2重管式としていたが、高炉休風時の放散ガスにより内筒が脆化して内側に折れ曲がり、ガスブロー能力の減少を余儀なくされたが、第2高炉では旧来のライニング方式に戻すつもりである。

3.3.3 送風支管

送風支管は月並みな金物型式のものにライニング工法のみを意を注いで使用したが、当初懸念されたトラブルはほとんど発生せず、風温1300°C、風圧3.5 kg/cm²・G程度の条件に十分耐えうることが立証された。ただ曲管の覗き口カバーの赤熱および覗き口耐熱ガラスの劣化の点に問題が残されており、これが唯一の改造を要する箇所である。

ブローパイプ先端の溶損事故は高温送風に直接帰因するものではなく、重油バーナーの挿入位置あるいは重油バーナーのパーシ方法によるものと考えられるので、バーナー挿入位置を羽口部に延長するとともにバーナー・ノズルの寿命延長を図るべく改造品をテスト中である。

3.4 高炉操業から見た高温送風

高炉操業上風温上昇により問題となる点は、

- (1) 送風圧力の直接増加
- (2) ore/coke 上昇による炉内通気抵抗の増大
- (3) 羽口前理論燃焼温度上昇による炉況変化

などであろうと考えられる。

(1)(2)に対しては、装入原料の管理強化、装入分布の改善、高圧操業の導入などの対策が考えられ、加古川第1高炉においてもこれら諸対策と合わせて風温の上昇を行なつてきている。装入原料は圧潰強度300~450 kg/個の塩基度1.3の自溶性ペレットを80%使用し、これの性状管理に努めている。残りの20%は塊鉱石であるが、整粒強化を進めるためにヤードに水洗設備を設置している。

高圧操業への移行は比較的早く行ない、立上り風量の増加に合わせて炉頂圧を高め、火入後4カ月目(風温1200

°C)で1.3 kg/cm²・G、6カ月目(風温1250°C)で設備能力限界の1.5 kg/cm²・Gとした。

装入分布に関しては、GHH式アーマープレートとDango式炉体ガスサンプリング装置の併用により、適正ガス分布パターンに対応するアーマー作動位置を設定し現在テスト中である。

炉内圧損は、出銑比2.0~2.1、コークス比460~470 kg/tの操業度で送風量/送風圧力で1.6~1.7となっている。この値は他社の同型高炉と比較してやや低いと思われるが、これは送風温度が高いことならびに送風圧力の測定位置が熱風炉入口側の冷風部であるためと推察される。

羽口前理論燃焼温度は風温の上昇により増大してくるのは当然であり、酸素富化、重油吹込み、調湿などと合せて風温は考慮されるべきであるが、加古川第1高炉では羽口前理論燃焼温度2300°Cを一応操業ベースとしている。なお棚吊、スリップ、炉内圧損、羽口破損などの炉況特性値と羽口前理論燃焼温度との関係を解析してみたが、過去数カ月の間ではいずれも有意な相関は見い出せなかった。

コークス比に対する風温の効果については、高炉立上り期間中に風温を1200~1250°Cまで引上げたため明確に把握できていないが、1200°C以上でも風温100°C当たりコークス比の低下量は10~15 kg/t程度はあるのではないかと考えている。

羽口数に関しては、少ない方が保全面で有利であるが、重油多量吹込みあるいは送風支管における熱風の圧損の点では羽口数は多い方が得策であろうと考えられ、羽口の適正数については意見の分かれるところであろう。

当所では高炉鉄皮強度の許容限界まで羽口数を増加することを立前として、第1高炉では34本を計画し全羽口に重油吹込みを行なっている。重油吹込み量の増大は燃焼効率、所要酸素量および羽口前温度等の面から限界があると考えられており、この観点から言えば、酸素富化との併用の方が高温送風より重油多量吹込みには効果があろう。第1高炉では当初高炉吹込み酸素は設備的に考慮せず、火入れ以来10カ月間酸素富化操業は行なっていない。しかしながら幸いに高温送風設備の順調な稼働により、1250°C以上の風温使用が可能となり、また全羽口重油吹込の効果があつたためか、ガス清浄機排水ピットに浮遊カーボンが何ら存在することなく60 kg/tの重油吹込が可能であるという結果を得ている。

4. 高温送風に対する今後の進め方

第1高炉の高温送風設備は比較的短期間のうちにその

性能を發揮し所期の目的を達成しえたが、今後の操業の安定化、更には風温 1300°C ないしこれ以上、風圧 $4.0\text{ kg/cm}^2\cdot\text{G}$ 以上の 4000m^3 クラスの大型高温高圧高炉の採用に対する進め方を述べてみたい。

4.1 熱風炉

第1高炉用熱風炉は世界最大の全高 64m の規模となつたが、築炉の作業性、耐火物の耐圧強度の両面で、これが限界と考えられ、大幅な高炉炉容拡大に対しては熱風炉基数の増加が余儀なくされ、設備費の割高を招くことになろう。しかしながら熱風炉4基によるラップ・パラレル操業のメリットはきわめて大きいことから、とくに高温送風を意図する場合は熱風炉基数は4基を配慮すべきであろう。

熱風弁は第1高炉程度の使用条件では銅製でもならさしつかえないが、口径および重量が更に増加する場合は、寿命、取替え方法の面で鋼板製がクローズアップされてこよう。いずれにしても寿命が最大の決め手となり、今後の両者比較が注目される。

4.2 熱風本管、環状管

熱風本管、環状管についてはとくに問題とすべきところはなく、今後も第1高炉の計画をそのまま踏襲してさしつかえないと考える。

4.3 送風支管

現行の送風条件で、送風支管金物状況は旧来タイプでも使用上とくに問題はなく、 4000m^3 クラスの高炉にも十分使用可能でなかろうか。一方、球面接合部をなくしフランジ接合とし、expansion joint を導入したタイプの送風支管が国内外で数年前から実用され、高温送風設備として成功を収めているようであり、当社でもテスト中であるが、両者の優劣は一面的には決め難い。しかしながら旧来タイプでも十分使用可能であることが実証されれば、この方を採用するのが得策であろう。

4.4 耐火物

高温高圧操業設備の導入により耐火物への要求は次第に厳しくなつてきたが、従来、耐火物の品質上の使用限界は安全率を大きく見る嫌いがあつた。また寸法ならびに品質特性値のバラツキも大きく、更には品質特性値のバラツキを規制する確固たる根拠もなかつたようである。したがつて、ユーザーは必要以上の過剰品質の成品を使用したり、品質バラツキが大きいゆえにトラブルが発生したかもしれない。また高温送風設備費のうち大きな比率を占める耐火物を、その性能限界近くまで使用することが経済的な設備ともなる。

この意味で耐火物に対する注意と探求はますます必要となつてくるであろう。

4.5 建設工事と保全作業

労働力不足の昨今、高炉建設作業員のレベル低下が大きな問題となつている。とくに築炉作業においては、築炉時でないとして作業ミスの発見ができない深刻さがあり、築炉不良が設備トラブルの原因にもなる。第1高炉建設工事で最も注意を注いだのは高温送風設備の築炉工事であり、このために当社社員多勢を築炉監督に充当し、万全を期した。また火入後の保守点検作業は、点検チェックリストに基づいて各開口部・接続部の漏風・亀裂の有無の点検、各鉄皮金物の表面温度・ホットスポットの発生有無などの点検を行なつた。

これらの作業は第1高炉の操業および第2高炉の建設・操業にもそのまま続行していくつもりである。

4.6 高炉操業

前にも述べたように、風温の上昇は他の複合送風技術と合せて実施していく必要があるが、第1高炉では高温送風が酸素富化操業に優先して行なわれ、酸素設備は建設計画に織込まなかつた。このために現在は製鉄所内酸素バランスから酸素富化率は 0.8% が限界であり、重油吹込量が制約を受けている。酸素富化率は来年後半酸素発生装置の完成により 3% 以上が可能となるが、高温送風と高酸素富化の併用により、重油吹込量 100 kg/t 以上が近い将来の目標でもあり、課題でもある。

5. 結 言

加古川第1高炉の高温送風設備の概要と操業実績を報告したが、取りまとめると次のとおりとなる。

(1) 次のような諸方策を施すことにより 1250°C 以上の高温送風操業に成功した。

- i) Martin 式熱風炉の採用
- ii) 熱風本管、環状管および送風支管のライニング方式の改善
- iii) 空気予熱装置の設置
- iv) 熱風弁保護諸策、Cガスの各熱風炉ごと混合調整可能策その他

(2) 高温送風実施上、致命的なトラブルはないが、設備保全上、高炉操業上きめ細かい管理が今後とも必要である。

(3) 第1高炉では耐火物の性能特性を調査し、さらに 1300°C 以上の高温送風を試みたい。同時に酸素富化操業との併用で重油多量吹込を実現させたい。

(4) 第2高炉では、第1高炉の高温送風設備の大綱を踏襲して計画に織込みたい。また第2高炉では熱風炉4基設置、鋼板製熱風弁の採用などにより大型高温高圧高炉完成の一助としたい。