

高炉熱風炉セラミックバーナ熱間補修技術の開発

Development of Quick Repairing Technique for Ceramic Burner in Hot Stove of Blast Furnace

中村博史/Hirofumi Nakamura・和歌山製鉄所 設備部 機械技術室 参事補

堂裏晃司/Kouji Doura・和歌山製鉄所 設備部 機械技術室 参事補

山崎比呂志/Hiroshi Yamasaki・和歌山製鉄所 設備部 機械技術室

近藤 淳/Atsushi Kondo・和歌山製鉄所 製鉄部 製鉄管理室 参事補

大島一馬/Kazuma Oshima・和歌山製鉄所 製鉄部 製鉄工場

要 約

和歌山製鉄所第4高炉の熱風炉は、改修後20年を過ぎた1994年頃から燃焼室下部にあるセラミックバーナの耐火物損傷が著しく進行し、補修が必要となった。

当高炉の熱風炉は3基設置でしかも3基同時運転が必要のため、長期間停止による補修は事実上不可能である。

そこで、断熱ドームの開発を核とした熱風炉セラミックバーナの熱間補修技術を確立し、これにより1996年までに2基のセラミックバーナの補修を短時間(48時間以内)の休風で完了することができたので概要を報告する。

Synopsis

The hot stove at Wakayama No.4 blast furnace has been working steadily for about 20 years since it was repaired in 1974, but recently ceramic burner bricks in the lower part of the combustion chamber were damaged.

No.4 blast furnace has only three hot stoves, so it was necessary to repair them during a short shutdown.

Therefore a hot repair technique for the ceramic burner in the hot stove has been developed. Using this technique, two ceramic burners were repaired in just 48 hours.

1. 緒 言

和歌山製鉄所第4高炉の熱風炉は、1974年に改修して以来順調に稼働してきたが、20年を経過した1994年頃から燃焼室下部にあるセラミックバーナの耐火物損傷が著しく進行した。

当高炉の熱風炉は3基のみであり熱風炉2基運転による高炉操業は事実上困難である。

したがって、熱風炉長期間停止による補修工事は不可能であり通常の補修用休風程度の短時間で補修が必要となった。

そこで、熱風炉セラミックバーナの熱間補修技術を確立し、1996年までに2基のセラミックバーナの補修を短時間(48時間以内)の休風で完了し、高炉の安定操業に寄与することができた。以下に本技術の概要を紹介する。

2. 熱風炉セラミックバーナの概要

高炉熱風炉はガスを燃焼し発生した熱をいったん煉瓦に蓄えそこへ圧縮空気を送り込み、高温に加熱された熱風を高炉へ送り込むための設備である。

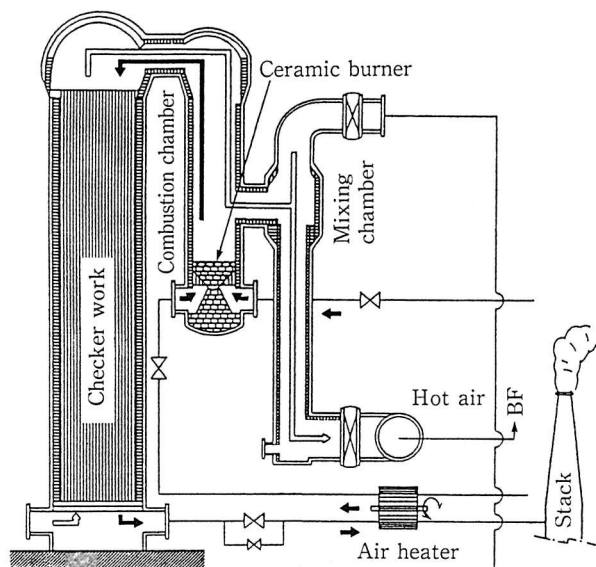
第1図に熱風炉の概略構成図、第1表に設備仕様を示す。

この熱風炉はコッパース外燃式で、設備は ガスを燃焼させる燃焼室、燃焼熱を蓄える蓄熱室、高温の熱風を温度調整して送り出す混冷室からなる。運転は 燃焼(同時に蓄熱)→充圧(いったん高炉に送風できるレベルまで内部圧力を高める)→送風(熱交換した高温空気と低温空気を混合させ一定温度で高炉へ送風する)の工程を繰り返す。

そして、高炉へ連続して熱風を送るために3~4基の熱風炉を使用し、これを切替ながら操業する。

セラミックバーナとは、この熱風炉の燃焼室にある煉瓦で組み立てられた燃焼器(バーナ)のことで、第2図に示すように燃焼室下部の両側から燃料ガス、燃焼用空気をそれ

技術報文

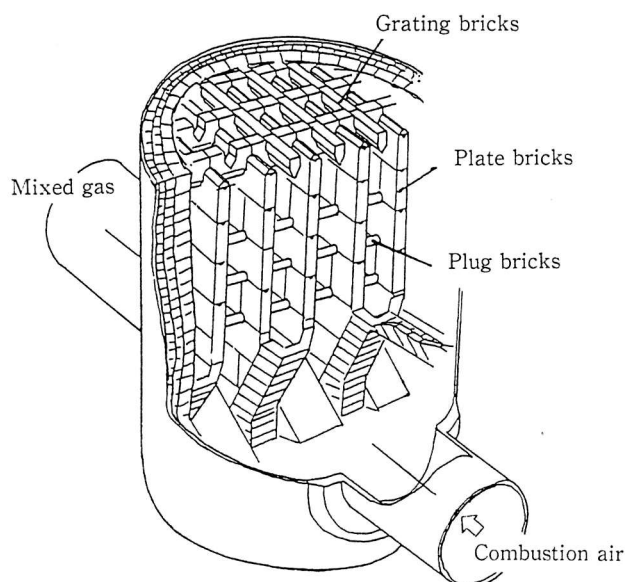


第1図 熱風炉の構成
Fig.1 Outline of hot stove

第1表 第4高炉熱風炉の主仕様

Table 1 Main specification of hot stoves at Wakayama No.4 blast furnace

Item	Specification
Type	Koppers external combustion type
Heating area	58 440 m ² /unit x 3 units
Blast volume	Max. 5 200 Nm ³ /min
Blast temperature	Max. 1 300°C
Blast pressure	Max. 0.4 MPa
Dome temperature	Max. 1 450°C
Burner type	Koppers type ceramic burner
Burner capacity	96 000 Nm ³ /H/unit
Fuel	Mixed gas (blast furnace gas + coke oven gas)



第2図 セラミックバーナの構造
Fig.2 Outline of the structure of the ceramic burner

ぞれ供給し、セラミックバーナ内ではガスと空気はプレート煉瓦で仕切られた状態で上方へ流れ、最上部から出るときに格子煉瓦で流れが二分され、二分されたガスと空気は互いに混合された後燃焼する。

また、仕切となるプレート煉瓦は、円柱状の栓煉瓦および最上部を格子煉瓦で保持される構造となっている。

したがって、格子煉瓦は、燃料ガスと燃焼用空気の混合、プレート煉瓦最上部のスペーサおよびサポータの役割をしている。

3. セラミックバーナの損傷状況と補修方法

第2表に和歌山製鉄所第4高炉の熱風炉セラミックバーナの煉瓦損傷状況を示す。栓煉瓦およびプレート煉瓦の損傷の原因は、ガス燃焼時に生じる硫酸による表面からの侵食と考えられる。この影響で栓煉瓦の脱落やプレート煉瓦の穴明きが発生していた。

また、上部の格子煉瓦は、燃焼・送風時に生じる400～950°Cの繰り返し熱衝撃によるスポーリングによって本体に亀裂が生じ、劣化進行の激しいNo.2熱風炉では30%が脱落していた。

この対策として、従来下部の栓煉瓦、プレート煉瓦については耐火物吹付等の補修を実施したが、上部の格子煉瓦は高温のため補修が不可能であった。

しかしながら、格子煉瓦の損傷はガスと空気の混合効果を低下させ、バーナとしての燃焼性能を低下させる。更に放置し割損・欠落が進行すればプレート煉瓦の倒壊を引き起こし、燃焼不能となり高炉操業不能の恐れがあることから上部格子煉瓦の熱間補修技術の開発が必要となった。

第2表 セラミックバーナの損傷状況

Table 2 Condition of ceramic burners

HS No.	Lower half	Upper half
	Plug, plate bricks	Grating bricks
1 HS	Repair completed August 1992	20 % lost
2 HS		30 % lost
3 HS		10 % lost

4. 熱間補修における開発課題

通常セラミックバーナの積替えを実施する場合、炉内を長時間(7～10日)をかけて徐冷するのが一般的である。これは、燃焼室上部の内壁を構成する硅石煉瓦の熱膨張率が、ある一定温度域(600°C付近)で急変する変態点を持つため、急激な収縮による上部側壁煉瓦の剝離割れを防止するためである。

したがって、積み替え補修時間を短縮するためには、上部の珪石煉瓦を高温に保持したままセラミックバーナ部のみを冷却する技術の開発が必須である。そこで、セラミックバーナ上部を断熱保温し、しかも短時間で簡単に取り付け可能な防熱装置の開発に着手するとともに、格子煉瓦の短時間更新技術の開発に取り組んだ。

開発に際し、以下のように基本計画を定め、課題を絞り込んだ。

【基本計画】

- (1) 48時間以内の短時間休風で全ての補修工程を完了できる工法を開発する。
- (2) 上部燃焼室を保温したまま、セラミックバーナ部のみを冷却するための装置を開発する(珪石煉瓦の保護)。
- (3) 格子煉瓦の組立構造が複雑で、しかも取付に高精度が要求されるため、人手で確実に打てる煉瓦の積み替え工法を開発する。

【開発課題】

- (1) 信頼性の高い防熱装置の開発
- (2) 熱間での工事用マンホールの開口技術の確立
- (3) 短時間冷却方法の確立
- (4) 短時間での煉瓦積み替え工法の開発

5. 熱間補修技術の開発

5-1 断熱ドーム式防熱装置の開発

防熱装置が具備すべき性能としては、

- (1) 耐熱性 : 900℃以上に耐えられること。
- (2) 熱遮断性能 : 上部の輻射熱を確実に遮断できること。
- (3) 形状制約 : 新設マンホールから装入でき、内部で開放した後内壁にフィットできること。
- (4) 作業スペース : 高さ1000mm以上の下部作業スペースを確保できること。
- (5) 通気性 : 炉壁との接触部は空気漏洩量を抑制し中央部は対流伝熱が発生しない程度の冷却を兼ねた漏洩量を確保すること。

であり、これらを全て満足できる断熱ドーム式防熱装置を開発した。

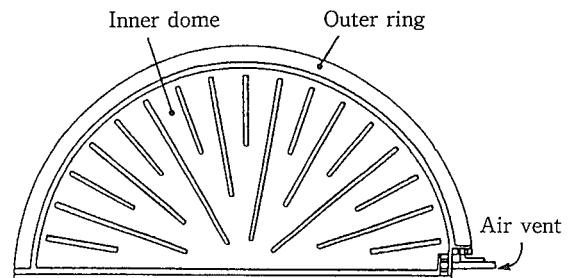
断熱ドームは耐火繊維を袋状に縫製したもので、炉外では小さく折り畳んでおき、炉内の所定の位置で袋内に圧縮空気を送り込むことによりドームが開き、またこの空気層による断熱を図る構造とした。

第3表に今回開発した断熱ドーム式防熱装置の仕様および特徴を、また形状を第3、4図に示す。

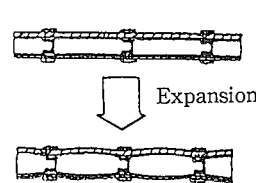
第3表 断熱ドーム式防熱装置の特徴

Table 3 Feature of the insulated dome type heat preventive device

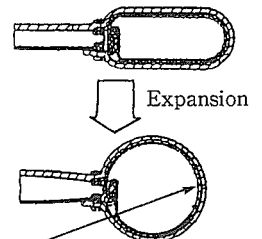
Item	Feature and specification
1. Insulated dome (1) Material (2) Composition	Long filament silica cloth (withstanding 1000℃) Doughnut ring outside + dome inside (4 divisions : expansion by compressed air)
2. Support device (1) Material (2) Dome receptacle (3) Elevation	Steel (air cooling) Propeller type Screw + center jack



a. Plan view of dome (half-split structure)



b. Sectional view of inner dome



c. Sectional view of outer ring

第3図 断熱ドームの形状

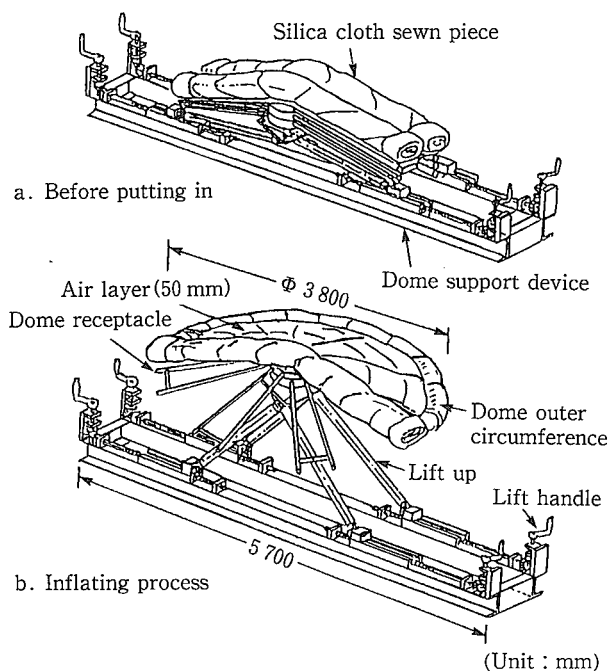
Fig.3 Appearance of insulated dome

5-2 マンホールの開口技術

断熱装置の取り込みや作業用マンホールの開口時に炉内で800～950℃に熱せられた珪石煉瓦が外気の吸込による急冷のため損傷するのを防止し、短時間で開口作業が完了できるよう第5図に示すような折り畳み可能なパラソル型防熱装置(空冷式)を考案した。

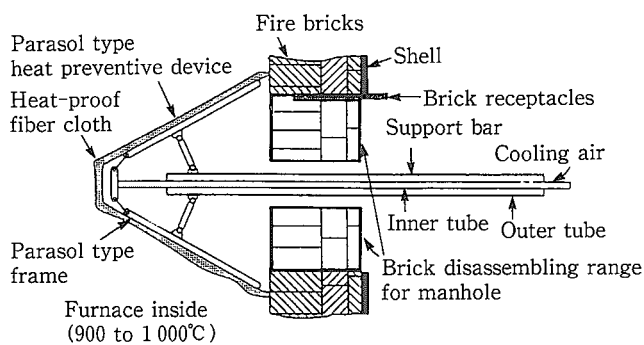
これは、炉内からの輻射熱や、また熱風吹き出しを防止する機能も併せ持つ。

また、断熱ドーム上部に保熱用のバーナの設置により、仮に一時的に外気が侵入した場合でも炉内温度を一定範囲に保持できる機能を付加した。



第4図 断熱装置の概略図

Fig.4 Outline drawing of heat insulating device



第5図 パラソル型防熱装置の設置方法

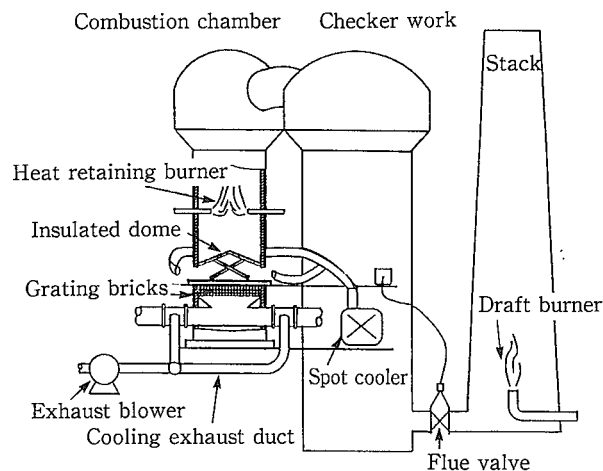
Fig.5 Method of installation of parasol type heat preventive structure

5-3 セラミックバーナの短時間冷却方法

ドーム上部の硅石煉瓦の温度を変態点(650°C)以上に保持しながらドーム下部のセラミックバーナを短時間で工事ができる雰囲気温度(50°C以下)に冷却するために次の方法を考案、実施した。これらの機器構成を第6図に示す。

(1) ドーム下部炉壁からの輻射熱の遮断

下部炉壁において、炉壁からの輻射熱を遮断するとともに炉壁煉瓦の急激な温度低下を抑制するためのセラミックファイバーの吹き付けを実施した。



第6図 冷却方法の概要

Fig.6 Outline of cooling method

(2) 外気吸引方式による強制冷却

断熱装置装入用のマンホールを開放状態に保ち、別置きの排気プロアにて、このマンホールから外気を吸い込む強制冷却方法を考案した。

これはセラミックバーナの上部から下部方向へと強制的に冷却空気を流して系外へ排出することにより、下部煉瓦を冷却するとともに、補修作業をするための雰囲気温度を確保するのが目的である。更に、冷却効果を高めるためにスポットクーラーを運転し吸引される外気の中に冷気を混入した。

(3) ドーム上部、下部の微圧制御

外気吸引方式による強制冷却を行う際、吸引力が強すぎると断熱ドーム上部の熱気が下降してくる。これを防止するため、ドーム上部の圧力を熱風炉の燃焼排ガスの切替弁である煙道弁の開度を調整して吸引圧力と同程度の負圧に保持する微圧制御システムを開発した。

5-4 格子煉瓦短期更新工法

セラミックバーナ上部格子煉瓦は、複雑な煉瓦積み構造であるため精度の高い確実な補修が要求されるとともに、短時間で積み替える必要がある。そのため、次の工法を考案した。

(1) 作業スペースの確保

断熱ドームの中央部を高く傘型とし、更に断熱ドームを炉内へ装入後、支持装置ごと上昇する機能を持たせることで作業スペースを確保した。

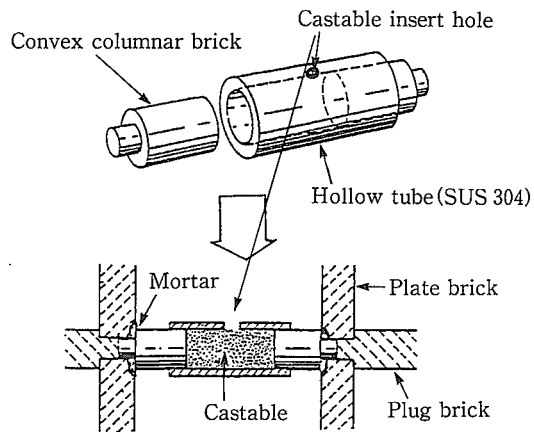
(2) 煉瓦更新時間の短縮

作業員の出入りや積み替え用煉瓦の搬入専用のマンホール設置により工事能率を向上させた。

また、煉瓦を小割化し単位重量を最大 30 kg とし作業性向上を図った。

(3) 栓煉瓦構造改善

プレート煉瓦を支える栓煉瓦については、プレート煉瓦を解体せずに不良栓煉瓦を単独で取り替えできるよう第7図に示すような伸縮式栓煉瓦を考案した。



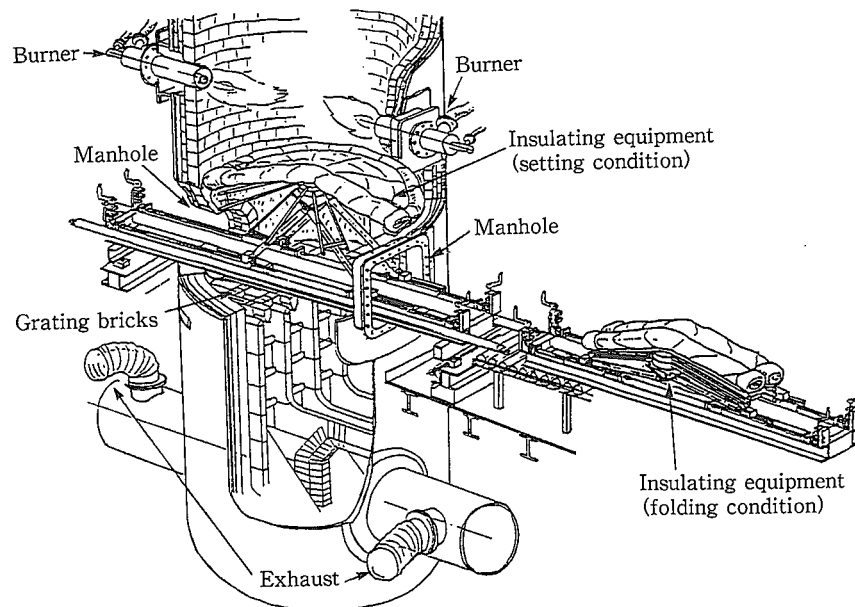
第7図 伸縮式栓煉瓦の取付方法

Fig.7 Mounting method of expansion type plug bricks

6. 本補修技術の適用結果

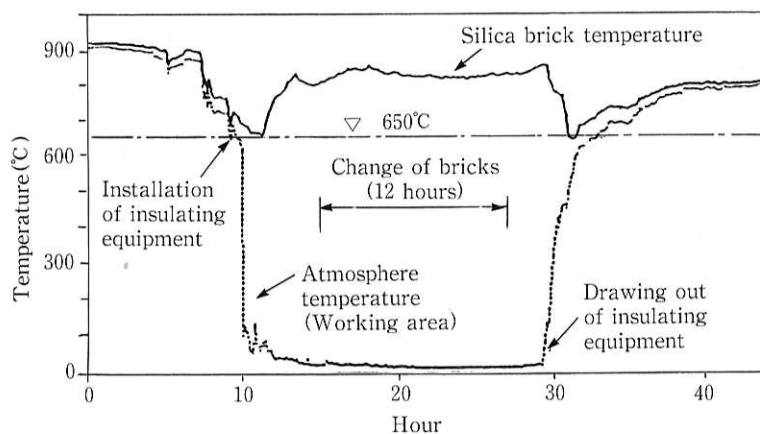
以上説明した熱間補修技術を採用し、95年2月に第一回目(No.2熱風炉)のセラミックバーナ上部格子煉瓦の積み替え補修を42時間で、また第2回目は48時間で所期目的どおりに達成できた。第8図に補修時の実施状況を示す。

硅石煉瓦温度は、第9図に示すように工事中の防熱装置装入、取り出し時に外気が侵入し一時的に低下したが650℃以上に保持することができた。また、断熱ドーム下部の雰囲気温度は、20~30℃に低下でき、作業環境を長時間にわたり確保することができた。



第8図 セラミックバーナの補修状況

Fig.8 Method of ceramic burner repairing



第9図 炉内温度の推移

Fig.9 Transition of furnace temperature

7. 結 言

和歌山製鉄所第4高炉の熱風炉セラミックバーナの補修に関し、断熱ドーム式防熱装置を使用した熱間補修技術を開発した。

この補修技術を95年2月にNo.2熱風炉に適用した結果、業界で初めての48時間以内の短時間休風でのセラミックバーナ格子煉瓦の全数積み替えを実現することができた。今後も、高炉延命に関し、新たな補修技術の開発を積極的に進めていきたい。



中村博史/Hirofumi Nakamura

和歌山製鉄所 設備部 機械技術室
参事補

(問合せ先：0734(51)2563)