

熱風炉の熱間観察，補修方法

Observation and Repair of Hot-blast Stove at High Temperature

山田 泰宏*
Yasuhiro YAMADA
天野 正彦
Masahiko AMANO

鈴木 敏文
Toshinori SUZUKI

筒井 直樹
Naoki TSUTSUI

大坪 浩昭
Hiroaki OHTSUBO

抄 録

熱風炉等の大型密閉式の炉設備において，CCDカメラと別光源を併用することにより，熱間観察による損傷部位の特定及び余寿命の推定ができるようになった。またこの熱間観察装置と補修を併用することで熱風出口管において確実な補修が可能となった。

Abstract

Observation of high temperature refractories inside huge vessels like hot-blast stoves became possible with CCD cameras in water-cooled jackets and external lights. It leads to the determination of damaged area and the estimation of remaining life of the refractories. Reliable repair comes out true by using the hot observation equipment.

1. 緒 言

熱風炉は炉材設計の改善及び操業方法の改善により大幅に寿命が伸びている^{1,2)}。熱風炉の代表的な損傷は各種対策により改善が図られているが，長期稼働の間には，さまざまな部位の損傷が発生することは避けられない。直近の熱風炉の損傷は，炉形式，稼働年数，操業形態，炉材品質等で変化し，特定の部位のみの管理では対応が困難になっている。

一方，熱風炉は高温の密閉型容器であり，操業中のみならず休風中でも炉材の損傷状況を観察することは困難である。炉内観察を十分に行えない状態が長期化すると，操業に異常が発生するまで炉体の損傷が把握できず，損傷が判明した時点で炉休止を余儀なくされることから，操業への影響が極めて大きい。

計画的に熱風炉を管理するためには，定期的な炉内観察及び的確な補修を実行することが重要である。熱風炉の観察，補修は熱風炉形式，損傷部位によって異なった手法が要求される。以下に名古屋製鐵所における内燃式熱風炉の熱間観察及び補修方法について述べる。

2. 熱風炉の損傷部位

熱風炉は長期間の稼働で各部位の損傷が進行することは避けられない。熱風炉の代表的な損傷部位を図1に，損傷内容を表1に示す。

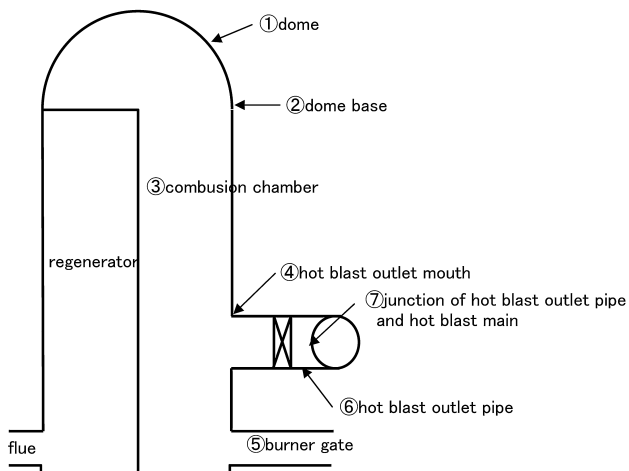


図1 熱風炉の損傷部位
Damages in hot-blast stove refractories

* 名古屋製鐵所 製鋼工場 炉材技術グループ マネジャー 愛知県東海市東海町5-3 〒476-8686 TEL:(052)603-7491

表 1 熱風炉の損傷状況
Damage of hot-blast stove refractories

No.	Area	Type of damage
	Dome	Subsidence of dome, vertical cracking and dropout of bricks
	Dome base	Cracking and rupture of bricks with load from the dome
	Combustion chamber	Lighetning-shaped cracking on side and partition wall
	Hot blast outlet mouth	Dropout of mouth bricks because of their complicated structure
	Burner gate	Spalling and cracking with rapid temperature change and load form wall bricks
	Hot blast outlet pipe	Cracking with steel shell movement around the expansion
	Junction of hot blast outlet pipe and hot blast main	Loose and dropout of bricks with thermal expansion of hot blast outlet pipe and hot blast main refractories

3. 高温観察オフライン試験

実炉での炉内観察に先立ち，オフラインで確認テストを行った。図2のような試験炉を作り，炉内温度を1000まで上昇させてCCDカメラにて観察した。炉内にはれんが表面に文字を書いたサンプルを設置し，所定の温度になったところでバーナーを止め，輻射光のみの場合と別光源を点灯した場合の観察状況を比較した。この結果を図3の(a),(b)に示す。輻射光のみではれんが表面の文字は見えないが，別光源を点灯することで文字が見えるようになる。

4. 熱間炉内観察

4.1 ドームの観察

4.1.1 観察位置

図4にドームの既設開口部を示す。頂部及びドーム基部

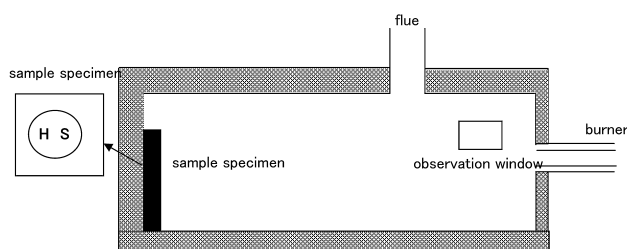


図2 高温観察試験炉
Test furnace for hot observation

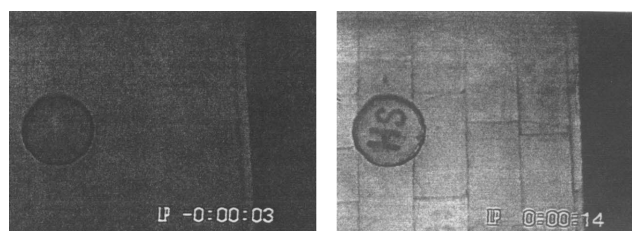


図3 高温観察試験
Hot observation

に測温孔がある。炉内の観察範囲と作業性を考えてドーム基部で実施することとした。観察部位はドーム頂部，基部，チェッカーれんが等であり，これらの部分の観察を行うことで装置設計を行った。

4.1.2 観察装置の概要

ドームの観察には別光源と一体になった観察装置を使用した。図5に観察装置の概要を示す。

4.1.3 ドーム観察結果

図6にドームの観察事例を示す。観察時の炉内温度は

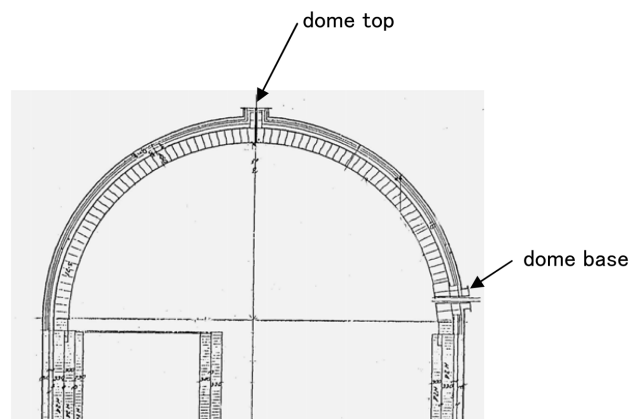


図4 ドーム観察孔
Observation holes on the dome

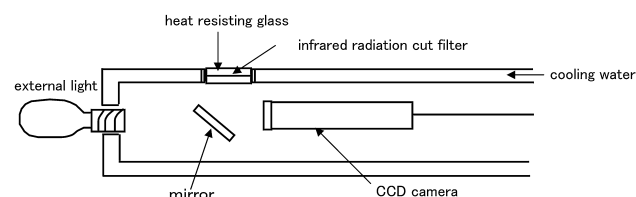


図5 別光源一体型熱間観察装置
Hot observation equipment with external light

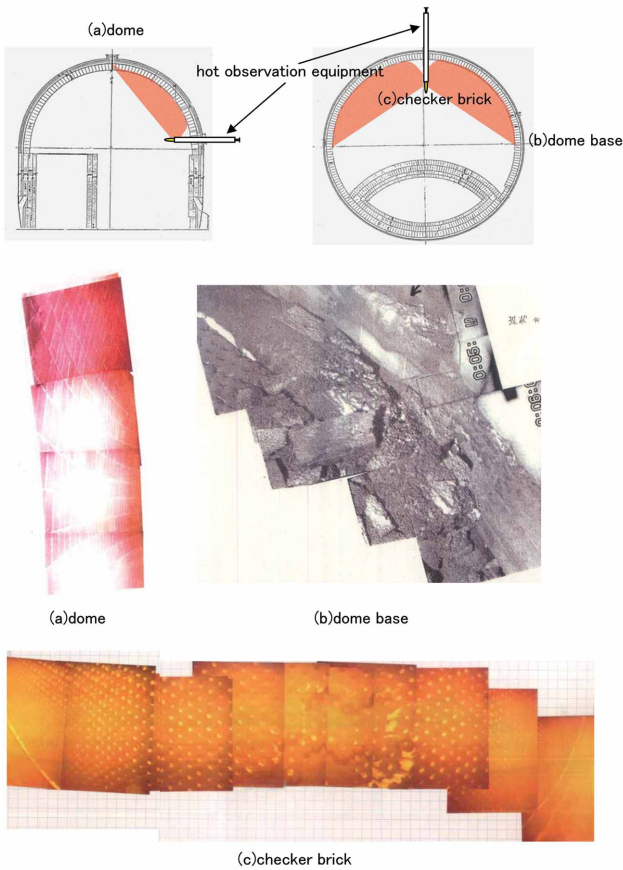


図6 ドーム観察状況

Obtained images from hot observation inside dome

1 000 である。(a) はドームれんがの状況を示す。目地切れ，欠け等は見られず健全である。(b) はドーム基部れんがである。れんがが欠け，側壁上端及びチェッカーれんがの上に落下している。(c) は側壁上端れんが及びチェッカーれんがの上端である。チェッカーれんがの孔が鮮明に見え，上端のダストも確認できる。

4.2 燃焼室の観察

4.2.1 燃焼室の観察部位

燃焼室は下部のマンホールから観察装置を挿入して行った。燃焼室からは側壁本壁，仕切り壁，熱風出口口巻き部，バーナー口等が観察できる。図7に観察方法を示す。

4.2.2 観察装置

燃焼室の観察は対象物が遠くにある事から，ズームレンズ付きのカメラを使用した。別光源は5 kWを2灯挿入して観察した。図8に観察装置の概要を示す。

4.2.3 燃焼室観察結果

図9に燃焼室内の観察状況を示す。(a) は仕切り壁と側壁とのコーナー部である。観察口からの距離は約20mと離れている部位の写真で，れんがの迫り出し及び欠落の状況が観察される。(b) は熱風出口管の口巻きれんがの状況

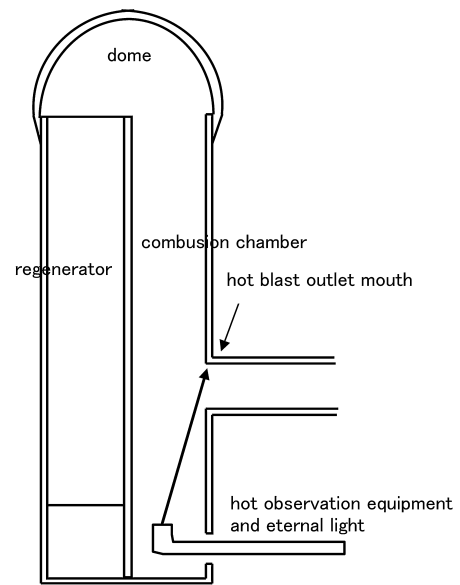


図7 燃焼室の観察方法

Observation inside combustion chamber

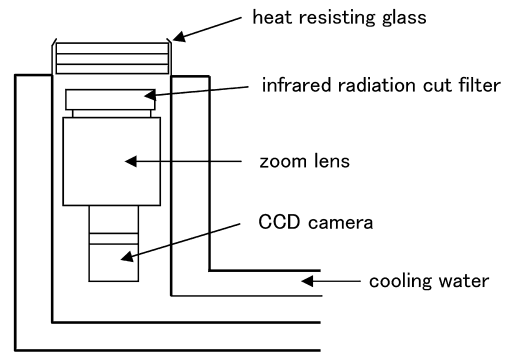
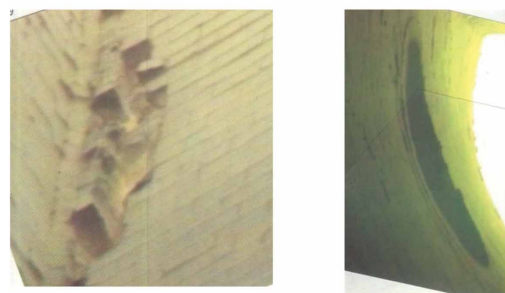
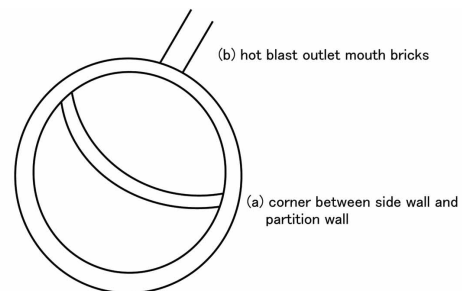


図8 別光源と分離型の熱間観察装置

Hot observation equipment without external light



(a) corner between sidewall and partition wall (b) hot blast outlet mouth bricks

図9 燃焼室内観察状況

Obtained images inside combustion chamber

を示す。損傷は見られない。

5. 熱間観察と補修方法の例

5.1 熱風出口管の観察

熱風出口管は照明一体型の観察装置で炉内観察が可能である。図10に出口管内の観察状況を示す。エキスパンション部分にれんがの損傷が認められる。

5.2 熱間観察と溶射補修の併用

熱風出口管の溶射補修は，熱風本管にマンホールを設置し，長尺のノズルを使用して行う。熱風本管から施工部位までは距離が長く施工体の確認がしづらい上，死角になる部分もある。熱間観察装置を併用しながら溶射補修を行うことで，確実な施工が可能になった。図11に溶射補修の概要，図12に熱間観察装置で見た溶射補修の状態を示す。表2に溶射材の物性値を示す。

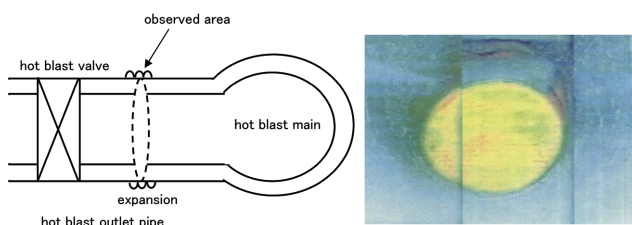


図10 熱風出口管内の観察状況
Observation inside hot blast outlet pipe

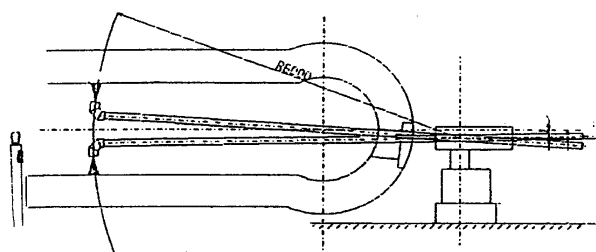


図11 溶射装置概要
Schematic drawing of flame gunning equipment



図12 溶射補修観察状況
Sidewall under repair with flame gunning

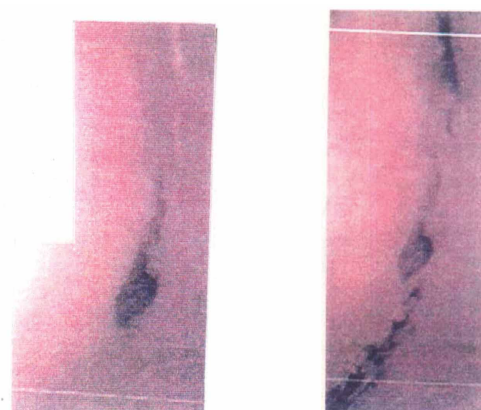
表2 溶射材の物性値
Properties of flame gunning materials

Chemical composition (mass%)	Al ₂ O ₃	62
	SiO ₂	33
Hot bend strength (MPa) at 1 000		25
Bulk density (g/cm ³)		2.6

5.3 熱間観察と圧入補修の併用

熱風出口管の鉄皮温度が上昇する原因は，鉄皮に亀裂が発生しガス道が出来るためと考えられる。このため，圧入材でガス道を塞ぐ方法を取っている。図13は圧入材の挙動を炉内観察装置で撮影したものである。(a)は炉内に圧入材が出始めた状況である。(b)は圧入を一旦中断後再圧入したものであり，再圧入時に別の部分から圧入材が出来ている状態が確認できる。

図14に圧入前後の鉄皮温度の推移を示す。圧入とともに鉄皮温度が低下していることから，所定の部位に圧入できたことを示している。表3に圧入材の物性値を示す。



(a) after first injection (b) after second injection

図13 圧入補修時の炉内状況
mortar injection repair of hot blast outlet pipe refractories

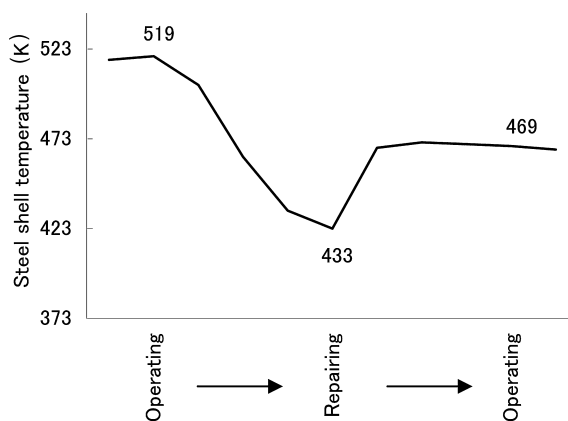


図14 圧入前後の鉄皮温度推移
Temperature of steel shell before and after repair

表3 圧入材の物性値
Properties of injection mortar

Chemical composition (mass%)	Al ₂ O ₃	43
	SiO ₂	50
Bulk density (g/cm ³)		0.49

6. 結 言

熱風炉等大型で密閉型の炉設備について余寿命を推定するために熱間観察技術を確立し，実用化した。

別光源を入れることで観察物が鮮明に写ることがわかった。

上記技術を利用した熱間観察装置を適用して，熱風炉のさまざまな部分の観察が出来るようになった。

熱間観察装置と補修を併用することにより，熱風出口管において確実な補修が可能になった。

本法での診断実績

新日本製鐵(株)名古屋製鐵所

新日本製鐵(株)室蘭製鐵所，大分製鐵所

住友金属(株)小倉製鐵所，和歌山製鐵所，小倉製鐵所

(株)日本製鋼所 呉製鐵所

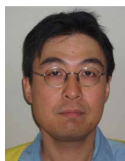
中山製鋼所

謝 辞

本報にて紹介した観察方法の装置化，ハンドリング方法の改善及び本報紹介技術での診断実行にて黒崎播磨(株)名古屋支店の皆様に多大なる御協力を頂きました。感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 杉田清:製鉄・製鋼耐火物 p.167-183(1995)
- 2) 耐火物技術協会:耐火物手帳 97 p.310-315(1997)



山田泰宏 Yasuhiro YAMADA
名古屋製鐵所 製鋼工場 炉材技術グループ
マネジャー
愛知県東海市東海町 5-3 〒476-8686
TEL:(052)603-7491



大坪浩昭 Hiroaki OHTSUBO
名古屋製鐵所 製鋼工場 炉材技術グループ



鈴木敏文 Toshinori SUZUKI
日本プライブリコ(株)名古屋営業所 課長



天野正彦 Masahiko AMANO
名古屋製鐵所 製鋼工場 炉材技術グループ
グループリーダー



筒井直樹 Naoki TSUTSUI
黒崎播磨(株)名古屋支店 担当部長