

熱風炉改修基準及び炉底解体工事の効率化

Repair Standard and Efficient Dismantling Method of Furnace Bottom in Hot Stove

小野 達朗 ONO Tatsuro JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区）設備部 第1製鉄設備室長（課長）
柴田 奈緒 SHIBATA Nao JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区）設備部 設備技術室 主任部員（課長）
西堀 淳 NISHIBORI Jun JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区）設備部 設備技術室

要旨

福山3高炉 No.4 熱風炉の既設解体工事において、従来工法では手作業で煉瓦解体を行っていた燃焼室炉底バーナー部について、空洞部に充填剤を充填することで強度を確保し、重機による煉瓦解体を可能にした。これにより従来工法と比較し大幅に工期を短縮できた。

Abstract:

In dismantling work of No.4 Hot Stove in No.3 Blast Furnace in Fukuyama, instead of relying on manual work, JFE Steel successfully developed a new dismantling method of refractories by using heavy machines, by securing strength with infilled hollow portion of burner in Combustion Chamber. By applying this method, significant shortening work periods compared to conventional method have been achieved.

1. はじめに

高炉に熱風を送る外燃式熱風炉は、鉄皮亀裂の進行により噴破する危険性があるため、実働年数 30 年程度で改修している。近年、福山製鉄所 3 高炉 No.4 熱風炉の改修を行い、既設熱風炉を解体した。解体方法は炉内へ重機を投入し炉内煉瓦を解体する従来の工法を用いた。しかし、この工法では、燃焼室底部にあるバーナー部が解体できず、手作業でのバーナー煉瓦解体が必要となり、工期が長くなる。そのため、工期短縮に向けて、外燃式熱風炉の燃焼室底部の煉瓦解体を短期間で行う工法を実現した。本稿では、工法の検討内容及び工事概要について紹介する。

2. 熱風炉設備

2.1 設備概要

熱風炉設備¹⁾は高炉に吹き込む熱風の温度を制御し、送風を行う設備である。熱風炉には燃焼室と蓄熱室があり、燃焼室底部にあるガスバーナーで燃料ガスを燃焼させて蓄熱室に流し、蓄熱室内のギッター煉瓦に蓄熱する。高炉への送風時は、送風空気を蓄熱室下部から燃焼ガスと反対方向に流すことにより、蓄熱室内ギッター煉瓦の熱と交換して熱風を高炉内に送る。高炉への送風は断続的に行うため、通常高炉 1 基に対して熱風炉を隣接して 3, 4 基建設する。

熱風炉の形式²⁾としては同一鉄皮内に燃焼室と蓄熱室を

内蔵した内燃式熱風炉と、燃焼室と蓄熱室を分離した外燃式熱風炉がある。内燃式熱風炉の構造図を図 1 (a) に、また外燃式熱風炉の構造図を図 1 (b) に示す。

内燃式は構造が簡単であるため、外燃式と比較して安価であるという特徴がある。一方外燃式は、燃焼室を炉外に設けることで、内燃式の欠点である燃焼室と蓄熱室の温度差による仕切り壁の亀裂をなくしている。また、この他に図 2 に示す燃焼室が蓄熱室の上部に設置された炉頂燃焼式の熱風炉もある。この形式は外燃式熱風炉と同程度の熱効率であり、かつ設備規模がコンパクトであるという特徴がある。

2.2 福山 3 高炉 No.4 熱風炉

福山製鉄所 3 高炉の熱風炉単体の要求設備仕様を表 1 に

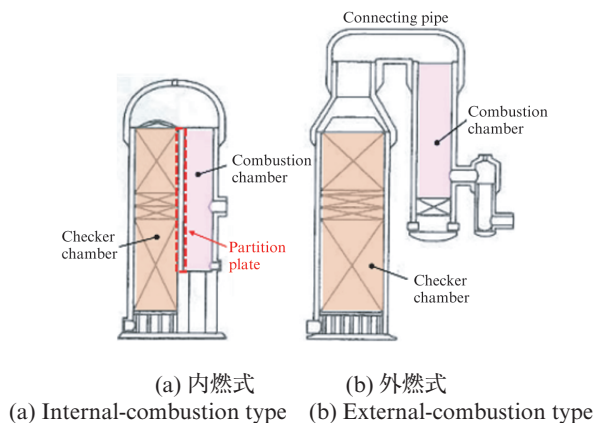


図 1 熱風炉設備概要図

Fig. 1 Schematic diagram of hot stove

示す。なお、No.4 熱風炉は外燃式熱風炉を、No.3 熱風炉は炉頂燃焼式熱風炉を採用している。

3. 熱風炉の問題点及び更新基準による判定

3.1 既設熱風炉の劣化状況

福山製鉄所の熱風炉は高炉3基に対して各4基ずつ、計12基あり、その中でも3高炉熱風炉は、実働年数が約30年となり各部の劣化が進行していた。

劣化の進行が顕著に見られる箇所が鉄皮である。熱風炉鉄皮は経年劣化により溶接部に亀裂が発生していた。鉄皮亀裂は送風時に約420 kPaに達する熱風炉内圧や送風、燃焼の繰り返しによる応力発生により拡大する。そのため対策として亀裂部に当て板補修を行っている。鉄皮亀裂当て板補修の概要を図3に示す。しかし当て板補修箇所でも写真1に見られるような亀裂の再発生が確認されていた。

このような鉄皮亀裂が進行した場合、鉄皮の急速破壊に至る危険性がある。また内部耐火物損傷による鉄皮赤熱や温度上昇頻度の増加により、赤熱漏風や炉の噴破といったトラブルも発生するおそれがある。トラブル回避のためには、定期点検における漏風チェック、亀裂総長さの管理および鉄皮温度の測定が重要である。

3.2 熱風炉改修の定量的基準

熱風炉の劣化は、以下の3つの基準に基づき判定する。

第1の基準は鉄皮損傷状態である。JFE スチールでは過

去の熱風炉噴破事故の経験から、鉄皮亀裂部の当て板補修総長が熱風炉の全溶接長の50%となった場合に改修を行うと定めている。

第2の基準は蓄熱室内のギッター煉瓦の目詰まりである。ギッター煉瓦の概要図を図4に示す。熱風炉のギッター煉瓦の割損屑によりギッター煉瓦の開口部が目詰まりすることで、通過する燃焼ガス量が減少し、送風温度を維持できないという問題が起きる。判断基準は以下のとおりである。高炉に送風する燃焼ガス(Mガス)流量と通気抵抗Kから限界通気抵抗線を定め、能力未達の場合は熱風炉の改修が必要と判断する。ここで蓄熱室通気抵抗Kは以下の式で表される。

$$K = (2g \cdot \Delta P) / (v_g^2 \cdot \rho) \dots\dots\dots (1)$$

K : 通気抵抗係数, g : 重力加速度 (9.8 m/s²)
 ΔP : 補正圧損(ドーム圧-排ガスドラフト圧)(mmH₂O)
 v_g : 蓄熱ガス速度 (m/s)
 ρ : 蓄熱ガス密度 (kg/m³) …定数

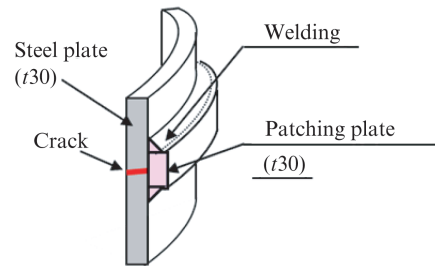


図3 鉄皮亀裂の当て板補修概要

Fig. 3 Patching repair of crack in steel plate

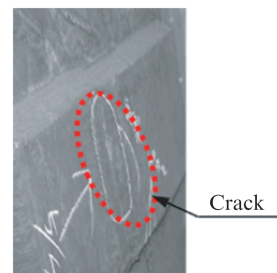


写真1 熱風炉鉄皮当て板補修箇所の再亀裂写真
 Photo 1 Crack of patching part in hot stove

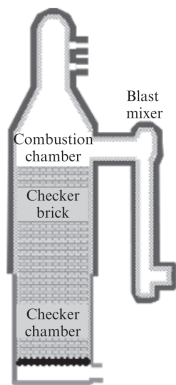


図2 炉頂燃焼式熱風炉概要図

Fig. 2 Schematic diagram of top-combustion hot stove

表1 福山3高炉熱風炉の要求設備仕様

Table 1 Specification of hot stove for No. 3 blast furnace in Fukuyama

※ Ability of single unit	
Blowing flow rate (Nm ³ /min)	6 240
Blowing temperature (°C)	1 180
Flow rate of mix-gas (kNm ³ /hr)	121
NOx (ppm)	≤ 45

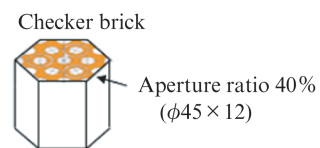


図4 ギッター煉瓦概要図

Fig. 4 Schematic diagram of checker brick

各熱風炉に対して、 ΔP の最大値を燃焼ガス圧力より設定することで熱風炉ごとに必要とするガス量に対する限界通気係数が算出され、限界通気抵抗線が定められる。

第3の基準は熱効率の低下である。ギッター煉瓦の目詰まりにより蓄熱室ガス通過領域が縮小し、熱交換が十分に行われず必要ガス量を増大させることに加え、燃焼バーナーの劣化なども熱効率低下につながる。これらの原因により熱効率の顕著な劣化が見られる場合、コスト増に対する費用対効果を算出し、熱風炉改修時期を判断する。

3.3 福山3高炉 No.4 熱風炉の劣化度判定結果

福山3高炉 No.4 熱風炉の劣化状況を、前項で説明した判定基準で評価した。3高炉熱風炉は燃焼ガス(Mガス)流量、通気抵抗ともに能力達成領域内にあり、第2の基準については問題なしと判断した。

次に熱効率の推移であるが、福山地区の熱風炉の熱効率は2015年10月においても85%から90%程度を維持してお

り、熱効率の顕著な劣化は見られず、第3の基準についても問題なしと判断した。

最後に第1の基準の鉄皮劣化状況であるが、表2に示すように3高炉 No.4 熱風炉の当て板補修長さは約50%に達しており、鉄皮赤熱処置であるモルタル圧入も複数回行われていた。このことからNo.4熱風炉の鉄皮劣化度は大きく、熱風炉改修を要すると判断した。

No.4熱風炉は、炉形式を外燃式から炉頂燃焼式に変更し更新した。更新範囲は、図5に示すように蓄熱室の地上17.0mの範囲の鉄皮以外の全ての部位とした。この更新に際し、既設の外燃式熱風炉の部分解体を行う必要があり、その工法について従来工法を中心に検討を行った。

4. 従来の熱風炉解体工事方法

外燃式熱風炉の解体方法として従来から検討、実施されている工法があり、本稿の福山3高炉 No.4 熱風炉解体工事においても大部分は従来工法で施工可能であった。以下にその工法を紹介する。

4.1 熱風炉ドーム・蓄熱室内耐火物の解体工法

過去には、熱風炉内の耐火物解体を手作業でおこなっていた。しかし、人力による足場組作業、足場上での耐火物解体作業にはかなりの工数、日数を要した。また熱風炉内の耐火物解体作業は、密閉された粉塵環境下における危険を伴う作業であった。そこで重機による耐火物解体作業を検討し、工法として確立した。

はじめに重機を用いた熱風炉上部の燃焼室、蓄熱室ドームと蓄熱室の解体工法を以下に述べる。まず図6に示すように上記ドーム及び連絡管の鉄皮を撤去した後、炉外に設置したデッキより重機で蓄熱室ドームの煉瓦を解体する。次に、解体した煉瓦を蓄熱室ギッター煉瓦の上に積み重ねて通路を形成することで、蓄熱室内へ重機を投入できるように

表2 福山3高炉熱風炉の鉄皮劣化度

Table 2 Degree of deteriorated steel shell in No. 3 blast furnace in Fukuyama

Hot stove	Working years	Crack of steel plate			RED-HOT of steel plate Mortar press fitting (10-15)	
		Weld length (m)	Patching Plate length (m)	Repair ratio (%)		
No.3 BF	1	29	874	338	39	3
	2	28	874	206	24	10
	3	5	573	0	0	0
	4	30	926	452	49	4

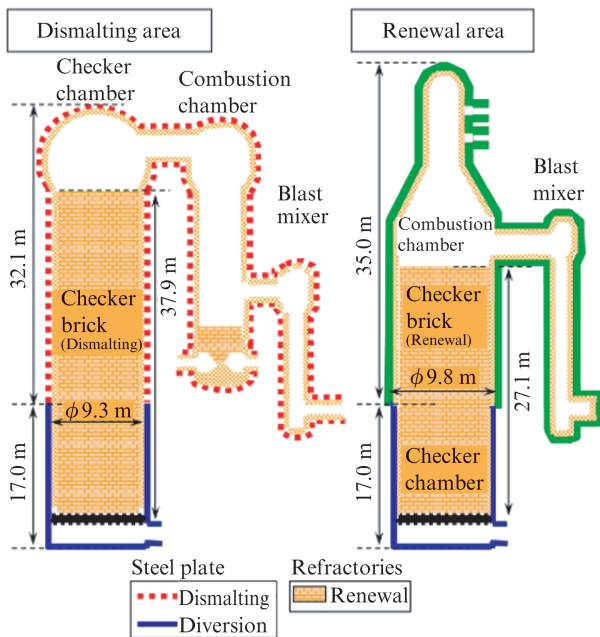


図5 3高炉 No.4 熱風炉 改修工事概要

Fig. 5 Schematic diagram of repair work in No. 4 hot stove of No. 3 blast furnace

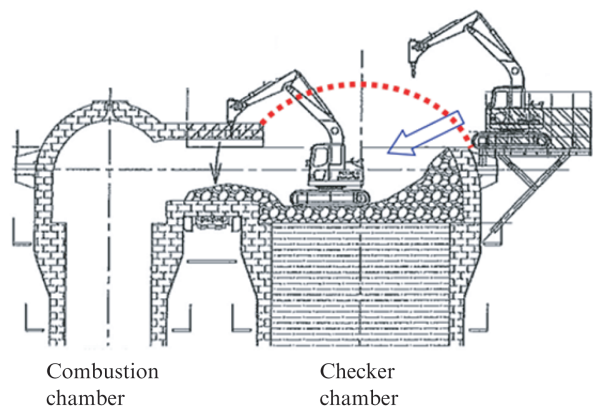


図6 燃焼室・蓄熱室ドーム解体工法

Fig. 6 Dismantling method of dome in checker chamber and combustion chamber

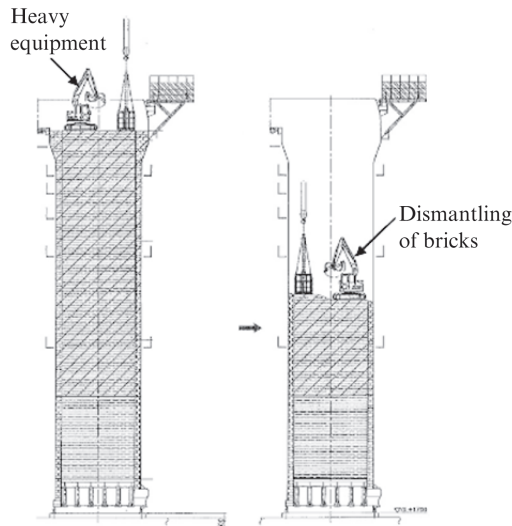


図7 蓄熱室内耐火物解体工法

Fig. 7 Dismantling method of refractories in checker chamber

する。その後燃焼室ドーム解体煉瓦受けを搬入、設置し、連絡管、燃焼室ドームの順に重機で煉瓦を解体する。本稿解体工事では解体した煉瓦を搬出用バッグにより搬出したが、過去の実施例では搬出用のシュートを設けて搬出した例もあった。

蓄熱室直胴部は図7に示すように、重機で炉壁煉瓦、ギッター煉瓦を解体して搬出し、その後ギッター煉瓦部の上端のレベル調整を行うことを繰り返し、連続して蓄熱室内耐火物を解体する。この解体を蓄熱室底部の煉瓦受けデッキまで行う。

4.2 燃焼室の解体工法

燃焼室は蓄熱室と異なり炉内が煉瓦で充填されていないため、重機で炉壁耐火物を解体するためには、重機の足場を設置する必要がある。図8に示すように燃焼室直胴部の鉄皮及び煉瓦それぞれに高さ方向及び周方向に所定間隔でピンを取り付け、重機デッキを設置する。

燃焼室解体は以下の手順で行う。まずドームを解体し最上部の重機デッキ部まで鉄皮を撤去する。次に重機で炉壁煉瓦を解体し、解体後重機を除いて重機デッキ、支持ピンを取り外す。このように鉄皮撤去、炉壁煉瓦解体、重機デッキ取り外しを繰り返すことで燃焼室全体を解体する。

4.3 従来の燃焼室解体工法の課題

本稿で述べる福山3高炉 No.4 熱風炉の解体工事は、蓄熱室と燃焼室直胴部については前項で述べた従来工法で行った。しかしながら、燃焼室底部にあるバーナー部の解体においては、バーナー煉瓦部の上に直接重機を設置した場合、図9に示すように下部が空洞になっていることから、バーナー煉瓦部の煉瓦が崩落する可能性がある。このため、これまで、燃焼室底部の煉瓦解体は手作業で実施していた。

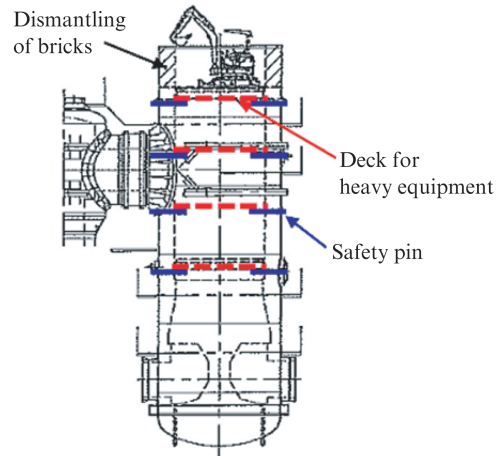


図8 燃焼室解体工法

Fig. 8 Dismantling method of combustion chamber

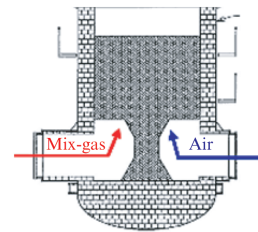


図9 燃焼室底部概要図

Fig. 9 Schematic diagram of bottom in combustion chamber

5. 燃焼室バーナー部の解体工法

5.1 バーナー部解体の工法検討

燃焼室底部バーナー部の煉瓦解体工事を短期間で行うため、下部が空洞になっているバーナー部においても重機作業が可能となるよう、重機足場の確保方法を検討した。まず、重機の仮設足場を燃焼室外周に設置する工法を検討したが、燃焼室全体に仮設足場を形成する必要があるとともに、煉瓦解体につれて仮設足場の高さを変更しなければならず、大規模な足場設置が必要であることがわかった。

この問題を解決するため、図9に示すバーナー部の空洞に充填剤を充填し、バーナー煉瓦部の上に重機を載せられるだけの強度を確保した。そして重機で充填剤とバーナー煉瓦部を一緒に解体することにより、安全かつ短期間で工事を実施できた。

5.2 新工法手順

まず、バーナー部の上方に位置する燃焼室炉壁耐火物を図8に示す従来工法により解体し、その後開口と充填剤注入を行う。

開口工程は以下のとおりである。まず図10に示すようにバーナー煉瓦部の上部に削孔機支持用のフレームを仮設し、削孔機を設置する。そして削孔機でバーナー煉瓦部を上下

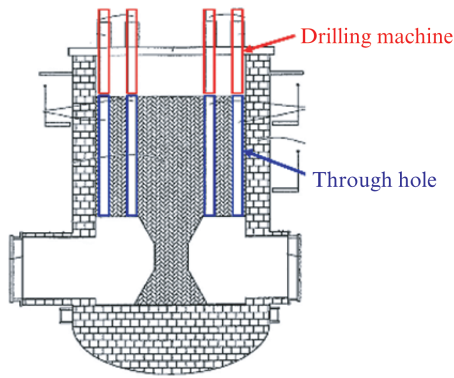


図 10 バーナー部解体新工法（開口工程）

Fig. 10 New dismantling method of burner (Opening process)

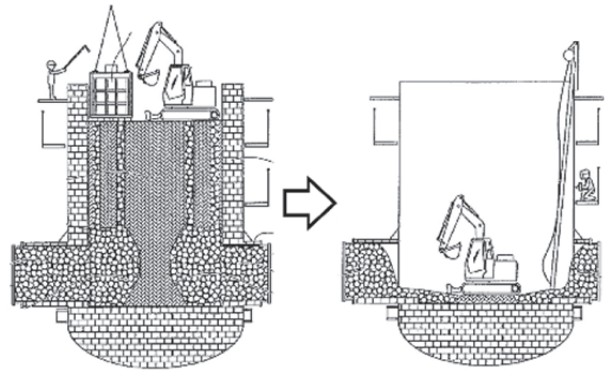


図 12 バーナー部解体新工法（解体工程）

Fig. 12 New dismantling method of burner (Dismantling process)

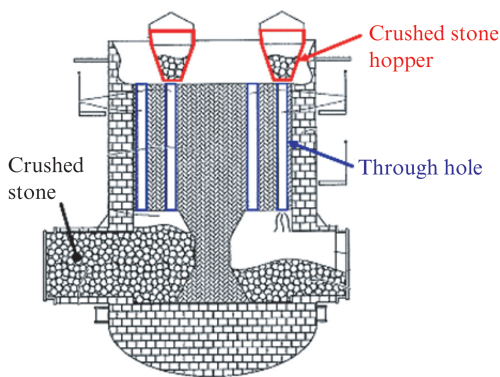


図 11 バーナー部解体新工法（充填剤注入工程）

Fig. 11 New dismantling method of burner (Infilling process)

に貫通する注入口を開口する。このとき貫通孔の開口断面積は注入する充填材の径よりも大きくなるよう設定する。

充填剤注入工程は以下のとおりである。まず空洞部に連通する各配管を取り外し、配管連通路の開口を閉止板で閉止する。次に開閉ホッパーに充填剤を入れ、**図 11** に示すように各貫通孔の上に設置する。これを貫通孔から注入し、バーナー煉瓦部の空洞部が充填剤で完全に埋まるようにする。このとき貫通孔から適宜高圧水を噴射することで投入した充填剤が空洞内に広がるようにする。充填剤についてはコンクリートやモルタルを流し込むことも検討したが、重機での解体を考慮し、平均粒径 20~30 mm 程度の粒状態の砕石とした。

砕石を空洞内に完全に充填した後、**図 12** に示すようにバーナー煉瓦部の上に重機と搬出用バッグを設置し、重機でバーナー煉瓦や炉壁煉瓦を砕石ごと解体する。

5.3 工事結果まとめ

今回報告した福山 3 高炉 No.4 熱風炉の解体工事において、従来工法では手作業で解体していた燃焼室炉体のバーナー部煉瓦を、充填剤を注入して重機足場の強度を確保し重機解体することで、大幅に工期を短縮した。当初の工事工程 15 日に対し、実績は 3 日であった。

6. おわりに

本稿では、熱風炉解体工事において従来手作業で行っていた燃焼室炉底バーナー部の煉瓦解体について、重機で解体する新しい工法の開発事例と適用実績を報告した。工期の短縮、設備費の廉価化を可能とした本稿の新工法を今後の熱風炉改修にも適用していくとともに、製鉄所内でこれから発生する大型設備老朽更新工事においても、従来工法と新工法を駆使し、効率的かつ安全面に十分配慮した劣化更新工事を追及していく所存である。

参考文献

- 1) 鉄鋼技術の進歩 1.4 高炉設備. 鉄と鋼. 1975, vol. 61, no. 5, p. 487-494.
- 2) 鉄鋼便覧第 5 版第 1 巻製鉄・製鋼. 2014.
- 3) 杉田清. 最近の鉄鋼用耐火物の諸問題. 鉄と鋼. 1979, vol. 65, no. 10, p. 1462-1474.



小野 達朗



柴田 奈緒



西堀 淳