

# 新型熱風炉／炉頂燃焼メタリックバーナー式 熱風炉の商品化

## ～低コスト及び省エネルギーの実現～

New type of Hot Stove / commercialization of Top-Combustion  
Hot Stove with Metallic Burners  
～Realization of low cost and energy saving～

**前川 典正** Norimasa MAEKAWA  
製鉄プラント事業部  
製鉄プラントエンジニアリング第一部  
商品技術室 製鉄技術グループ  
マネージャー

**井上 航哉** Kohya INOUE  
製鉄プラント事業部  
製鉄プラントエンジニアリング第一部  
プロジェクト管理室 製鉄技術グループ  
シニアマネージャー

**嶋津 弘志** Hiroshi SHIMAZU  
製鉄プラント事業部  
製鉄プラントエンジニアリング第一部  
シニアマネージャー

**古谷 俊治** Shunji KOYA  
NSプラント設計棟  
製鉄プラントエンジニアリング部  
製鉄プラント第一グループ 高炉チーム  
チーフ

**国重 直樹** Naoki KUNISHIGE  
NSプラント設計棟  
製鉄プラントエンジニアリング部  
製鉄プラント第一グループ 高炉チーム  
チーフ

**大下 伸浩** Nobuhiro OHSHITA  
NSプラント設計棟  
シミュレーションエンジニアリング・ソリューション部 熱流体解析チーム  
チーフ

**金満 秀和\*** Hidekazu KANEMITSU  
製鉄プラント事業部  
製鉄プラントエンジニアリング第一部  
商品技術室 製鉄技術グループ

### 抄 録

熱風炉とは高炉に約1200℃の高温空気を連続的に供給するための設備であり、設備投資額、消費エネルギーコストが大きい設備である。当社はこれまでも社会のニーズに適応した内燃式、外燃式、内燃改善式熱風炉を開発してきた。今回さらに低コスト、省エネルギーに 대응べく「(1) コンパクト化」、 「(2) 長寿命」、 「(3) 高効率燃焼及び蓄熱性向上」、 「(4) 高炉の還元材比低減」、 「(5) 熱風炉の燃料削減」を実現した炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉を開発した。

本稿では、炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉の特徴及び克服した課題と解決策について述べる。

### Abstract

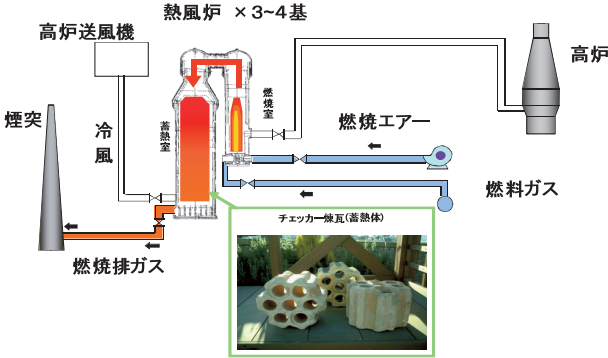
A Hot Stove is a set of facilities to supply hot air around 1,200℃ to a blast furnace continuously, and the investment amount and consumption energy cost are great. Our company has developed types of Hot Stoves, such as the Internal-Combustion type, the External-Combustion type and the Improved Internal-type, responding to the needs of society. Furthermore, we developed the Top-Combustion Hot Stove with Metallic Burners which realized cost reduction and saving energy by “(1) Downsizing”, “(2) Long life”, “(3) High efficient combustibility and heat storage efficiency”, “(4) Reducing agent rate reduction of the blast furnace” and “(5) Fuel reduction of the Hot Stove” in order to meet the needs of low cost and energy saving.

In this report, we describe characteristics and problems of the Top-Combustion Hot Stove with Metallic Burners and their solutions we overcame.

# 1 諸言

熱風炉とは高炉に約1200℃の高温空気を連続的に供給するための設備で「高炉へ送られる空気を予熱する蓄熱式の熱交換器」である。図1に設備概要を示す。

## 燃焼(蓄熱)時



## 送風時

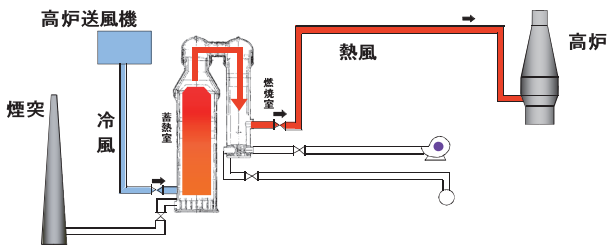


図1 熱風炉設備概要  
Fig. 1 Schema of Hot Stove System

燃焼(蓄熱)時は燃焼室のバーナーでガスを燃焼、発生させた高温の排ガス(約1400℃)で蓄熱室に敷き詰めたチェッカー煉瓦に膨大な熱量を蓄熱する。送風時には大量の空気をチェッカー煉瓦に通すことで煉瓦から熱を奪い約1200℃まで升温させる。

熱風炉は通常高炉1基に対して3～4基併設され、高炉設備の中でも設備投資額も大きく且つ消費エネルギーコストも大きい設備である。

熱風炉形式には内燃式、外燃式、炉頂燃焼式があり、当社熱風炉は円筒構造物内部を仕切壁で燃焼室、蓄熱室分割した構造の内燃式から始まった(図2)。その後高炉の炉容積拡大、高温送風化に伴う熱風炉大型化要求に対し独自の外燃式を開発した。外燃式は仕切壁がなく燃焼室と蓄熱室が別々に分かれた構造となっている。また内燃式においても高蓄熱効率チェッカー煉瓦の開発により大型高炉に適用可能な内燃改善式が生まれた。そして今回低コスト

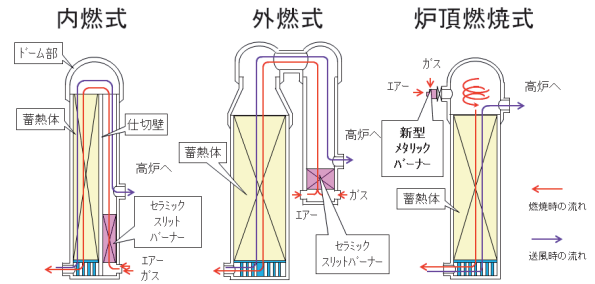


図2 熱風炉形式  
Fig. 2 Type of Hot Stove

ト、省エネニーズに応えるべく炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉を開発、商品化した。

本稿では当社の強みである40年以上を誇る長寿命、高温送風による高炉の還元材比低減、熱風炉排ガスエネルギー回収による燃料削減の長所を兼ね備えた炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉について述べる。

## 2 炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉の特徴と効果

### 2.1 特徴

炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉には以下の特徴がある。(図3)

- ・ 新型メタリックバーナーを炉頂部に設置
- ・ バーナー開口部付近で燃料ガスはほぼ完全に燃焼
- ・ バーナー偏芯配置により燃焼排ガスの炉内旋回流を形成しチェッカー煉瓦を均一に加熱
- ・ 遮断弁「閉」により熱風炉を冷却することなくバーナーのメンテナンスが可能
- ・ 長寿命実績のある耐火物構造を採用

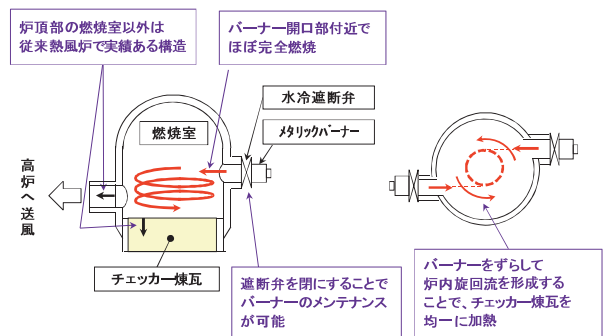


図3 炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉の特徴  
Fig. 3 Characteristics of Top-Combustion Hot Stove with Metallic Burners

## 2.2 効果

炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉は「(1) コンパクト化」, 「(2) 長寿命」, 「(3) 高効率燃焼及び蓄熱性向上」, 「(4) 高炉の還元材比低減」, 「(5) 熱風炉の燃料削減」により低コスト化, 省エネルギー化を実現する。以下にその効果を述べる。

### (1) コンパクト化

図2に示すように, 当社外燃式と比較して燃焼室が不要となり建設費が約25%削減可能となる。また当社内燃式と比較して燃焼室が炉頂部にある分直胴部は蓄熱室のみとなり, 熱風炉径が縮小できるため建設費が約10%削減可能となる。さらに当社独自の高蓄熱効率チェッカー煉瓦使用によって蓄熱室がコンパクトになり, 建設費が従来比で約25%削減可能となる。

### (2) 長寿命

当社独自の耐火物設計技術及びドーム部の応力腐食割れ(SCC)発生を防止する耐SCC鋼材の使用によって40年以上の長寿命が達成可能となる。

### (3) 高効率燃焼及び蓄熱性向上

新型メタリックバーナー採用により燃焼排ガス中の未燃CO濃度が内燃式, 外燃式と比較して約1/10に低下し, 5,000m<sup>3</sup>高炉の場合, 熱風炉でのエネルギー消費量が年間1~2%削減可能となる。

また内燃式, 外燃式では構造上チェッカー煉瓦を通る燃焼ガスが偏流となるが, 炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉は炉内旋回流を発生させることで, チェッカー煉瓦断面で燃焼排ガス流れが均一となり蓄熱性が向上する。

### (4) 高炉の還元材比低減

燃焼排ガス温度の律則であるチェッカー煉瓦受け金物に当社独自の高温耐熱性材料を使用することで, 熱風炉ドーム温度は変えずに高炉の送風温度上昇が可能となり, 還元材比の低減が可能となる。

### (5) 熱風炉の燃料削減

当社の高効率熱媒式排熱回収設備を設置することで, 簡単・安価に燃焼排ガスから熱を回収し, 燃料ガス, 燃焼エアーを予熱できるため燃料ガスの使用量を低減することが可能となる(図4)。その結果5,000m<sup>3</sup>高炉の場合, 熱風炉でのエネルギー消費量が年間約12%削減可能となる。また熱風炉では規定の燃焼温度を達成するために通常高カロリーガスを

高炉ガスに添加しているが, 熱媒予熱バーナー設置によってさらに燃料ガス, 燃焼エアーを高温にすることで, 高炉ガスのカロリーだけでも規定燃焼温度が達成でき高カロリーガス削減が可能となる。

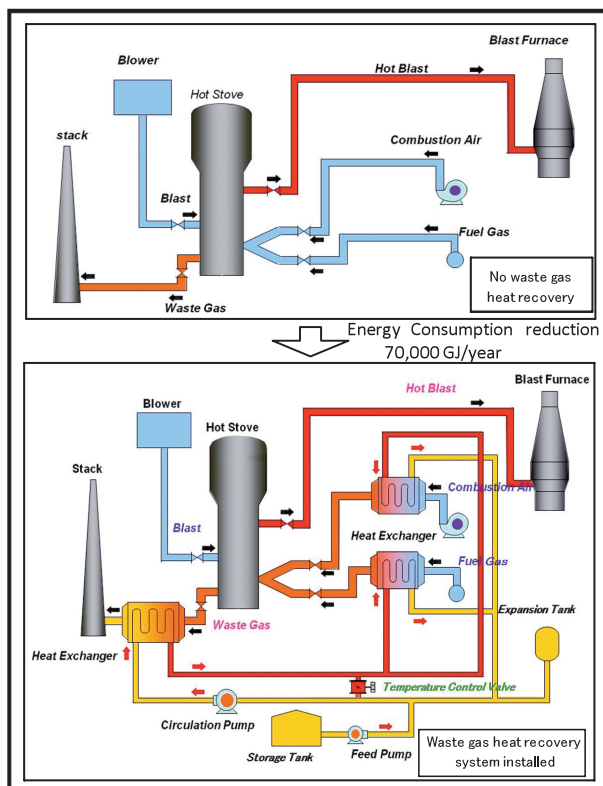


図4 排熱回収設備概要  
Fig. 4 Scheme of exhaust heat recovery system

## 3 克服した課題と解決策

### 3.1 克服した技術課題

炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉を開発する上で, バーナーに3つの課題があった。

1つ目の課題は「バーナーダクト内耐火物の燃焼及び送風時の温度差低減」である。過去類似の炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉において, バーナーダクト内耐火物の燃焼及び送風時の温度差が850℃の為に耐火物の損傷が起きた経緯があった。

2つ目の課題は「バーナー開口部での安定燃焼及び完全燃焼」である。低カロリーの高炉ガスを大量に燃焼させる熱風炉用メタリックバーナーには失火・振動が発生する問題, 燃料ガス, 燃焼空気の混合不足による不完全燃焼という問題があった。

3つ目の課題は「燃焼排ガスのチェッカー煉瓦への均一流れ」である。従来のバーナーを偏芯配置す

るだけでは燃焼排ガスの炉内旋回流の形成及びチェッカー煉瓦への均一流入が不十分だという解析結果が得られた。

これらの課題を解決するためにバーナー及びバーナーダクト構造の開発に着手した。

### 3.2 技術解決策と効果

まず文献調査、有識者会議、数値解析により前述した問題の原因究明及び解決策を見出した。その結果を実証すべく高炉の実ガスを用いた実機バーナーを建設し、燃焼実験を行った(図5)。

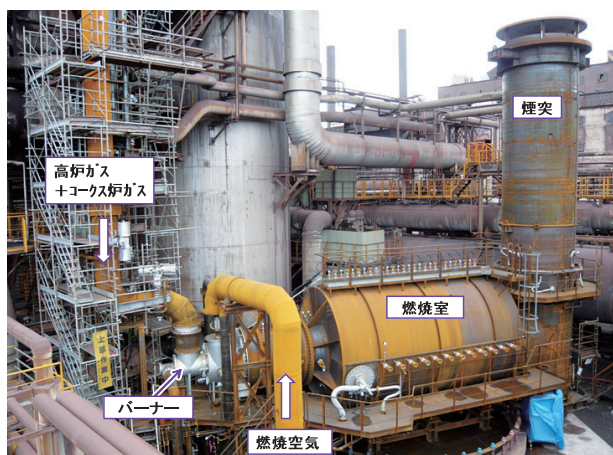


図5 実機バーナー(写真)  
Fig. 5 Experimental burner (Photo)

以下に3つの課題の技術解決策及び効果を述べる。

#### 3.2.1 「バーナーダクト内耐火物の燃焼及び送風時の温度差低減」

バーナーから吐出される燃料ガスと燃焼エアはバーナーダクト内で混合、燃焼する。したがって従来のバーナーでは燃焼前の低温の混合ガスが通過することでバーナーダクト内耐火物は冷却される。一方送風時は蓄熱室を通過して上昇する高温空気がバーナーダクト内に充満するためバーナーダクト内耐火物は加熱される。すなわちバーナーダクト内耐火物が冷却と加熱を繰り返し、耐火物の損傷を引き起こす原因となる。

これに対して燃焼時バーナーダクト内が冷却されない方法を考案した。図6のようにバーナーの中心管路に旋回羽根を設け、中心旋回流で発生する負圧によりバーナーダクト内に炎を取り込んだ。その輻

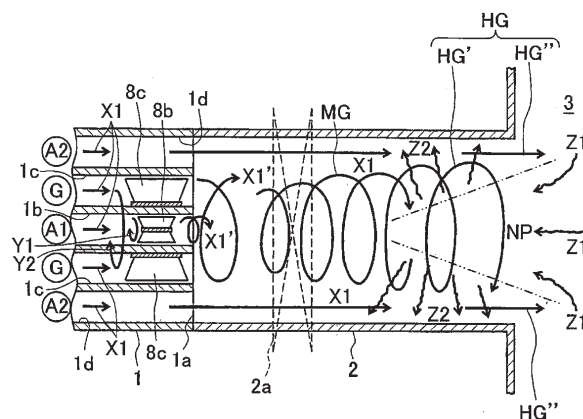


図6 バーナー構造1(旋回羽根あり)  
Fig. 6 Design 1 of burner (including swirl vane)

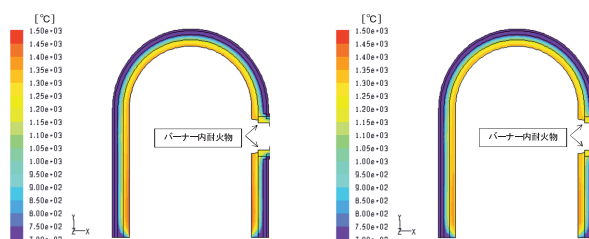


図7 炉内耐火物の温度分布 燃焼時(左)、送風時(右)  
Fig. 7 Temperature distribution of refractory inside of furnace in combusting (left) and blasting (right)

射によりバーナーダクト内耐火物の冷却を防止することが可能となった。

図7に炉内耐火物の燃焼及び送風時温度分布の解析結果を示す。バーナーダクト内における耐火物の最大温度差が、当社操業実績の範囲内まで低減している。燃焼実験からも同等の結果が得られたことにより、耐火物の損傷の問題は解決した。

#### 3.2.2 「バーナー開口部での安定燃焼及び完全燃焼」

失火・振動が発生せず、安定燃焼する為には保炎部が必要である。保炎部確保の為、図8のようにバーナーダクト途中からバーナー出口に亘って、口径拡大部を設けた。口径拡大部に混合ガス及び燃焼ガスの渦流を生じ、燃焼室の高温雰囲気巻きこむことで、保炎部として安定した着火点位置が形成される。

また完全燃焼には、バーナーダクト内での燃料ガスと燃焼エアの十分な混合が必要不可欠である。混合性向上のために、図6のようにバーナーを3孔式とし、内側から燃焼エア、燃料ガス、燃焼エアの3重管構造とした。さらに最外管路以外の管

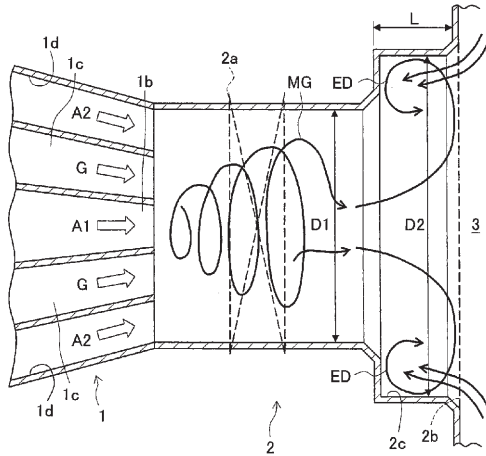


図8 バーナー構造2 (保炎部あり)  
Fig. 8 Design2 of burner (including flame holding)

路に旋回羽根を設け、旋回流により燃料ガス、燃焼エアの混合性を向上した。

図9に、従来バーナーと新型バーナーにおけるバーナー燃焼中の炉内未燃CO濃度分布の解析結果を示す。

従来バーナーでは、炉頂部でCO濃度がかかなり高くなっているが、新型バーナーでは炉内未燃CO濃度が約10ppmまで低減しており、ほぼ完全燃焼している事が分かる。内燃式、外燃式と比較しても未燃CO濃度が約1/10となっており燃焼効率が高い。燃焼実験からも同等の結果が得られた。さらに実験中一度も失火及び振動は発生せず、安定燃焼が確認された。

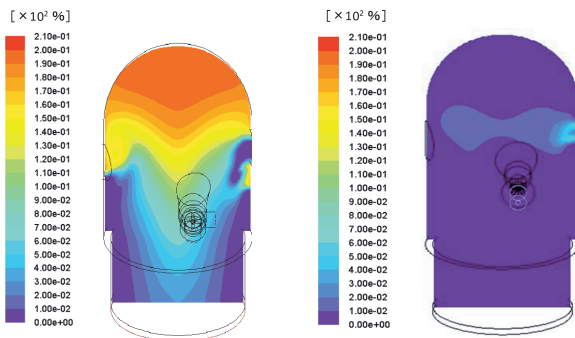


図9 炉内未燃CO濃度分布 従来バーナー(左), 新型バーナー(右)  
Fig. 9 Concentration distribution of unburned CO inside of furnace in existing burner (left) and new burner (right)

### 3.2.3 「燃焼排ガスのチェッカー煉瓦への均一流れ」

燃焼排ガスがチェッカー煉瓦へ均一に流れるためには、燃焼室内に燃焼排ガスの炉内旋回流を形成す

る必要がある。そのためにバーナーを燃焼室中心に向けるのではなく、図3のように解析及び実験で得られた距離だけバーナーを中心からずらして配置した。さらに、炉内旋回流を形成するためには、バーナー開口部から排出される燃焼排ガスの直進成分が必要であるため、図6のように最外管路を直進流が流れるバーナー構造とした。

図10に炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉のチェッカー煉瓦断面でのガス流速分布の解析結果を示す。

円周均一に燃焼ガスが流入し、速度差は約1 m/sまで低減している。参考として図11に内燃式の場合のガス流速分布を示す。

内燃式では、仕切壁があることによりチェッカー煉瓦を通る燃焼ガスが偏流となり、速度差が約4 m/sである。炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風

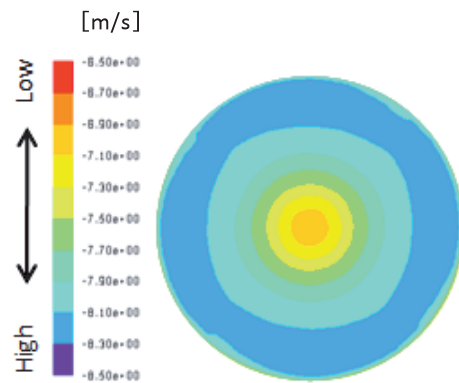


図10 チェッカー煉瓦断面でのガス流速分布 (炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉)  
Fig. 10 Gas flow velocity distribution in section of checker bricks (Top-Combustion Hot Stove with Metallic Burners)

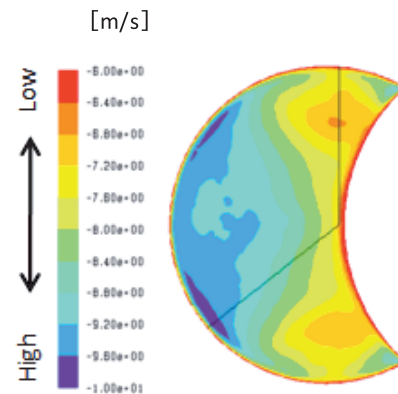


図11 チェッカー煉瓦断面でのガス流速分布 (内燃式)  
Fig. 11 Gas flow velocity distribution in section of checker bricks (Internal-Combustion Hot Stove)

炉は速度差が内燃式と比較して約 1 / 4 となっており、チェッカー煉瓦断面全体に均一に燃焼排ガスが流入しているため蓄熱性が高い。

### 3.3 特許取得

- ・バーナーダクト内耐火物の燃焼及び送風時の最大温度差を当社実績範囲まで低減
- ・未燃 CO 濃度を約10ppm まで低減
- ・チェッカー煉瓦断面流速差を 1 m/s まで低減

を達成した新型バーナーの技術に関して、2011年及び2012年に特許を取得している。

## 4 結言

以上、炉頂燃焼式メタリックバーナー式熱風炉について、新型バーナーの開発を中心に述べた。

今後、「(1)コンパクト化」, 「(2)長寿命」, 「(3)高効率燃焼及び蓄熱性向上」, 「(4)高炉の還元材比低減」, 「(5)熱風炉の燃料削減」による低コスト、省エネルギー化を実現した炉頂燃焼メタリックバーナー式熱風炉を国内外へ普及させていくとともに、社会のニーズに応えるべく更なる先端を目指し技術開発に取り組んでいく。