

# 環境調和型蓄熱式バーナの実用化と将来展望

## Eco-friendly Regenerative Burner Heating System Technology Application and Its Future View

福嶋 信一郎	鉄鋼技術センター 環境・エネルギー部 主席	Shinichiro Fukushima
鈴川 豊	鉄鋼技術センター 環境・エネルギー部 統括スタッフ	Yutaka Suzukawa
秋山 俊一	京浜製鉄所 環境・エネルギー部 室長	Toshikazu Akiyama
加藤 有三	福山製鉄所 環境・エネルギー部 グループマネージャー	Yuzo Kato
藤林 晃夫	総合材料技術研究所 圧延プロセス研究部 主査	Akio Fujibayashi
多田 健	日本ファーンレス工業(株) 取締役	Takeshi Tada

地球温暖化(CO<sub>2</sub>)問題と新たな環境問題への具体的な対策が求められている中で、省エネルギーと低NO<sub>x</sub>を達成できる革新的技術として環境調和型(セラミックハニカム式)蓄熱式バーナが注目されている。当社は日本ファーンレス工業(株)と共同で開発に取り組み、すでに当社だけでも11基の工業炉に適用し、平均30%以上の省エネ、50%以上の低NO<sub>x</sub>効果など目標以上の効果を上げている。今後は国内外にて地球規模での温暖化、酸性雨(低NO<sub>x</sub>)対策の切り札として期待されている。

*The environmental harmonized, cerami*



一方、従来の金属管式熱交換器では予熱空気温度が 900K 程度である。蓄熱式バーナによる排ガス顕熱回収率は(燃料種により異なるが)70~90%であり、金属管式熱交換器では40~50%である。排ガス顕熱を回収して予熱空気の温度を高めることで省エネルギーが実現できるのである。

### 2.3 超低 NOx 燃焼 (高温空気燃焼の発見)

高温の予熱空気を用いた工業用燃焼器の開発では、空気中の窒素が酸化して発生する NOx (Thermal NOx) の抑制が重要とされてきた。Thermal NOx の生成についてはゼルドビッチらの研究があり、その生成は、温度、酸素濃度、滞留時間の関数であることが知られている。したがって、低 NOx 燃焼の実現には、(1) 火炎最高温度の抑制、(2) 過剰酸素供給防止、が必須と考えられる。それを具現化する方法として、本研究では、NFK が実用化した燃料 2 段燃焼バーナを Fig.3 に示すように高温空気燃焼用に改良して用いることにした。

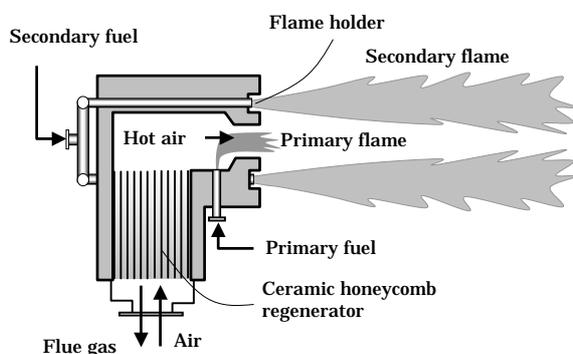


Fig.3 Schematic diagram of the newly developed regenerative burner

Fig.4 に新たに開発したバーナを用い、製鉄所副生ガス燃焼時の燃焼火炎の温度分布、酸素濃度分布、NOx 濃度分布を実験炉で測定した例を、(a) 一次燃料比率を 20%とした場合、(b) 一次燃料比率を 5%とした場合について示す。なお燃焼負荷は 1.2MW で実用バーナ相当容量である。一次燃料比率を 20%とした場合は、火炎にヒートスポットが発生し、かつヒートスポット部分の酸素濃度が高いため、ゼルドビッチ反応により Thermal NOx が激増している。

一方、一次燃料比率を 5%とした場合は、温度分布にヒートスポットがなく、かつ酸素濃度も急速に低下している。この場合の生 NOx 濃度は 80ppm (11%O<sub>2</sub> 換算値 40ppm) 以下と低い。これは、二次燃料と高温の空気が炉内燃焼排ガスで希釈されながら拡散燃焼したと考えられる。このように、高温の予熱空気を用いた燃焼で Thermal NOx の発生を抑制するには、燃料と燃焼空気との適切な拡散混合制御をすれば良く、燃料・空気ノズル位置、噴出速度、一次・二次燃料比率など、バーナの最適設計が必要である。

その後行われた国家プロジェクト「高性能工業炉の開発」において、本技術がその中核技術として採用され、大学を始

め多くの研究者により検証された。特に引用 Fig.5 に示す長谷川らの小型実験結果がその本質を示すデータとして引用されるようになった。この図により、高温の予熱空気を用い低酸素濃度で燃焼すれば低 NOx 燃焼が実現することが学会にも認められ、新しい燃焼の名称も「高温空気燃焼」が使用されるようになったが、その本質は Fig.4 に示した結果に他ならない。



Fig.5 Combustion map by Hasegawa et al<sup>6)</sup>

### 2.4 多種燃料への対応

製鉄所副生ガスや天然ガス燃焼での「高温空気燃焼」は確立した技術である。本技術は油燃焼にも容易に適用できる。Fig.6, Fig.7 は、燃料種を変えて燃焼実験を行い燃焼火炎からの熱輻射分布、排ガス NOx などを比較したものである。燃料種によらず低 NOx 燃焼を実現している。熱輻射分布については差があり、輝炎を形成する油燃焼の方が熱輻射が大きく加熱効率が高くなる。A 重油燃焼においても、切り替え時の燃料ノズルパージを適切に行うことで、煤を発生させることなく高温空気燃焼を実現できた。



3.3.2 従来型バーナを蓄熱式バーナに交換して  
省エネルギーを狙う場合

当社福山製鉄所厚板工場では連続式加熱炉の省エネルギーを狙い、加熱炉燃料の約 50%を消費する加熱帯の従来型バーナを蓄熱式バーナに交換する改造を実施した。この改造では、従来型バーナを撤去し、同じ場所に蓄熱式バーナを組み込む改造であったが、ハニカム蓄熱体を内蔵する蓄熱式バーナはコンパクトであるため、バーナピッチを変更することなく組み込みができた。なお、この改造では、加熱帯の従来バーナを撤去したためレキュペレーター能力を縮小改造する必要があった。制御系については、既設制御系を流用し、蓄熱式バーナ切り替え制御のみを追加した。これにより加熱炉燃料原単位が 9%改善された。さらに、「環境調和型蓄熱式バーナ」の採用により、NOx 発生濃度を 40%以上低減することができた。

3.4 まとめ

環境調和型蓄熱式バーナは、必要加熱容量に応じてバーナ数を増減すれば、あらゆる加熱設備に対応できる。

当社では、これまでに 11 の加熱設備に「環境調和型蓄熱式バーナ加熱システム」を適用した。それらによる省エネルギー効果、NOx 削減効果をまとめて Table 1 に示す。省エネルギー率は平均 32%で、省エネルギー量は 1212 TJ/y にも達する。また、NOx 発生量も平均 54%の大幅削減を実現した。

このような成果が評価され、「環境調和型蓄熱式バーナ加熱システム」は 1998 年度、1999 年度の 2 年連続で「省エネルギー優秀事例通商産業大臣賞」、1999 年度「大河内記念賞」、2000 年度「全国発明表彰」を受賞した。

4. 今後の展望

4.1 工業炉への効果と他分野への応用

1992 年の販売開始以来、環境調和型蓄熱式バーナは NFK より主として工業炉分野に拡販され、現在まで 263 件 1532 ペア販売されている。その客先は鉄鋼分野が約 50%、自動車製

造、非鉄分野が 40%、セラミックス、その他が 10%となっている。またすでに紹介したように 1993 年から 2000 年にかけて取り組まれたナショプロ高性能工業炉などの技術開発プロジェクトにて環境調和型蓄熱式バーナシステムを用いた高温空気燃焼技術による各工業炉への高性能化の追求とその現象解明および加熱炉、熱処理炉、溶解炉における最適設計が取り組まれ、省エネルギー（30%）、大幅な低 NOx 化、低騒音化およびコンパクト化（20%）の可能性が理論的にも解明された。引き続き実操業炉での実証試験を種々の工業炉形式にて普及拡大の意味も兼ねて行う FT 事業（フィールドテスト事業）が企画され、1998 年～2000 年の 3 年間で 167 基の試験を開始している（おのおの 4 年間試験を継続しテストデータを積み上げつつある）。なおこれら 167 基の提案時予測効果は石油換算で 16 万 kl/y の削減が見込まれている。

このように卓越した技術を他の燃焼機器へも活用すべきとの意見が高まり、1999 年から 5 年計画でナショプロ高温空気燃焼制御技術開発プロジェクト（HICOT）がスタートしている。研究開発対象としては(1) 微粉炭ボイラ、(2) 廃棄物燃焼炉、(3) 高温化学反応炉が選ばれた。これらに高温空気燃焼技術をそのまま適用することはできないため、応用するに当たっての固有の問題点の解決に取り組んでいる。この中で当社は(2) の廃棄物燃焼炉の適用に取り組み、2002 年 3 月には高温空気を最適に添加することで、従来空気比 1.7 レベルから 1.2～1.3 レベルに下げた低空気燃焼と排ガス無害化が同時に達成され、省エネルギー 30%以上、NOx 低減 30%以上を達成している<sup>7)</sup>。

高温空気燃焼の活用はこれらに留まらない。すなわち高温空気を高温流体に、燃焼を反応に置き換えて、さらなる活用フィールドを広げる試験も行われている<sup>8)</sup>。この反応器に高温流体を供給するハニカム蓄熱体を利用した高温流体発生装置では、熱効率 87%、速度 100m/s で温度 1579K の高温流体が得られている。

Table 1 List of regenerative burner applications in NKK

Name	Year	Application	Burner units	Fuel cut		NOx cut %
				%	TJ/y	
Fukuyama 1HOT No.3 Continuous Slab Reheating Furnace						
Keihin Electric Furnace Ladle Heater						
Keihin Seamless Pipe Continuous Reheating Furnace						
Fukuyama Plate Mill No.1 Batch-type Reheating Furnace						
Fukuyama No.3 CAL-RT						

4.2 国内対策から海外展開へ  
2001年に行われた