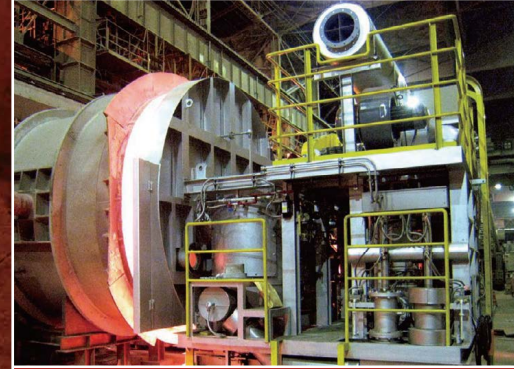
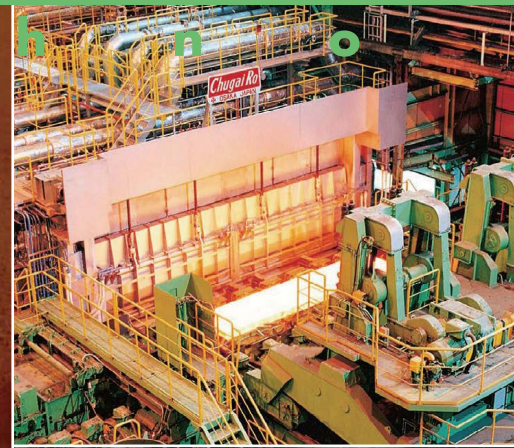


省エネルギーと 環境負荷低減に貢献する 燃焼バーナー



加熱炉(右上)や取鍋の予熱(右下)などに使用されている燃焼バーナー(左)(図1)

画像提供: 中外炉工業(株)

環境負荷の低減が世界的な課題になる中、多くのエネルギーを消費している産業分野での取り組みが重要になっている。特に消費エネルギーが大きな工業炉の省エネルギーや低NO_x化などは、持続可能な社会の実現に大きく貢献できる。加熱、溶解、熱処理など、製鉄とも深く関わりのある燃焼バーナーの環境負荷低減技術について、リジェネバーナーと酸素バーナーを中心に紹介する。

省エネと低NO_xを両立させた 高性能工業炉

平成30年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2019)によると、日本の最終エネルギー消費のうち、企業・事業所などによる消費が占める割合は62.0%である。日本工業炉協

会の推計では、産業用に消費されるエネルギーのうち、約18%が工業炉で消費されているという(2010年のデータを元にした推計)。

従来、工業炉のエネルギー有効利用率は35%と低く、燃焼排ガスとともに空气中に放出される65%のエネルギーの有効活用が課題であった。

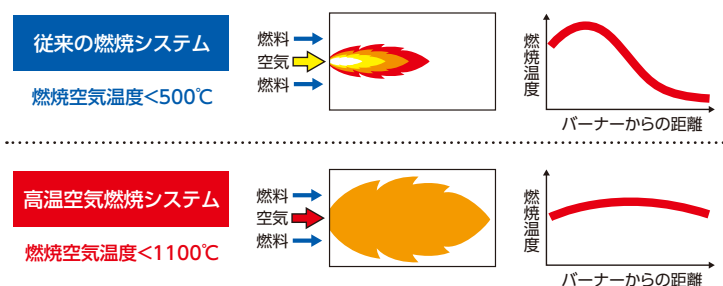
常識を覆した「高温空気燃焼」

1990年に発見された高温空気燃焼は、燃焼用空気に燃料を高速で噴射することで、NO_xの発生量を抑える燃焼方法である。

高温の燃焼で発生する「サーマルNO_x」はバーナーの火炎が高温であるほど増加する。これは火炎とその周辺部のみが高温になる「集中型火炎」であることに原因があった。しかし、燃焼用空気を加熱して炉内に高速で燃料を吹き込むと、燃焼領域が大きくなる「拡散型火炎」を生じる。これにより局所的な高温領域がなくなり、大幅なNO_x低減が実現できた。

■高温空気燃焼の概念図(図2)

従来の燃焼方式では、バーナーから生じる火炎とその周辺の温度が局所的に高くなり、炉内温度に不均一が生じていた。これに対し、高温空気燃焼では、燃焼領域が広く、局所的な高温領域が生じないため、高温により発生するNO_xを抑制することができる。



※省エネルギーセンターの資料などを元に作成

NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)では、省エネルギー化と環境負荷低減を実現する「高性能工業炉」の開発に取り組み、1993～1999年度に「高性能工業炉の開発」プロジェクトを実施した。さまざまな開発テーマがあった中、1996年からは、蓄熱体を搭載したバーナーであるリジェネレーティブバーナー(以下、リジェネバーナー)と、リジェネバーナーを使用した工業炉の開発に研究を集約し、開発が行われた。

1998～2000年度には「高性能工業炉導入フィールドテスト」が実施され、開発された高性能工業炉が、従来方式炉と比較して30%以上の省エネ効果とCO₂削減効果、50%以上のNO_x低減効果があることが実証された。

その結果、2011年までに約2000基の工業炉が高性能工業炉に改造または更新され、1万本以上のリジェネバーナーが導入されたと推測される。

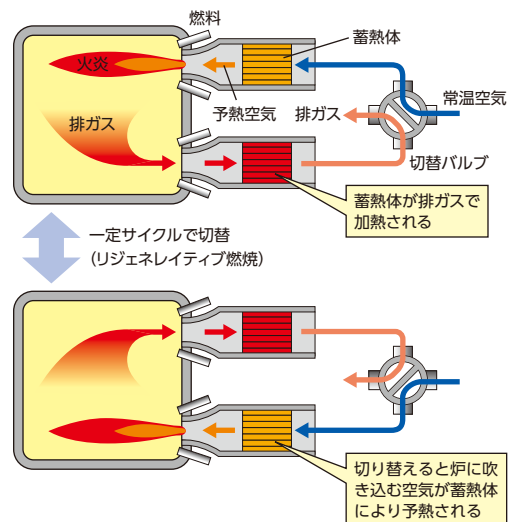
大幅な省エネルギーを実現する リジェネバーナー

工業炉の用途や対象とする温度は多種多様である。用途では、溶解、精錬、各種処理、熱間加工、焼結、焼成、乾燥、反応用加熱、焼却脱臭などが挙げられる。また、温度範囲も、乾燥などを目的とした200℃前後から、黒鉛化に必要な3000℃以上の高温まで幅広い。現在、日本には約4万基の工業炉が設置されているといわれている。

NEDOのプロジェクトで開発された高性能工業炉(リジェネバーナーシステム)は、圧延加熱炉、鍛造炉、熱処理炉、溶解炉、焼成炉、脱臭炉などの比較的高温の炉に採用され、普及してきている。

■リジェネバーナーの仕組み(図3)

一方のバーナーが燃焼している際に、点火していない他方のバーナーが炉内の排ガスを吸い込み、蓄熱体を加熱する。一定時間で燃焼バーナーが切り替わり(交番燃焼と呼ぶ)、加熱された蓄熱体で燃焼用空気を予熱しながら燃焼が行われる。



※NEDOのウェブサイトの図を元に作成

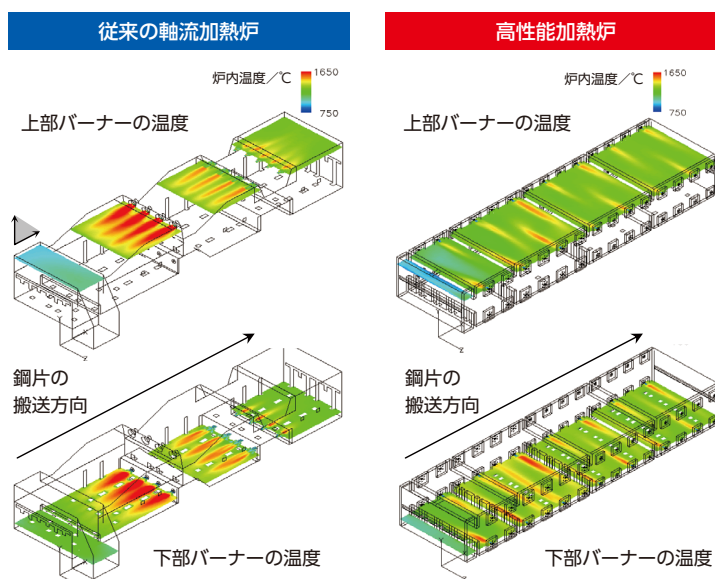
リジェネバーナーと同様に、炉の排気を燃焼用空気の予熱に利用する方法は100年以上前から使用されてきており、高炉の熱風炉、ガラス溶解炉などで使用されてきた。リジェネバーナーは1980年代に英国で開発され、日本にも導入されたが、NO_xの排出量が多く、広く普及することはなかった。これは燃焼用空気の温度を上げるとNO_x生成量が増加するためで、燃焼学では「常識」とされていた。これを覆したのが「高温空気燃焼」の発見であった(図2)。

バーナーの進化が 炉の形状を変えた

鋼片などを加熱する連続炉では、従来、長手方向にバーナーが設置された軸流型加熱炉であった。リジェネバーナーを使用した高性能加熱炉では、バーナーを炉の側面に取り付けることで、炉内環境の均一化を実現している。また、炉の構造がシンプルになり、炉長も短縮できるなど、加熱炉のコンパクト化にも貢献している。

■炉中のバーナーの配置と温度分布(図4)

従来加熱炉ではバーナー近傍の温度が高く、炉長方向の温度偏差も大きい。一方、高性能加熱炉では炉温が平準化されている。



画像提供: 中外炉工業(株)

高温空気燃焼の発見がNEDOの高性能工業炉開発のきっかけの一つになったが、これを利用したリジェネバーナーは2つのバーナーを組み合わせた構造になっている(図3)。

2つのリジェネバーナーにはそれぞれ蓄熱体が内蔵されている。鉄鋼業などで使用されるリジェネバーナーの蓄熱体には直径20mmほどのアルミナボールが利用されるが、蓄熱脱臭装置などではセラミックハニカムも利用されている。排ガスは燃焼空気を予熱することで200℃程度まで冷却され、排出される。炉内温度が1200℃の場合、リジェネバーナーを利用することで熱効率が改善されるため、50～70%の燃料削減が可能になるという。

燃焼バーナーの切り替えは30秒間隔や60秒間隔で行われるため、切換弁の制御や耐久性が重要になる。短時間で切り替えることにより、蓄熱と予熱を効率的に行える仕組みになっている。

炉内温度などの運転条件によって異なるが、リジェネバーナーシステムによって、従来比でエネルギー消費量の約30%削減が可能になった。また、燃料消費量も削減できるため、大幅なコスト削減効果もある。使用燃料の削減はCO₂削減にも貢献している。

リジェネバーナーは工業炉本来の性能向上にも役立っている。バーナーが交互に燃焼するため、炉内の攪拌が促進され、炉内温度が均一化される。

環境負荷低減効果の高いリジェネバーナーは鋼片の加熱炉や炉から出る溶湯を受け運搬したり鑄込みを行ったりする容器である取鍋(とりべ)の予熱などに使用されている。

省エネルギーのもう一つのアプローチ —— 酸素燃焼

工業炉の省エネルギーには2つのアプローチがあるとされる。1つ目はリジェネバーナーのように排ガスを効率的に利用して、

排熱を削減することである。もうひとつは排熱を削減するためには排ガスそのものを削減する方法である。

排ガスには燃焼に寄与しない窒素が、通常の空気であれば約80%含まれていることになる。工業炉ではこの「余計な」窒素まで加熱して、排ガスとして放出していることになる。一般的に不完全燃焼を避けるために、必要量よりも多めの空気が用いられているが、空気比を最適化することで、省エネルギー効果があることが知られている(図5)。

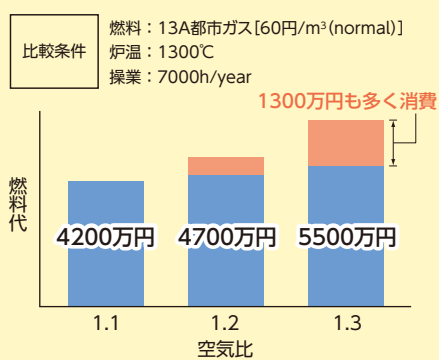
空気比を最適化するほかに、酸素濃度を高めた(富化した)空気や純酸素を使用する酸素燃焼という方式もある。酸素燃焼では、酸素富化により、火炎温度が上昇し高温が得られたり、排ガス量が低減され、排熱ロスを削減できるといったメリットがある。しかし、一方で高温燃焼によるNO_x発生が抑制が課題である点はリジェネバーナーと同様であった。

これを解決する酸素燃焼方式が「超低NO_x酸素富化燃焼バーナーシステム」である。これは、燃料と酸化剤として供給する空気と酸素の流量を周期的に変動させることによって、意図的に酸素不足の状態をつくりだすことでNO_xの発生を抑制する燃焼方式である。酸素バーナーは加熱炉、焼成炉、取鍋などにおいて使用されているが、超低NO_x酸素富化燃焼バーナーシステムを用いれば、排ガス処理設備を用意することなく酸素バーナーを利用することができる。

また、純酸素を使用した酸素バーナーは電炉の製鋼プロセスで用いられている。ここでも新しいタイプのバーナーによる省エネルギーの取り組みが行われている。電炉では、原料となる鋼溶解の時間短縮と効率的な精錬のために、酸素バーナーによる加熱と酸素吹精(酸素の溶鋼への吹き込み)が行われている。酸素を超音速ジェットとすることで、この溶解期用の「バーナー機能」と、精錬期用の「ランス機能」を兼ね備えた酸素バーナーが開発されている。バーナー機能では電極の熱が届きにくい炉内のコールドスポットを効率的に加熱できる。ランス機能では、溶鋼にランスパイプを挿入し、酸素吹き精錬を行う作業を不要に

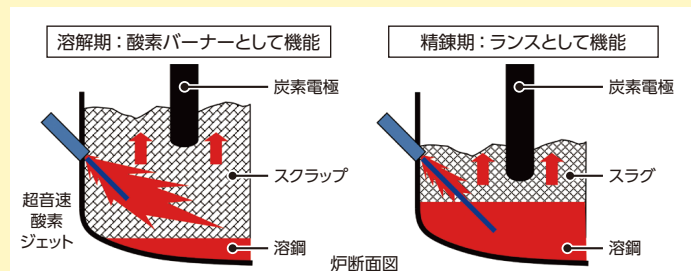
■空気比改善による省エネルギー効果(図5)

空気過剰状態から、空気比を最適化することで、25%の省エネルギー効果が期待できる。



■製鋼用のジェットバーナー(図6)

溶解期では、高速の酸素バーナーがスクラップの奥まで火炎を浸透させる。精錬期では、ランスパイプを挿入することなく、酸素の吹き込みができる。

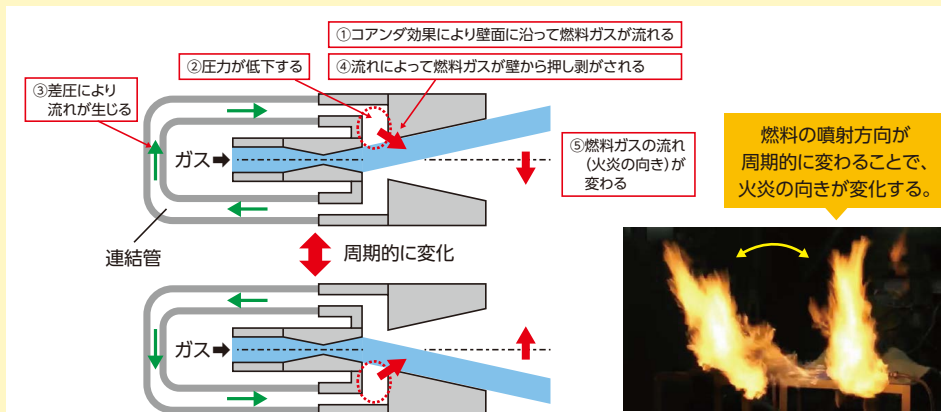


資料提供：太陽日酸(株)

■自励振動の原理(図7)

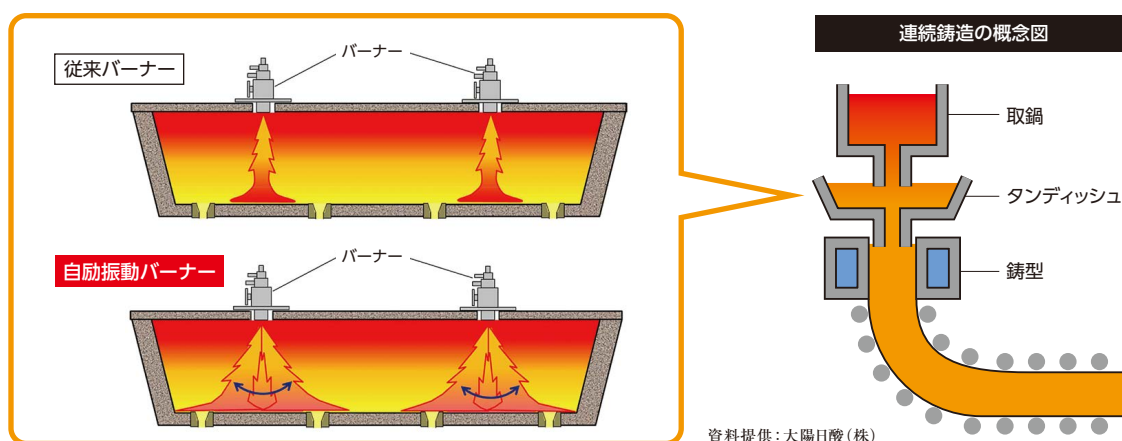
流体が噴出している側は負圧になり、連結管から流入したガスにより、壁面から押し離される。反対側の壁面でも同様の減少が起こり、火炎の流れが周期的に変化する。

資料提供：大陽日酸(株)



■自励振動バーナー(図8)

自励振動バーナーはタンディッシュの加熱などに使用される、空気燃焼バーナーと比較して、スイングする酸素富化燃焼バーナーでは燃料使用量の40%削減とそれに伴うCO₂発生削減を実現している。



することで、作業性を向上させている(図6)。

このほかにも、連続鋳造に用いられるタンディッシュの予熱には酸素富化バーナーが用いられる。酸素富化バーナーは高温が得られる一方で、局所的に加熱されるという課題があった。これに対し、流体が付近の壁面に沿って流れる「コアンダ効果」を利用した自励振動現象を利用した火炎がスイングするユニークな酸素富化バーナーが開発されている(図7)。火炎が直進する従来のバーナーでは横長形状のタンディッシュなどを均一に加熱することが難しかったが、自励振動バーナーでは火炎が広範囲にスイングするため、均一な加熱が可能になっている。この原理を応用したバーナーはタンディッシュの加熱用バーナーや電炉に使用される酸素バーナラランスでも採用されている(図8)。

CO₂の発生も抑制できる環境負荷の少ないバーナーといえる。しかし、リジェネバーナーシステムは従来のバーナーと比較して構造が複雑で導入コストが必要になる。また、酸素富化バーナーは、燃焼用の酸素を別途用意する必要があり、安価な酸素供給が可能でなければ、コストが増加するという面もある。

現在は大型設備での導入が進んでいるリジェネバーナーシステムであるが、中小設備向けの製品の開発が進められており、今後の普及が期待できる。今後、日本発のリジェネバーナーシステムが広く普及することが期待される。

一方で燃焼バーナーの改良による省エネルギーは理論値の限界近くまで進んでおり、今後は石油から天然ガスへの燃料の転換や、より根本的な水素社会への転換などが求められる。今後も時代のニーズに合わせた省エネルギー燃焼バーナーの開発が必要である。

多彩な展開が期待される
省エネルギー燃焼バーナー

●取材協力 中外炉工業(株)、大陽日酸(株)
●文 石田亮一

リジェネバーナーや酸素富化バーナーは高効率かつNO_xや