

最新型省エネ燃焼設備

赤 阪 圭 佑*

1. はじめに

地球温暖化の原因となる二酸化炭素の排出量抑制とユーザーが負担する燃料コストの削減という課題を達成するため、弊社は多くの省エネ燃焼設備の開発に注力してきた。

第3回 工業炉・関連機器&シンポジウム サーマルテクノロジー 2015 では近年の弊社で開発した省エネ燃焼設備について発表した。本稿ではその発表内容に沿って、省エネ燃焼技術について紹介する。

まず工業炉に関する省エネ技術について以下の項目に分類する。

1) 燃焼の合理化・最適化

燃焼制御システムの改善により空気比を精密に最適制御する技術

2) 廃熱の効率的回収

燃焼排ガスの持ち去る熱エネルギーを効率的に回収する技術

3) 酸素燃焼技術

酸素火炎特性の有効利用による高効率化

4) その他

炉形状、バーナ及び材料配置の適正化

炉壁の断熱構造の最適化、開口部のシール性向上など

本稿のテーマは燃焼設備に関する技術であることから上記の内、1)～3)項について以下に紹介する。

2. 燃焼の合理化・最適化

2.1 一般的な制御

燃焼制御で最も重要なことは投入した燃料に対して適正量の燃焼空気を投入することである。過剰な燃焼空気の投入は排ガス損失を増大させ、また空気不足においては未燃分をそのまま炉外に排出することになり燃料原単位を増やす要因となる。一般的な燃焼制御として以下の方式が挙げられる。

1) 均圧弁制御方式

温度指示調節計 (TIC) の出力信号により、空気コントロール弁が開閉して燃焼空気の圧力を調節する。均圧弁は燃焼空気の圧力を受け燃料ガスの圧力を同圧に制御する。

シンプルな制御であるため、導入コストを低く抑えられる。しかし、均圧弁のダイヤフラムはゴム材質を使用しているため、ターンダウン時の精度及び再現性は不確かなことがある。また、燃焼空気の温度変化には対応できないため、燃焼空気

* 中外炉工業株式会社 サーマシステム事業部 技術部 システム工事課 主任 K. Akasaka

の流量制御弁前後にセンサーを設けて必要な補正を自動的に行う。高精度の流量制御と高い再現性を確保するために流量制御弁は出荷前に個別に正確な弁開度と流量の関係を把握している。制御はプリセットしているバーナ固有定数、流量制御弁定数及び計測した圧力値により流量を自動演算する、独自の「複合絞り制御方式」を採用している。これにより「フィードフォワード制御」が可能になり、従来からの流量制御方式に比べて制御の応答性と安定性が大幅に向上した。

省力化の観点では、燃焼負荷毎の空気比設定を8パターンまで記憶させることができ、処理材料毎の最適空気比条件を瞬時に選択することが可能になる。各流量、空気比の実測値モニタリング及び設定値の変更は、タッチパネル式のモニターから簡単に行うことができる。

図2にEBC-i制御機器取付例を示す。EBC-iのシステム機器はユニット化して提供するため、配管設計の簡易化や工期の短縮が可能となる。

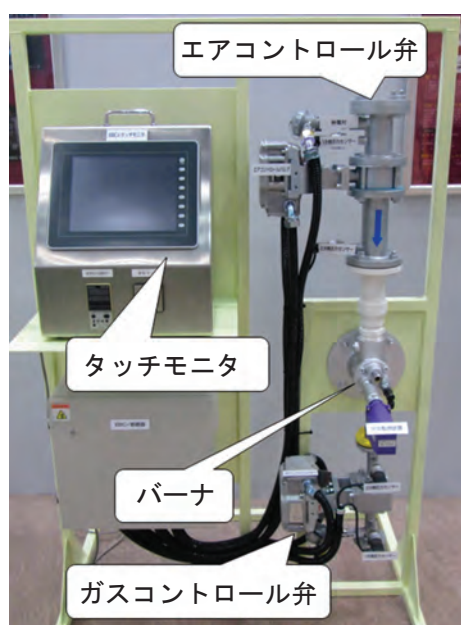


図2 EBC-i 制御機器取付例

この制御システムは省エネ用途だけでなく、精密制御特性を生かして例えば水切乾燥過程の超徐昇温や炉内雰囲気の還元 / 酸化切替を要する窯業業界、厳密な炉内雰囲気制御と炉内温度分布が要求される金属熱処理業界、鉄鋼業界等幅広い分野に応用できる。また、比例制御、間引き制御、時間比例制御等様々な運転パターンに対応することが可能である。さらに簡単な操作で正確な空気比

制御が実現できることから、ガスバーナの種類を問わず汎用的に使用する事が可能であり広く普及している。

3. 廃熱の効率的回収

排ガスの熱損失は排ガスの温度が高いほど大きいため、排ガスが持つ熱エネルギーをリサイクルし、系外へ排出される排ガス温度をできるだけ下げることが重要である。図3に廃熱回収による空気予熱を活用した場合の燃料節約率を示す。

代表的な廃熱回収内蔵型バーナとしてはレキュバーナとリジェネバーナが挙げられ、用途に適した選定をする必要がある。

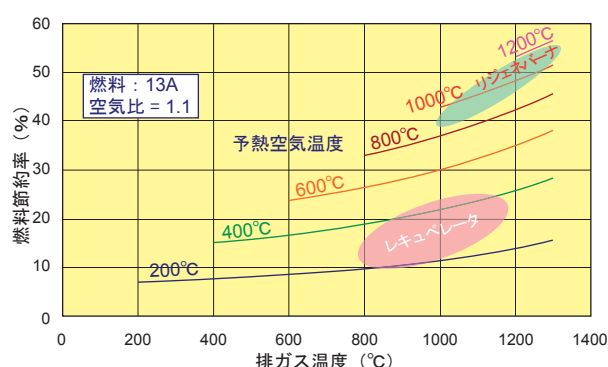


図3 廃熱回収による空気予熱を活用した場合の燃料節約率

3.1 SRMG 型レキュバーナ

本バーナはバーナ本体に高効率のレキュペレータを内蔵しており、燃焼しながらエダクタで排ガスを吸引し、簡単に高温予熱空気を得ることができるバーナである。

写真1にレキュペレータ部の外観を示す。レキュバーナは通常の集合レキュペレータを別途設置した場合に発生する配管放熱による熱損失が無く、設備によっては集合レキュペレータよりも安価になることもある。



写真1 SRMG 型レキュバーナ レキュペレータ部の外観

弊社では炉内で燃料と空気を混合し、急速な燃焼反応を抑えた長炎タイプの SRMG 型と、炉気攪拌効果をより高めて良好な炉内温度分布を実現する高速・短炎タイプの Hi-SRMG 型の 2 機種ラインナップしている。写真 2 に本バーナの炉体への取付例及び Hi-SRMG 型火炎の様子を示す。

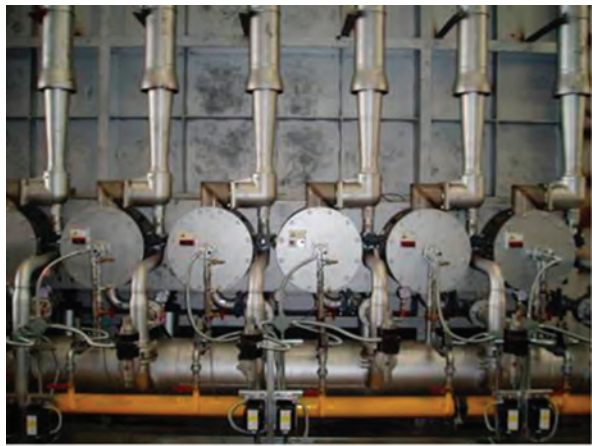


写真2 バーナ取付例(上)及びHi-SRMG型火炎の様子(下)

3.2 RCB型リジェネバーナ

リジェネバーナは廃熱を効率良く回収し高温の予熱空気が得られるため、燃料の使用量と二酸化炭素の排出量が大幅に削減できる技術として発展してきた。これまでに大型炉をはじめ多くの工業炉へリジェネバーナの導入が進んでいる。

一方、以下に記載する様なハードルがあるため、リジェネバーナの導入が進んでいない又は使用が困難な炉を挙げる。

- 1) 主にアルミ溶解炉の様な炉内雰囲気中にダスト分を多く含む炉
- 2) 炉の幅が狭いなどの理由で、火炎が材料や炉壁へ干渉する炉
- 3) リジェネバーナの設置するスペースが無い中・小型炉

これらのハードルを乗り越えるために創意工夫を加えたリジェネバーナを紹介する。

3.2.1 イージーメンテナンスタイプ アルミ溶解炉専用 RCB-STP型リジェネバーナ

アルミ溶解炉は放射率の低いアルミを溶解する性質上、一般的に 1000℃ 以上の高い炉温で大量のエネルギーを消費するため、リジェネバーナは数多く採用されてきた。

しかし、バーナのメンテナンスに悩まされるといったユーザーのフィードバックも数多く寄せられた。バーナノズル部と蓄熱ボールへ炉の雰囲気中に含まれるダストが堆積するため、燃焼状態に支障をきたすことと廃熱回収の効率下がることが大きな問題だった。メンテナンスは炉を停止し、炉温が下がってから人が炉内に入りノズル清掃作業をしなければならず、またボールについても重量物であることからユーザーに大きな負荷がかかっていた。

これらの対策品として開発したイージーメンテナンスタイプのアルミ溶解炉専用 RCB-STP 型リジェネバーナの外観を図4に示す。バーナヘッドの後部にメンテナンスホールを、蓄熱器へはボール自動清掃機を取り付けた。これらはバーナの運転を停止すれば、炉温の低下を待たずしてメンテナンスに取り掛かることができることが大きな利点である。

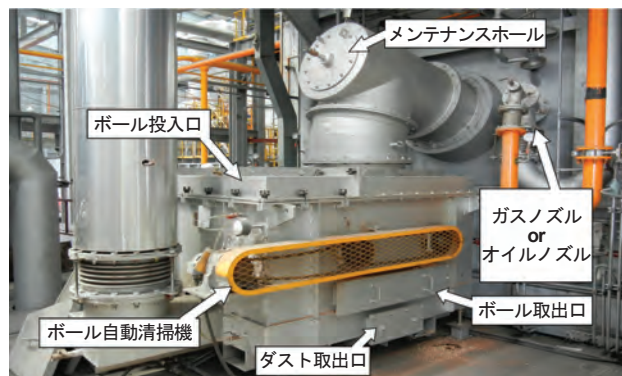


図4 イージーメンテナンスタイプアルミ溶解炉専用 RCB-STP型リジェネバーナ

バーナヘッドのノズル部に詰ったダストはメンテナンスホールを開口し炉外から清掃用治具を用いて除去することが可能となった。

蓄熱器のダストはボール自動清掃機の運転で蓄熱器内のボールを攪拌できるようになり、下部のダスト取出口から容易に除去できるようになった。

メンテナンス性能はこれまでアルミ溶解炉で採用されていた通常のリジェネバーナと比べて大幅に改善され、顧客満足の向上につながった。

3.2.2 フラットフレームタイプ RCB-SF 型リジェネバーナ

リジェネバーナの火炎は低 NOx を実現するため二段燃焼方式及び炉内拡散燃焼方式をとることが多く、その性質上火炎は長くなることが多い。幅の狭い炉では、処理材料や対向するバーナ及び炉壁などに火炎が干渉するという理由によりリジェネバーナのニーズがあっても採用が見送られることが今までに少なからずあった。フラットフレームタイプの RCB-SF 型リジェネバーナはこれらのニーズに対応するため開発された。写真 3 に RCB-SF 型リジェネバーナの外観を示す。特徴は以下の通りである。

- 1) 強力な旋回流によるフラットな火炎
対向するバーナ同士の火炎干渉を防ぎ、非加熱物までの距離が短くとれること
- 2) コンパクト性
炉のサイド及びルーフへの取付けが可能なこと



写真 3 フラットフレームタイプ RCB-SF 型リジェネバーナ

表 1 にリジェネバーナの火炎サイズの比較を、図 5 に RCB-SF 型リジェネバーナの火炎形状を示す。(燃焼量：581 kW) 通常タイプの弊社のリジェネバーナ (FH 型及び STP 型) の火炎と比較し火炎長さは 1/5 ～ 1/6 まで短くなるため、特に材料へ火炎干渉する心配が無くなる。

更にフラット形状の火炎はバーナ近傍のタイル

温度を効率良く上げるため、その輻射による伝熱効果も期待することができる。

表 1 リジェネバーナの火炎サイズの比較 (燃焼量：581 kW)

バーナ型式	火炎長さ (m)	火炎径 (m)	比率 (FH 型を 1.0 として比率)	
			火炎長さ	火炎径
RCB-FH	2.5	0.7	1.0	1.0
RCB-STP	3.0	0.7	1.2	1.0
RCB-SF	0.5	1.0	0.2	1.4

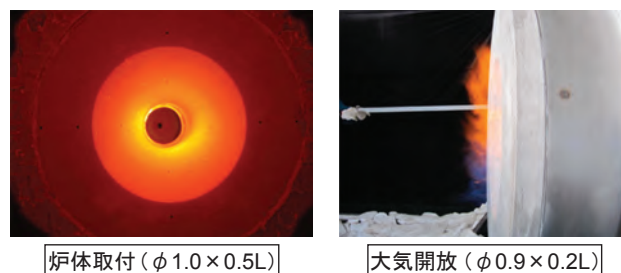


図 5 RCB-SF 型リジェネバーナの火炎形状

3.2.3 コンパクトタイプ RCB-ES 型リジェネバーナ

これまでにリジェネバーナの設置が困難であった中・小型工業炉の中でも炉温が高く、リジェネ導入のメリットが出やすい小型鍛造加熱炉と熱処理炉をターゲットとした。写真 4 にコンパクトタイプ RCB-ES 型リジェネバーナ外観を示す。特徴は以下の通りである。

- 1) 小燃焼量であること
145 kW, 290 kW, 580 kW の 3 種類をラインナップした。
- 2) 超小型・コンパクト形状であること
通常のリジェネバーナは 2 台 1 組であるところを、本バーナは 1 台で廃熱回収と予熱空気による燃焼を同時に行えるため、限られた炉周囲のスペースを有効活用することができる。バーナヘッド、蓄熱器及び切替弁をユニットにしており、コンパクト化を実現している。
- 3) 高速・短炎に対応できること
フレーム長さを短炎から長炎に可変することができる。高速・短炎火炎は炉気攪拌の性能が高く、炉内温度分布を良好に保つことができる。
- 4) 低 NOx であること
これまでのリジェネバーナの開発で得られた

拡散燃焼技術と自己排ガス循環技術により、低 NOx を実現している。



写真4 コンパクトタイプ RCB-ES 型リジェネバーナ

図6にRCB-ES型バーナ構造(290kW)を示す。バーナサイズについてはタイル部が□400mm、バーナ重量が概算で150kgであり、リジェネバーナの中では世界最小・最軽量である。(当社調べ)

また、長炎～高速・短炎に切替えて炉気攪拌の調節が可能な機能を初めてリジェネバーナに持たせ、様々な炉の条件に合わせて最適な条件を設定することが可能である。

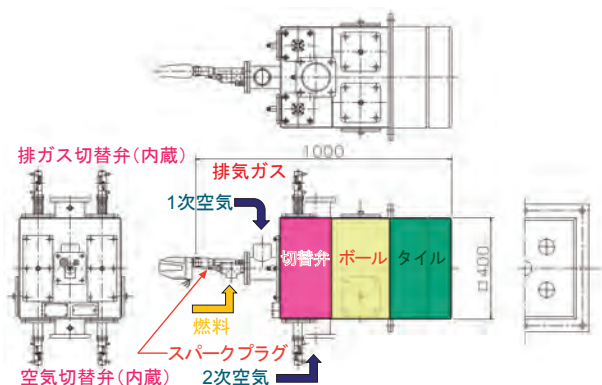


図6 RCB-ES型バーナ構造(290kW)

4. 酸素燃焼技術

酸素燃焼は空気中の窒素を含まない分だけ、燃焼排ガスが大幅に減少し排ガス熱損失を大幅に低減させることができる。さらに火炎温度が約3000℃に達することから通常の空気燃焼では適用不可能な高温領域の処理用途にも適用することができる。酸素燃焼の特性を生かした燃焼装置をご紹介します。

4.1 取鍋予熱用酸素バーナ

取鍋は製鋼工程において溶鋼を受鋼し次の工程に運ぶための耐火物容器である。1500℃以上の溶鋼を受鋼するためには取鍋内部をあらかじめ

1000℃程度まで予熱しておく必要がある。この予熱温度が高いほど溶鋼との温度差が小さくなるため熱衝撃が緩和され取鍋耐火物の寿命が伸びるだけでなく、受鋼後の溶鋼温度低下が少なくなり転炉や電気炉からの出鋼温度を下げることによる省エネルギーも期待できる。この取鍋を短時間でより高温まで予熱することができる装置が酸素燃焼による取鍋急速予熱装置である。写真5に取鍋予熱用酸素バーナと予熱後の取鍋の様子を示す。これまで空気燃焼設備から酸素燃焼設備に更新するに際して50%以上の燃料使用量の削減を達成した例もあり、高い省エネ効果を得ることができる。



写真5 取鍋予熱用酸素バーナ（左）と予熱後の取鍋耐火物の様子（右）

4.2 インピンジバーナ

インピンジ加熱技術（衝突噴流加熱技術）は酸素燃焼火炎の速い燃焼速度特性と高い火炎温度特性を応用し、高速噴流を直接被加熱物に衝突させて得られる高い熱伝導率を利用して、急速に加熱する技術である。

4.2.1 鋼片エッジヒーターの事例

圧延ラインでは鋼片のエッジ部が搬送中に温度降下しやすい。写真6にエッジヒーターによる鋼片加熱の様子を示す。鋼片エッジヒーターは鋼片のエッジ部を局所的に加熱するよう配置し、鋼片温度を高温に保つことを目的としている。結果として、品質と歩留まりの向上に寄与している。

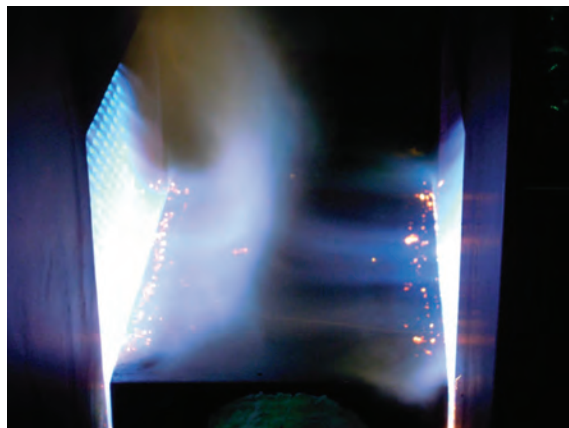


写真6 エッジヒーターによる鋼片加熱の様子

4.2.2 アルミビレットヒーター

図7にインピンジ加熱を応用したアルミビレットヒーターの使用例を示す。アルミビレットの外周面に対して円周方向全面に適正数の酸素バーナを配置することにより、誘導加熱方式と同等の加熱速度、温度分布、熱効率が得られる。電力の送電端効率を加味したトータルエネルギー効率で比較すると酸素燃焼によるアルミビレットヒーターの方が効率的であるとの結論が得られている。



図7 インピンジ加熱を応用したアルミビレットヒーターの使用例



写真7 鍛造加熱炉用酸素バーナの長炎火炎

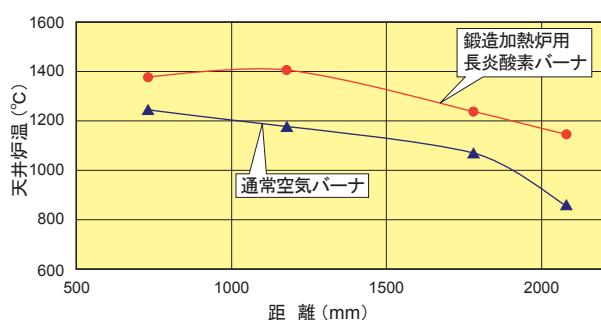


図8 通常空気バーナと鍛造加熱炉用酸素バーナの炉内温度分布

4.3 鍛造加熱炉用酸素バーナ

酸素燃焼は、排ガス量の少なさから鍛造加熱炉のような大きな空間を均一に加熱するには適していなかった。しかし、酸素燃焼において長炎燃焼を実現することにより良好な炉内温度分布が達成できれば、ユーザーが持つ余剰酸素の有効活用や省エネ化への期待に応えることができると考えた。

写真7に鍛造加熱炉用酸素バーナの長炎火炎を示す。鍛造加熱炉用酸素バーナの長炎燃焼の実現にはリジェネバーナで培った炉内拡散燃焼技術を応用した。図8に通常空気バーナと鍛造加熱炉用酸素バーナの炉内温度分布を示す。同一燃料使用量の比較であるが、通常空気バーナと同程度の炉温の均一性を達成することができた。

5. 結 言

燃焼の合理化・最適化、廃熱の効率的回収、酸素燃焼技術に関わる近年の省エネ燃焼設備を紹介した。設備の省エネ化は、現状の使用状況について炉温、燃料、空気比、排ガス温度などを分析するところからはじめ、設備の特性や使用環境に応じて最適なものを選択されたい。

燃焼設備の省エネ化が進み、地球温暖化防止とユーザーの燃料コスト負担軽減に貢献できれば幸いである。これからもあらゆるニーズに応えられるように、省エネ燃焼装置を提供していきたい。

参考文献

- 1) 加藤潤一：燃焼制御システムの最新動向，省エネルギー 2007 VOL. 59 No. 13
- 2) 河本祐作：超小型セルフリジェネバーナの開発 RCB-ES 型 2014 VOL. 51No. 5
- 3) 谷山公勇，藤井邦夫，友澤健一：酸素バーナ式ビレットヒータ，工業加熱 2002 VOL. 39 No. 5
- 4) 谷山公勇，友澤健一，池田勇：最近の酸素燃焼適用事例，工業加熱 2012 VOL. 50 No. 1