

## ○2センサによる空気比制御システム搭載の大型貫流ボイラ「イフリート」

川重冷熱工業株式会社

技術総括室 ボイラ技術部

正井 文敏

### 1.はじめに

近年の貫流ボイラは省エネ化が進んでおり、各社よりボイラ効率96%以上のものが商品化されている。当社も09年4月にボイラ効率が98%の都市ガス13A焚きの大型貫流ボイラ「イフリート ビート」シリーズを発売した。イフリートビートの外観を写真1に、主な仕様を表1に示す。

ボイラの省エネや省電力化の手段には様々あるが、イフリートシリーズでは、燃焼に連続制御（PI制御）の採用とバーナのターンダウン比10：1の組合せによる部分負荷効率の向上や、給水の連続制御による直接ドレン回収システムへの対応で蒸気システム全体での省エネに対応できる。また、押し込み送風機や給水ポンプにインバータを標準装備し、部分負荷時の消費電力量の低減を図っている。

この様に、ボイラ機器の熱効率や電力量削減、蒸気システム全体での省エネが限界に近づくなか、当社ではさらなるボイラの省エネ要求に応えるべく、省エネ法により重要視されている燃焼空気比の管理に着目し、○2センサを利用した空気比制御システムの開発を行い商品化した。本システムは既設イフリートボイラにも追加取付出来るよう設計しているため、既設ユーザのCO2削減にも対応できる制御システムとなっている。

本稿では今回商品化した制御システムについての採用技術や特徴について紹介する。

### 2 空気比制御の有効性

#### 2-1 空気比の変化

ボイラの燃焼に限らず、燃焼とは燃料と空気を一定の割合で混合させて行なう。燃料の完全燃焼に必要な空気量を単位量として燃焼に用いる空気の量を空気比で表す。この空気比は一度調整しても空気の温度や気圧、湿度と言った気象条件により空気密度が変化することで、季節や環境の変化により大きく変化する。図1に空気温による空気比の変化の予想線図を示す。たとえば、ある負荷で夏場など空気温度が40℃の時に燃焼調整を行い、空気比を1.2に設定したとする。この設定のまま冬場など空気温度が10℃になると、同じ燃焼負荷で空気比は1.3以上に上昇する。

逆に冬場、空気温度が10℃の時に空気比を1.2に設定すると、空気温度が40℃になると空気比が1.1以下に低下する。

一般的に空気比の設定は、空気比の過剰な低下による異常燃焼やCO発生を避けるべく、夏季の空気不足を避けるよう調整（夏場に最大負荷にて空気比を1.20~1.23程度）しているため、その他の時季には不必要に空気比が高い状態で運転が行なわれている場合が多い。なお、空気比は排ガスの○2濃度から算出により求まるため、実際の空気比の管理は排ガス○2濃度の監視にて行なっている。

#### 2-2 空気比の変化がボイラ効率に及ぼす影響

ボイラの燃焼にて空気比が高くなると、ボイラでの収熱の低下による排ガス温度の上昇と燃焼排ガスの量自体が多くなるのが相まって、排ガス損失が増加してボイラ効率が低下する。

図2に各空気比におけるボイラの排ガス温度と排ガス損失の関係を示す。排ガス損失は図中に示す条件により計算で算出した。たとえば、冬場を想定し空気温度15℃、排ガス温度が130℃の場合では空気比1.20の時の排ガス損失は5.5%、空気比1.33の時の同損失は6.1%となり、損失の差は0.6ポイントとなる。空気比制御を行い、空気比を1.20に制御すると、先述の損失の差がそのままボイラ効率の改善、すなわち燃料消費量の低減に繋がる。さらに燃焼用の空気動力も合わせて低減できるため、電力消費量の面でも省エネが図れる。また、どの季節に燃焼調整を行なったとしても外気温度による空気比の変化の影響を受けないため、季節ごとの燃焼調整も不要となりユーザ負担が軽減できる。

### 3 空気比制御システム

#### 3-1 ○2センサ

今回商品化した○2センサはジルコニア限界電流式のものを採用した。安定化ジルコニアは高温に加熱すると酸素イオン導電体の性質を持つ。ジルコニア成形体にフィルターを介した電極を設け、この成形体を高温にして電極に電圧をかけると電圧-電流特性にフラット（電圧を変化させても電流値が一定）な領域が現れる。このフラット領域は酸素濃度に応じて変化するため、この電流値を測定して

酸素濃度を検出している。

### 3-2 燃焼制御

一般に貫流ボイラの燃焼制御は3位置またはそれ以上の段階(断続)制御を採用している場合がほとんどである。しかし当社のイフリーストボイラは、燃焼に連続制御を採用している。これは、断続的に燃焼を制御する場合に比べ、連続制御の方が、要求負荷に見合った燃焼量で燃焼制御ができるため、不必要な燃料の消費を避け安定した蒸気圧力を保てる点や、ターンダウンを広く設定出来る点など省エネへのメリットが格段に大きいためである。

### 3-3 制御機器の構成

図3にイフリーストボイラの燃焼制御システムの概要を示す。

空気比制御を行わない通常の燃焼制御の場合、ボイラ本体に取付けた蒸気圧力センサの信号から、圧力制御演算部(図中PIC)にてPID演算を行なう。演算の結果は燃焼量指令値(図中MV)として、一方はコントロールモータへ伝え、モータの回転角度により燃料ガス量と燃料空気量がリンク機構によって調量される。もう一方は、押し込み送風機の周波数設定テーブルによりその時の燃焼量に見合った周波数信号に変換し、インバータにより送風機モータの回転数を制御することで空気量を制御する。この時の設定周波数を基本周波数と呼ぶ。

O<sub>2</sub>センサによる空気比制御を行なう場合は、燃焼量指令値から送風機の周波数を決定する制御ラインに、空気比制御を行なう制御ラインを追加する。空気比の制御は燃焼排ガス中のO<sub>2</sub>濃度を検出して行なう。ボイラ排ガスO<sub>2</sub>濃度は安定した燃焼が得られるように、その設定値を高負荷ではO<sub>2</sub>濃度で3~4%程度に、低負荷で4~6%程度に、中間負荷域では高低負荷時の設定値を緩やかな曲線で結ぶ様に設定する。図4にボイラの燃焼負荷とO<sub>2</sub>設置値テーブルの一例を示す。この設定値がボイラ燃焼中の各燃焼量での排ガスO<sub>2</sub>の設定値となる。制御の流れとしては、燃焼量指令値とO<sub>2</sub>設定テーブルから現在の燃焼負荷での設定O<sub>2</sub>値を決定する。決定したO<sub>2</sub>とセンサにより実測した排ガスO<sub>2</sub>値からO<sub>2</sub>制御演算部でPID演算を行なう。演算の結果は基本周波数に付加し、インバータの回転数を加減することで空気比の制御を行う。

### 3-3 特徴

#### ① 当社製マイコンによる制御

燃焼に関する各種演算や設定はボイラ制御盤内のマイコンを利用して行なっている。このためパソコンを利用してボイラ制御盤と通信が行なえるメンテナンスツールを用いることで、制御に必要なパラメータを簡単に設定することが可能である。その他にも、空気比制御の制御速度や送風機回転数出力に基本周波数からの偏差に制限を付加する機能、各種安全用の警報を任意に設定できるなど、空

気比制御を行なう上できめ細かな動作設定が可能な機能を持たせている。

#### ② 安全対策

空気比が大幅に変化すると燃焼が不安定になるだけでなく、低空気比側にズレが生じると有害なCOが発生する。このため、事前に空気比の大幅なズレを防止するため、送風機回転数出力信号は、基本周波数から一定の偏差内に収まる様、演算結果の回転数に対して出力値を制限している。さらに、空気比制御燃焼中に空気比の異常な変化を自動判断した場合、空気比制御をキャンセルし基本周波数による燃焼制御に切替える制御を組み込んでいる。空気比の異常は下記の条件を判断基準としている。

- ・排ガスO<sub>2</sub>が異常に低い状態が続く。
- ・排ガスO<sub>2</sub>の値が設定値と一定以上離れ続ける。

#### ③ O<sub>2</sub>センサの異常/素子劣化診断

センサに異常が生じた場合やセンサとの信号線が断線した場合、即座に基本周波数による燃焼制御に移行する。

今回採用したO<sub>2</sub>センサは、素子の劣化による測定値への影響は高濃度側の測定値の低下として現れる。すなわち大気中の酸素濃度は21%であるが、センサが劣化してくるとそれより低い値を示すようになる。そこでプレパージやポストパージ時など非燃焼中のO<sub>2</sub>を計測することで、O<sub>2</sub>センサの劣化を診断する機能をボイラ内に持たせている。センサの劣化を検出した場合には、空気比制御は行なわず基本周波数による燃焼で継続運転を行なう。

#### ④ 異常時の対応

上述の異常やセンサの劣化を検出した場合、基本周波数による燃焼制御に切り替わるのと同時に、操作パネル周りにあるLED表示灯が黄色に変色するため、ひと目録で確認することが出来る。さらにパネル部を操作することで異常の内容や対処法などのガイダンスを表示される。このためユーザは迅速かつ的確に対応できる。このLEDおよびガイダンス表示は空気比制御だけでなく、通常運転や異常時などボイラの状態に合わせて変化・表示する。

### 4 おわりに

イフリーストは、貫流ボイラでありながら、従来の水管ボイラの優れた制御を採用し、貫流ボイラの特徴である保有水量の少なさとあいまって、省エネ性を追及したボイラである。今回の空気比制御の開発により、より一層の省エネ化ができ、CO<sub>2</sub>の削減に貢献できるものと考えている。

しかしながらボイラは大量に化石燃料を消費する産業用熱源機であることから、当社ボイラの性能向上が地球環境の維持・改善への貢献に直結しているものと考えている。そこで今後も環境負荷低減に注力した商品・サービスを開発し、それらを低コストで市場へ提供することで社会に貢献できるよう努力していきたいと考えている。

以上