

## 大型貫流ボイラ「I f r i t B e a t」の省エネルギー技術

川重冷熱工業株式会社  
技術総括室 ボイラ開発部  
村田 哲彦

はじめに

近年のボイラ機種動向では、省スペース性と取扱易さ、また無資格で運転できる利便性から小型貫流ボイラ(蒸発量2000~2500kg/h)が主流となっている。しかし、使用蒸気量が6000kg/h以上になる中~大規模のユーザにおいては、その設置台数の増加から、運用時の頻繁な発停回数によるエネルギー損失や保守管理の煩瑣が問題になっている。

従来当社で販売している大型貫流ボイラ「I f r i t」(イフリート)は、換算蒸発量で最大6000kg/hと貫流ボイラとしては大容量であり、小型貫流ボイラに比べ多缶設置時の台数を減少することが可能で省メンテナンスを実現した。また、エコマイザを使用した直接ドレン回収や、VOC(揮発性有機化合物)の燃焼処理等、ボイラを柔軟にカスタマイズすることでユーザシステムの最適化に役立ってきた。

当社は、更なる市場の要求に応えるべく、イフリートの特徴である蒸気圧力の安定性はそのままに、イフリートを構造から見直し、ボイラ効率の向上を柱とし、本体のコンパクト化と操作性の向上を実現した、ボイラ効率98%の高効率シリーズ「I f r i t B e a t」(イフリートビート 写真1)を開発した。

本稿では、イフリートビートの特徴、採用している省エネルギー技術について紹介する。

イフリートビートの特徴

### (1) 容量・取扱資格

イフリートビートシリーズの要目を表1に示す。換算蒸発量で3000~6000kg/hの4機種をラインナップしており、さらに、最大16缶を同時に制御可能な台数制御装置と組み合わせることで、最大換算蒸発量96t/hの大容量ユーザにも対応することが可能である。燃料を都市ガス13A・LNG、最高使用圧力を0.98MPaに特化して最適化設計することで缶体のコンパクト化に成功した。これにより、当社製小型貫流ボイラKF-2000GE×3台と比較して、設置面積を25%低減することができ、多

缶設置された小型貫流ボイラの入替が無理なく計画できる。また、台数が少なくなることによる工期短縮、工事費削減が図れるとともに、日常点検の手間、費用も削減することが可能である。

貫流ボイラは保有水量が少ないことから、伝熱面積30m<sup>2</sup>以下のボイラについては取扱資格の軽減処置が受けられる。これは、複数台設置した場合でも適応され、イフリートシリーズの場合、ボイラ技士免許は不要であり『ボイラ取扱技能講習』修了者で取り扱うことができる。

### (2) 優れた圧力制御

一般に小型貫流ボイラで採用される燃焼制御は「高燃焼—低燃焼—燃焼停止」を断続的に繰り返す三位置制御である。これに対してイフリートの燃焼制御はPI制御を採用し、負荷に応じて連続的に燃焼量を制御している。

また、小型貫流ボイラで採用されている給水制御は、ON—OFFの断続制御であり、対してイフリートは給水制御にもPI制御を採用している。ON—OFFの給水制御では、給水オフ時は0%、オン時は120~150%の給水を繰り返し、燃焼制御は0%—50%—100%の繰り返しで、これらは各々関連なく動作する。この入出力の不一致が外乱となり、蒸気圧力変動・燃焼量増減・水位変動を繰り返すことになる。

イフリートに採用しているPI制御は、連続的に制御することにより、蒸気発生量=燃焼入熱=給水量の平衡を行うことで、水位を安定させることができ、安定した蒸気圧力で運転することが可能となる。イフリートビートもイフリートと同じく燃焼・給水制御ともにPI制御を採用し、イフリートと同様の安定した蒸気圧力運転を継承している。

図1に負荷静定時の蒸気圧力変化を示す。燃焼・給水ともにPI制御を採用したイフリート6000kg/h×1台の圧力変動幅と、燃焼制御が三位置制御、給水制御がON—OFF制御の当社製小型貫流ボイラ

2000kg/h×3台とを比較した場合、イフリートの圧力変動幅は小型貫流ボイラのそれに対して、約1/3の0.009MPa以下に抑制することが可能である。

### (3) 操作性の向上

制御盤の操作部に5.7インチカラータッチパネルを採用し、漢字表示をすることで操作性、視認性の向上を図っている。タッチパネルには押し込送風機や給水ポンプなど、ボイラ補機の動作が表示される他、トレンドグラフや各積算データが表示される。また、タッチパネルの周囲にLED状態表示灯を使用し、ボイラの運転状態を色で表示しているため、離れた場所からでも一目で確認することが可能である。また、異常やお知らせが発生した場合、タッチパネルに処置方法が表示されるため、都度取扱説明書を見る必要がなく、容易に対応することができる。

## 省エネルギー技術

### (1) 定格ボイラ効率の向上

イフリートビートは定格運転時のボイラ効率を従来機と比較して2ポイント向上させ、98%を達成した。形状の異なる3種類のヒレ付水管を燃焼排ガス温度に応じて配置することにより、熱回収の最適化を図り、更に大容量のエコノマイザを搭載することで、定格運転時のボイラ効率98%を達成している。

### (2) 電力ロスの低減

イフリートビートは押し込送風機および給水ポンプにインバータ駆動を標準装備した。押し込送風機の電力はボイラの消費電力のうち、約80%と大部分を占めている。インバータ制御を行うことで、低負荷領域では大幅な電力削減が可能である。インバータ制御の場合、ダンパ制御と比較して最低燃焼時には電力量を80%削減することができる(図2)。また、給水ポンプもインバータ制御を行うことで、電力量の削減を図ることができる。

### (3) 連続制御採用による部分負荷効率の向上

カタログで記載される効率は、ボイラが定格で負荷が静定している状態での効率である。ユーザでの消費蒸気量は一定でなく、多缶設置ボイラにおいては頻繁なボイラ発停があることから、実際の蒸気負荷に対するトータルのボイラ効率の把握は容易でなかった。

そこで蒸気負荷を任意に設定できる当社のボイラ運

転設備を利用して、PI制御(連続制御)のイフリートと三位置制御(断続制御)の小型貫流ボイラでの部分負荷における燃料使用量の違いを確認した。以下にその一例を示す。

比較するボイラはイフリート4000kg/h×2缶と当社製小型貫流ボイラ2000kg/h×4缶であり、両方とも合計の換算蒸発量は8000kg/hである。

図3に実機確認を行った蒸気負荷パターンを示す。負荷は実際蒸発量2000kg/hをベースに1分間で1000kg/hから最大3000kg/hの負荷の増減を与えた。このときの設定蒸気圧力は0.7MPa、ボイラの制御は台数制御装置で行った。

比較結果の一例を表2に示す。1時間あたりの発生蒸気は両機種ともおよそ3000kgであるが、燃料の使用量がイフリートの206.8m<sup>3</sup><sub>N</sub>に対し小型貫流ボイラでは221.2m<sup>3</sup><sub>N</sub>と多いことが分かる。

この燃料使用量の差のうち、最も大きな要因は、燃焼を停止する際のポストパージや再着火時のプレパージにより、ボイラが冷却されるため、余計に燃料を投入しなければならない点が挙げられる。

ボイラの発停が伴う多缶設置小型貫流ボイラの台数制御に比べ、連続制御と広いターンダウンを有するイフリートの方が部分負荷領域の燃料消費量に対して有効であることが確認できる。

ターンダウンとは燃焼の制御可能な範囲のことをいい、一般にバーナの定格燃焼量と、制御可能最低燃焼量の比で表される。ターンダウン比6:1の場合、ボイラ定格燃料量からボイラ定格燃料量の1/6の範囲において、連続して燃焼可能であることを示す。

比較に使用したイフリートはターンダウン比6:1、小型貫流ボイラはターンダウン比が2:1である。

### (4) ターンダウンの拡大

ポストパージ、プレパージによる損失を低減させるためには、ターンダウンを拡大し、ボイラの燃焼を停止させないことが必要である。そこで従来のターンダウン比6:1を更に向上し、ターンダウン比を10:1を達成した燃焼システムを開発した。

今回開発したターンダウン比10:1のバーナを装着した場合と、標準のターンダウン比6:1の場合で、燃料消費量の違いを確認した。以下にその一例を示す。

図4に実機確認の概略フローを示す。ターンダウン比10:1のバーナを装着したイフリート6000kg/hにて、最低燃焼量(ボイラ定格負荷の1/10)

で燃焼させ、ボイラ圧力が0.7MPaになるように蒸気制御弁の開度を固定する。以後、蒸気制御弁の開度は変更しない。この状態で燃料の積算量を測定する。

次に燃焼量をボイラ定格負荷の1/6に設定し、燃焼させる。この際、ボイラの燃焼はON-OFF運転(断続制御)となる。この状態で燃料の積算量を測定する。

測定結果を表3に示す。ボイラ定格負荷の1/10にて連続制御で燃焼した場合が $34.4\text{m}^3_{\text{N}}/\text{h}$ であるのに対して、ボイラ定格負荷の1/6にて断続制御で燃焼した場合は $39.6\text{m}^3_{\text{N}}/\text{h}$ となり、連続制御で燃焼した場合の方が、断続制御で燃焼した場合に比較して約13%の燃料削減効果があることがわかる。

#### (5) O<sub>2</sub>フィードバック制御

O<sub>2</sub>フィードバック制御とは、ボイラ出口排ガスの残存O<sub>2</sub>濃度を監視し、それがボイラの燃焼負荷に対してあらかじめ設定された値になるように、インバータを用いて送風機の回転数変化により空気量を調整する制御である。

以前より水管ボイラ、炉筒煙管ボイラ等の大型ボイラにおいてO<sub>2</sub>フィードバック制御は採用されていた。しかし、使用するO<sub>2</sub>センサは吸引測定式のものが多く、応答速度の遅いものが一般的である。保有水量が少ない貫流ボイラは、負荷が変動した際に、燃焼量の増減が多く、俊敏な制御動作が求められるため、従来の吸引測定式O<sub>2</sub>センサの貫流ボイラへの適用は困難であった。当社では、直接測定式のO<sub>2</sub>センサを採用することにより、貫流ボイラの燃焼量の増減に対しても適用可能とした。

ボイラの省エネに関する基準のひとつとして、省エネ法によりボイラの空気比について基準値が定められている(表4)。燃料を完全に燃焼させるためには燃料組成から計算で求められる理論空気量よりも多くの空気量(実際空気量)を必要とする。空気比は理論空気量に対する実際空気量の割合であり、以下の簡易式で表され、ボイラ出口排ガスの残存O<sub>2</sub>濃度より算出される。

$$\text{空気比}m = 21 / (21 - \text{残存O}_2\text{濃度})$$

この空気比は、一度調整を行っても空気の温度や気圧、湿度の変化により、空気の密度が変わるため、季節や環境により大きく変化する。

図5に空気温度による空気比の変化の予想線図を示す。基準となる空気比を1.20として、冬季の空気温度が10℃の際に調整をした場合は、夏季の空気温

度が40℃の際には空気比が1.08となり、空気量不足で不完全燃焼となるおそれがある。逆に、夏季の空気温度が40℃の際に調整をした場合は、冬季の空気温度が10℃の際には、空気比が1.33となり、必要以上の空気量を投入するため、ボイラ効率の低下、不要な電力の増加により、省エネの観点からは好ましくない。しかしながら、実際は安全の観点から、夏季に調整を行うのが一般的である。

次にこの空気比の変化がボイラの効率に及ぼす影響であるが、図6に各空気比におけるボイラ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。

おわりに

大量に化石燃料を消費するボイラのメーカーとして、省エネは至上命題であり、当社ボイラの性能向上が地球環境の維持・改善に直結しているものと考え。今後も省エネルギー・CO<sub>2</sub>削減を推進し、熱利用の最適化を目指した商品・サービスを積極的に開発することとともにユーザ毎のシステム要求に積極的に対応していくことで社会に貢献できるよう努力していきたいと考える。