

大型貫流ボイラの 省エネルギー最適システム



川重冷熱工業株式会社
技術統括室 ボイラ開発部
部長 神林 寿英

1. はじめに

当社の大型貫流ボイラ「Ifrite」(以下、イフリート)は、従来の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、設置工事期間の短縮による工事費削減が図れると共に、日常点検の手間や費用も削減でき、省メンテナンスを実現した。

また、イフリートの性能面ではPI制御(比例積分制御)をベースに、高効率とターンダウンの拡大も実現した。

更に、品揃え面ではエコノ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、柔軟

にユーザシステムの最適化に応じてきた。

本稿では、イフリートで採用している省エネルギー最適システム技術について紹介する。

2. イフリートの省エネルギーの特徴

ボイラに要求される本質的な性能特徴は、

- ① 蒸気圧力が安定していること
- ② 蒸気が少ないエネルギーで発生すること

であり、昔からその要求は変わらない。

現在のボイラ設備は、小型貫流ボイラの多缶設置が多く採用されている。この小型貫流ボイラは、機器単体の

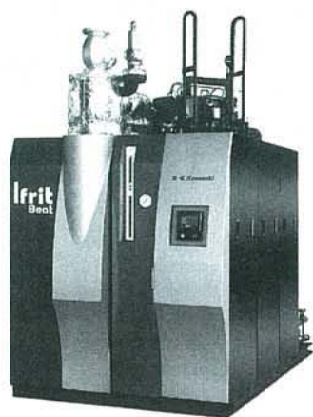


写真1 イフリートビートシリーズ

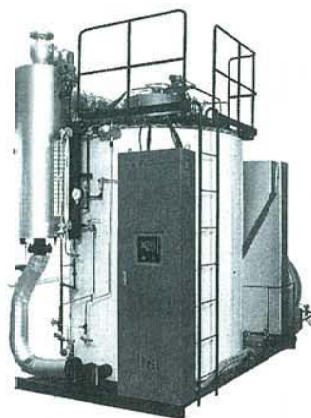


写真2 イフリートシリーズ

熱効率は高いが、断続制御方式に由来する課題に直面している。その課題としては、

- ① バーナをオフするとポストバーンや再着火のためのプレバーンの損失が増加する
- ② バーナの「高燃焼⇔中燃焼⇔低燃焼」の切替時に、発煙や未燃発生抑制として過渡的に空気過剰にする必要があり、排ガス損失が増加する
- ③ 停止待機中のドラフトによる熱損失（台数制御の場合）により、部分負荷効率が低下する

が挙げられる。

これらを改善するためには、

- ① ボイラ自身で効率の高い製品にする（高効率化）
- ② バーナターンダウンが広い製品にする（無駄な発停回数を抑える）
- ③ 発停の少ない台数制御運転にする（排ガス損失の低減）

が挙げられる。

(1) 蒸気圧力を安定化

小型貫流ボイラの燃焼制御は「高燃焼—中燃焼—低燃焼—燃焼停止」を断続的に繰り返す制御がほとんどである。これに対し、イフリートの燃焼制御はPI制御（比例積分制御：負荷に応じて設定値との偏差、偏差に応じた制御速度等を常時演算して操作量を連続的に制御する方法で、大型ボイラでよく採用されている）を採用し、負荷に応じて連続的かつ細やか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の断続制御である。即ち、「給水オフは給水量が0%、オン時は給水量が約150%」となり、給水を入れたり止めたりを繰り返す。これに対し、イフリートは給水制御にもPI制御を採用し、連続的な給水制御をしている。

小型貫流ボイラの制御方法は、断続的な燃焼制御と給水制御の組み合わせである。これらは断続的な制御であるため、お互いの制御（ボイラは給水で冷やされて、燃焼で暖められる）が外乱となって、蒸気圧力変動と水位変動を繰り返すことになり、蒸気圧力及びボイラ水位の安定性には限界がある。これは、給水による急冷却と、燃焼による急加熱の繰り返しによる余分な熱応力も発生し、ボイラ自身の寿命を縮める結果となる。

イフリートに採用しているPI制御は、連続制御であるため、「蒸気発生量＝燃焼入熱＝給水量」の平衡を行うことで、水位と蒸気圧力を同時に安定した運転が可能となる。また、熱応力も緩和され、ボイラ自身の長寿命も図れる。

図1に負荷静定時の蒸気圧力変化を示す。燃焼・給水共にPI制御を採用したイフリート6,000kg/h×1台の圧力変動幅と、燃焼制御が3位置制御、給水制御がON—OFF制御の当社製小型貫流ボイラ2,000kg/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。

(2) 電力ロスの低減

イフリートは、押込送風機及び給水ポンプにインバータ駆動を標準装備している。押込送風機の電力はボ

表1 イフリート主要要目表

ボイラ形成		IF-3000	IF-4000	IF-5000	IF-6000
規格分類		ボイラ			
取扱資格		ボイラー取扱技能講習修了者以上			
換算蒸発量	kg/h	3,000	4,000	5,000	6,000
実際蒸発量	kg/h	2,516	3,354	4,192	5,031
最高使用圧力	MPa	0.98、1.56、1.96、2.34			
燃焼制御	—	PI制御（比例積分制御）			
給水制御	—	PI制御（比例積分制御）			
FDI制御	—	INVによる回転数制御			
給水制御	—	INVによる回転数制御			
使用燃料	—	都市ガス13A／天然ガス／A重油／灯油			
ボイラ効率	%	ガス焚き98／油焚き95			
給水温度	℃	15～100（高温給水はオプション対応）			

注1)給水温度が15℃を超える場合のボイラ仕様値は実際蒸発量を正とする。
 注2)実際蒸発量は蒸気圧力0.49MPa、給水温度15℃で示している。
 注3)ボイラ効率は蒸気圧力の0.49MPa、給水温度15℃、吸気温度35℃を示している。

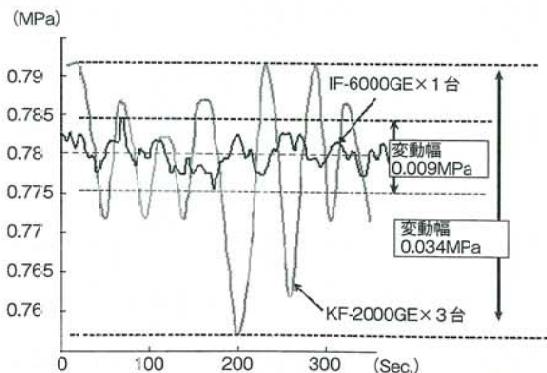


図1 蒸気圧力変化比較

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。図2に示すように、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。また、給水ポンプもインバータ制御を行うことで、電力量の大幅な削減を図ることができる。

(3) 部分負荷効率の向上

当社のガス焼きイフリートボイラは、ボイラ本体の熱回収の最適化と、大容量のエコノマイザを搭載することで、運転時のボイラ効率を98%とした。実際の運転では、部分負荷運転や低負荷運転による頻繁なボイラ発停がある。

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で、PI制御（連続制御）のイフリートと、3位置制御（断続制御）の小型貫流ボイラによる部分負荷における燃費の差を確認した。

比較するボイラはイフリート2缶と当社製小型貫流ボイラ4缶であり、両方とも合計の換算蒸発量は8,000kg/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。

また、比較結果の一例を表2に示す。1時間当たりの発生蒸気は両機種とも約3,000kgであるが、燃料の使用量がイフリートの206.8m³Nに対し、小型貫流ボイラは221.2m³Nと多いことが分かる。

この燃費差の最も大きな要因は、イフリートの連続制御燃焼が停止することなく運転しているためで、ポストバージや再着火時のプレバージによる余計なボイラ冷却が回避されて、燃費向上となった。

(4) ターンダウンの拡大

ターンダウンとは、燃焼可能な範囲のことであり、ボイラの最大燃焼量と燃焼可能な最低燃焼量の比で表される。ターンダウン比6：1の場合、ボイラ定格燃料量の1/6の燃焼量まで連続して燃焼可能であることを示す。このターンダウンが広いほど、燃焼をできるだけ停止させないということになり、ポストバージ及びプレバージによる損失が低減され、燃費が向上する。

当社は、従来のガス焼きイフリートボイラのターンダウン比を6：1から10：1に、油焼きイフリートボイラのターンダウン比を3：1から5：1に向上させた。

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を装着し

表2 比較結果

機種	種類	データ (kg, m ³ N)	運転時間 (h)	1時間当たりの負荷 (kg, m ³ N)
イフリート IF-4000AGE×2缶	蒸気流量	1,500	0.5	3,000
	ガス流量	103.4		
小型貫流ボイラ KF-2000GE×4缶	蒸気流量	1,510	0.5	3,020
	ガス流量	110.6		

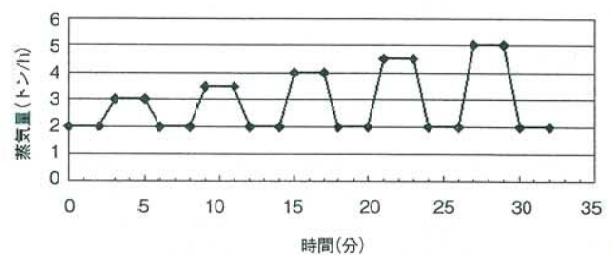


図3 蒸気負荷パターン

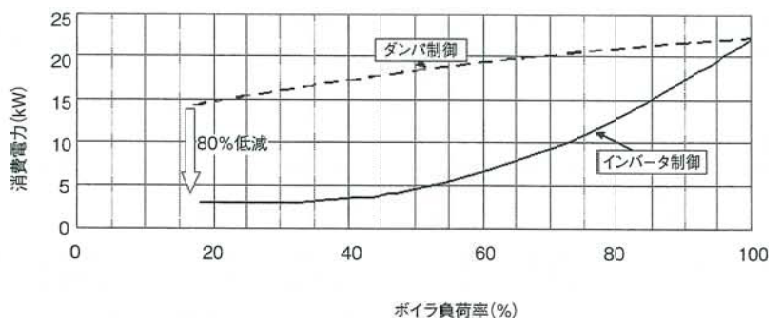


図2 押込送風機消費電力特性

た場合の燃費の差を確認した。まず、ターンダウン比 10:1のバーナを装着したイフリート(換算蒸発量 6,000kg/h)で、最低燃焼量(ボイラ定格負荷の 1/10)で燃焼させ、負荷を一定にした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に設定して燃焼させる。このときボイラの燃焼は必然的にCN-OFF運転(断続制御)となる。

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34.4m³/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39.6m³/hとなった。ターンダウンが広く、連続制御で燃焼した場合の方が約13%燃費が向上した。

(5) 排ガスO₂フィードバック制御システム

O₂フィードバック制御とは、ボイラ出口排ガスの残存O₂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。

水管ボイラ、炉筒煙管ボイラ等の大型ボイラでは、O₂フィードバック制御システムを既に採用されていた。しかし、貫流ボイラは負荷追従が俊敏であるため、従来のO₂センサでは応答速度が遅く、適用することは困難であった。

表3 測定結果

ターンダウン設定	10:1	6:1
ボイラ圧力	0.7MPa	0.57~0.88MPa
燃焼の状態	連続	CN-OFF
燃焼中の 瞬時燃焼量	34.4m ³ /h	57.6m ³ /h
積算燃焼量 (1時間当たり)	34.4m ³	39.6m ³
燃料削減率	13.1%	

表4 省エネルギー法基準空気比(気体燃料)

区分	負荷率 (%)	空気比	
		基準値	目標値
蒸発量が毎時 5トン以上 10トン未満のもの	50~100	1.2~1.3	1.15~1.25

当社では、ガス焚き貫流ボイラ用として、安価で簡単に装着できるO₂フィードバック制御システムを開発した。

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、ボイラの空気比における基準値が定められている(表4参照)。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O₂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、1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4に空気温度による空気比の変化の予想線を示す。基準となる空気比を1.20として、冬季の空気温度10℃時に調整をした場合は夏季の空気温度40℃時の空気比が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40℃時に調整をした場合は冬季の空気温度が10℃時の空気比が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、不要な電力が増加し、省エネの観点からは好ましくない。

この空気比の変化がボイラ効率に及ぼす影響について

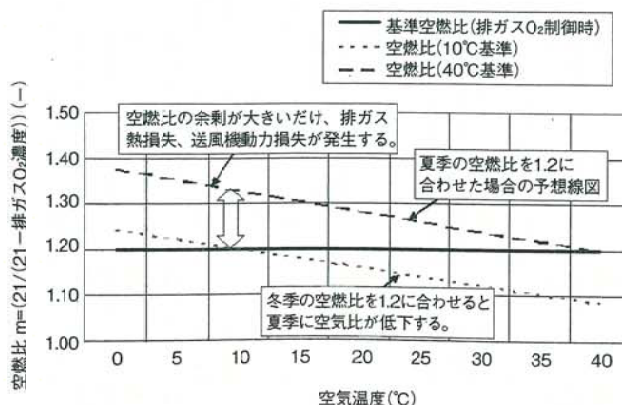


図4 空気温度による空燃比変化の予想線図

て、図5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5に示す条件により算出した。例えば、空気温度15°Cが条件で、ボイラ排ガス温度が130°Cの場合、空気比1.20時の排ガス損失は5.5%、空気比1.33時の同損失は6.1%となり、損失の差は

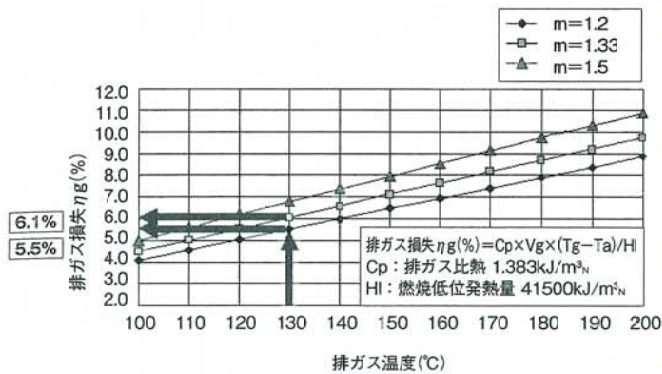


図5 ボイラ排ガス温度と排ガス損失の関係

0.6ポイントとなる。ここで、空気比制御を行い、空気比を1.20にO₂フィードバック制御すると、先述の損失の差がそのままボイラ効率の改善、即ち燃費向上となる。更に、燃焼用の空気動力も併せて低減できるため、電力消費量の面でも省エネルギーが図れる。

また、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、メンテナンス及び点検の負担が軽減できる。

3. おわりに

ボイラメーカーは、省エネルギー開発が至上命題であり、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する。今後も省エネルギー、CO₂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と共に、ユーザごと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く所存である。