

# PI (比例積分動作) 制御を行う大型多管式貫流ボイラ

川重冷熱工業株式会社  
ボイラ技術部  
課長 戸田 尹

## 1. はじめに

近年、省エネ・省力化を目的として、ボイラ設備においては、小型貫流ボイラの多缶設置が多くの実績を得ている。また、構造的に安全性が高いことから取扱資格の優遇処置や、監督官庁による定期検査免除処置など、事業者にとって使用しやすいものとなっている。反面、設置台数の増大に伴う取扱いの煩雑さや、負荷状況と複数缶制御の不適性による、実働ボイラ効率の低下など課題を抱えている。また、最高使用圧力0.98MPaを超えるものについては、小型ボイラの適用が受けられないため、多缶設置における課題面が大きくなる。しかし、従来機である水管ボイラや炉筒煙管ボイラは、その取扱資格者の高齢化、減少などにより事業者の負担も大きくなっている。そこで、小型貫流ボイラの長所を生かしつつ、「従来機のデメリットを解消し、環境保全、省エネ、省力化を実現する」とのコンセプトの下に商品化した大型貫流ボイラについて紹介する。

## 2. 大型貫流ボイラ「イフリートシリーズ」 主要目

当社では、小型貫流ボイラ多缶設置及び大型ボイラの代替機として従来にない特長を備えた「イフリートシリーズ」を開発した。その主要目を表1に示す。

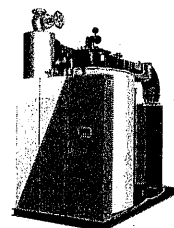


写真1 IF-6000GE (化粧ケーシング付OP.)

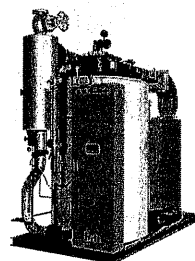


写真2 IF-6000GE (標準)

表1 大型貫流ボイラ「イフリートシリーズ」主要目

ボイラ形式	IF-3000(G)E	IF-4000(G)E	IF-5000(G)E	IF-6000(G)E
規格分類 (取扱資格)	ボイラ (ボイラ取扱技能講習修了者)			
換算蒸発量 (kg/h)	3000	4000	5000	6000
実際蒸発量 (kg/h)	2535	3380	4225	5070
最高使用圧力 (MPa)	0.98、1.56、1.96、2.35、3.2			
常用圧力 (MPa)	0.49~2.85			
伝熱面積 (m <sup>2</sup> )	18.3	18.3	29.6	29.6
ボイラ効率 (%)	96 (95)			
燃料	13A都市ガス (A重油、灯油)			
制御方式	(燃焼)	比例積分動作 (制御範囲17~100%) (30~100%)		
	(給水)	オン・オフ (最高使用圧力0.98MPa) 比例積分動作 (最高使用圧力1.56MPa以上)		
NOx (O <sub>2</sub> =0%) (ppm)	60 (150)			

備考) ボイラ効率は、蒸気圧力0.49MPa、給水温度20℃、吸気温度35℃として表示しています。

### 3. イフリートの特長

#### (1) 大容量・高効率・取扱資格

最大蒸発量6000kg/h (HF<30m<sup>2</sup>小規模ボイラ)

多管式貫流ボイラでは史上初の大容量を実現、小型貫流ボイラユーザへは、高効率及び設置台数軽減による省エネ・省力化メリットを、大型ボイラユーザへは、取扱資格軽減による利便性とボイラ効率96% (ガス焚き) の省エネメリットを提供できる。

貫流ボイラは構造的に安全性が高いことから、伝熱面積30m<sup>2</sup>以下のものについては取扱資格の軽減処置が受けられる。これは複数缶設置した場合でも適用され、設置台数に関係なくボイラ技師免許は不要であり、「ボイラ取扱技能講習」修了者で取扱うことができる。

#### (2) 蒸気圧力PI制御

蒸気負荷に見合った燃焼量で合理的安定的に制御するため、蒸気圧力は常に一定値に保持され、図1に示す如く負荷変動にも強い。更に蒸気品質が向上すると共に、伝熱面への負荷も軽減され小型貫流ボイラに比べ缶体は大幅に長寿命となる(15~20年以上)。

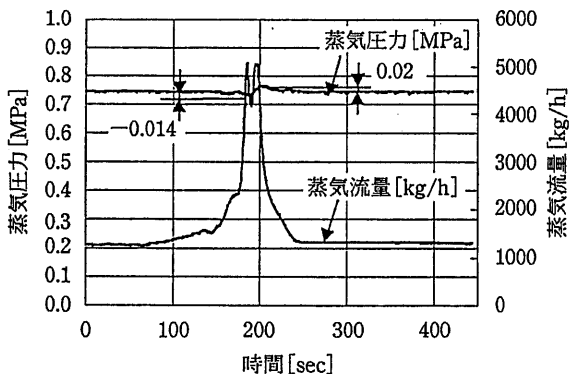


図1 負荷応答特性

#### (3) 広域高効率連続制御

多管式貫流ボイラでは史上初めて、バーナターンドアウンを6:1まで広げること成功(ガス焚き)。蒸気量1000~6000kg/hまでバーナをオンオフさせることなく追従できる。これにより小型2000kg/h多管貫流ボイラの多缶設置台数制御の場合に生じるパーシ損失やバーナオンオフ時の遅れも解消でき、小型ボイラ多缶設置に比べて実働

部分負荷におけるボイラ効率を大幅に向上させることができる。

#### (4) 給水PI制御・高圧ドレン回収

水位制御もPI動作による連続給水制御を実現している(多管式貫流ボイラ史上初)。給水ポンプをオンオフさせる必要がなく高圧仕様へ無理なく対応できる。特に、高圧ドレン回収では回収率100%でも、エコマイザを設置することができるため、ボイラ効率を91%まで上げることができ、従来の多管式貫流ボイラの場合に対し、大幅な省エネメリットを得ることができる。また、大型ボイラの場合に対しても、高圧ドレン回収時は従来エコマイザを設けていないため同じことが言える。

#### (5) 高圧仕様

最高使用圧力は3.2MPaまで対応可能である。標準設定している圧力は、3.2、2.35、1.56、0.98MPaであるが、1.96MPaにも対応する。高圧仕様におけるボイラ形式選択肢としては、水管ボイラまたは貫流ボイラであるが、イフリートシリーズは水管ボイラ並みの高級制御を行いつつ、取扱簡便、高性能で小容量・高圧用途にも最適の機種と考えている。

#### (6) 低公害・省電力・低騒音

ガスバーナは分割火炎自己再循環型を採用し、標準仕様としてNO<sub>x</sub>=60ppm (O<sub>2</sub>=0%換算値)以下である。押込送風機のインバータ制御を行うと、最低燃焼時電力は定格時に対し約1/10まで低減することができる。また、最低燃焼時の騒音値は定格時に対し約9dB低減できる。

### 4. 台数制御と大型ボイラとの協調制御

IF-6000GEにおいては、単機でも小型2000kg/hの多缶設置を凌ぐ負荷制御範囲を有し、負荷変動に対する追従性についても大型ボイラに匹敵する優れた特性を持っているが、これを複数台設置し台数制御を行い、更に、大容量の設備に対応することもできる。

#### (1) PI (比例積分動作) 台数制御

多管貫流ボイラの台数制御は既に多くの実績を有し、広く世に受け入れられているところである。

しかし、これらは全て、バーナ3位置または4位置制御（断続制御）を行うボイラが対象である。イフリートシリーズのバーナは全てPI制御を行っているため、台数制御装置もPI動作で燃焼量を制御する。以下にその特長を紹介する。

① 大容量対応が可能

最大蒸発量96t/h（IF-6000×16缶）までの制御を標準化している。単缶の最低連続燃焼時の蒸発量から設置缶数の合計最大蒸発量まで、例えばIF-6000GE×5缶を例に挙げると1～30t/hまでを蒸気圧力一定で使用することができる。その間当然燃焼缶数の変更が必要であるが、燃焼缶数の影響を受けることなく一定の圧力で蒸気を供給することができる。従って、断続制御ボイラの台数制御のように燃焼量または燃焼台数を切替えるための圧力切断差を設ける必要はなく、また擬似比例的台数制御時のオフセットも生じないため、ボイラ最高使用圧力に対する常用圧力を高く設定することができる。

② バーナオンオフが少なくボイラ部分負荷効率が高い

単缶におけるバーナターンダウンが広いため、必然的に台数制御時のバーナオンオフ回数が減少する。その結果、パージ損失が減少し5項に示す如く部分負荷効率を向上させることができる。

③ 制御範囲が広く負荷変動に強い

ガス焚き多缶設置においては全設備容量の1/6まで全缶燃焼状態を継続できるため、例えばIF-6000GE×5缶の場合換算蒸発量5～30t/hの範囲はバーナオンオフさせる必要はない。そのため負荷変動に対する安定した追従性を有している。図2は設備容量24t/hのもので突変負荷変動を与えた時の圧力変動を示す。最大負荷変動幅は約70%（対設備容量）であるが、十分な追従性を確認している。

(2) 協調PI台数制御

水管・炉筒煙管ボイラの既納ユーザを多数抱える当社としては、これら既設ボイラを有効活用しつつイフリートシリーズとの併設において、より省エネ、省力化に寄与していきたいと考えている。

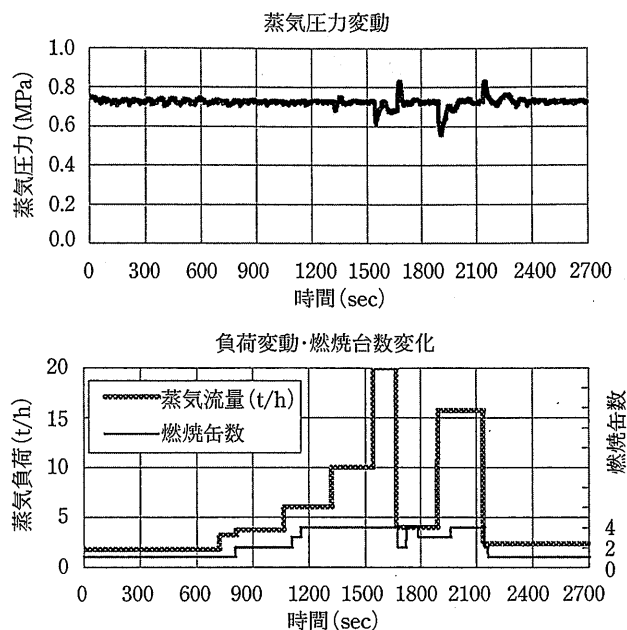


図2 PI台数制御蒸気圧力変動

協調PI台数制御はこれを目的として開発したものである。標準仕様で最大設備容量192t/h（換算蒸発量）まで制御することができる。この場合も1～192t/hまで蒸気圧力一定で制御できる特長を有している。

5. ボイラ運転効率の比較

バーナ3位置制御の小型貫流ボイラを3缶設置し、台数制御を行った場合の、各負荷に対応する各ボイラの燃焼状態を図3に示す。縦軸は各ボイラの低燃焼：L、高燃焼：Hを示し、白抜き部は連続燃焼、ダブルハッチング部はバーナオンオフ繰返し、ハッチング部はH⇄L繰返しを表す。横軸は、ボイラ1缶当たりの定格蒸発量を100%とした負荷率を示す。また、斜線は各燃焼量に対する蒸発量で、①は給水オフ中の特性を、②は給水オン中の特性である。一般的には負荷率150%以上ではバーナオンオフするボイラは生じないと考えがちであるが、給水オンオフの影響により負荷率190%付近で3rdボイラがオンオフする。また、負荷率200%以上でも2ndボイラを高燃焼で継続させることはできず、全負荷域で2缶以上のH⇄LまたはH⇄L+オンオフが生ずる。

バーナをオフすればポストパージや再着火のためのプレパージが必要で、このためのパージ損失が生

じる。バーナH⇔Lの切替時も発煙防止や未燃分発生抑制のため過渡的に空気過剰とする必要があり、排ガス損失が増加する。実働ボイラ効率としては、ブロー損失を別にしてもこれらの損失が現れ公称値よりも低下する。これらの損失を加味し、IF-6000GE×2缶と3位置制御小型ボイラ6缶の台数制御時の場合の実働効率を計算した結果を表2に示す。計算例の負荷率は40%、ボイラ効率公称値はいずれも96%である。イフリートの効率が約3.0%高くなっているが、図4に示す如くイフリートでは部分負荷（連続燃焼領域）における効率が定格時のそれを上回ってくるのに対し、小型ボイラ台数制御では前述の如くH⇔Lまたはオンオフが生じ排ガス損失またはパージ損失が増加するため、部分負荷効率は定格時のそれを下回ってしまう。

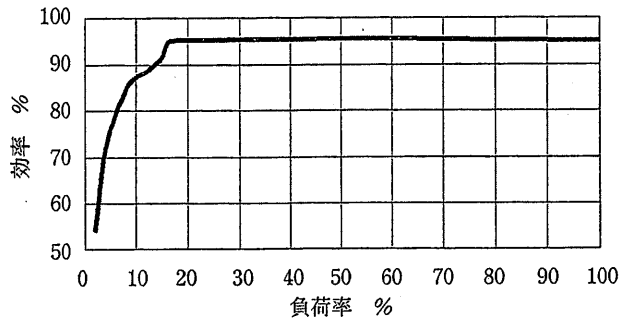


図4 ボイラ予想効率特性

## 6. おわりに

イフリートシリーズは小型貫流ボイラの多缶設置に対し、実働効率の向上、設置缶数削減による保守費の削減、長寿命化によるライフサイクルコストの削減、ひいては省資源化を可能にする優れた特長を有している。この特長を更に低コストでご提供し、より社会に貢献できるよう努力していきたいと考えている。

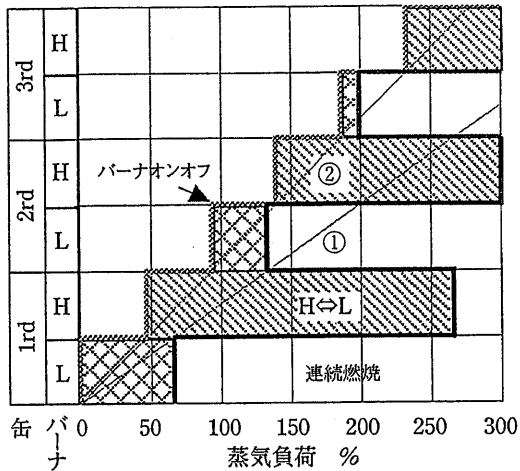


図3 蒸気負荷とバーナ燃焼

表2 実働ボイラ効率比較

ボイラ形式	小型2000 ×6缶	IF-6000GE ×2缶
設備容量 (換算蒸発量) (t/h)	12	
蒸気負荷 (実際蒸発量) (t/h)	4	
ボイラ効率公称値 (%)	96	96
実働ボイラ効率 (%)	93.8	96.8

蒸気圧力0.49MPa、給水温度20℃、吸気温度35℃、全缶暖缶運転とする。