

大型貫流ボイラ 『イフリート』シリーズ

川重冷熱工業株式会社

技術総括室 ボイラ技術部

村田 哲彦

はじめに

ボイラ設備において、小型貫流ボイラは取扱資格や、法定検査の関係で事業者にとって利便性が良いことから一般産業分野で多く採用されている。反面、大容量負荷に対応する小型貫流ボイラの多缶設置の場合、保守費用の増加、簡易な制御方式であることから、実働熱効率の低下などの課題がある。

一方、水管ボイラなどの大容量ボイラは燃焼・給水制御にPI（比例積分）制御を採用するなど高い性能を有するが、資格・検査の面で利便性が劣ることから需要は減少している。

本稿では、小型貫流ボイラの利便性と大容量ボイラの高機能・高性能を合わせ持った大型貫流ボイラ『イフリート』、さらに、2009年4月に販売を開始した、最高使用圧力0.98MPa仕様で『イフリート』の姉妹機種である『イフリートビート』シリーズについても紹介する。

『イフリート』の特徴

(1) 容量・取扱資格

イフリートは換算蒸発量6000、5000、4000、3000kg/hをシリーズ化している。表1にイフリアートの要目を示す。さらに最大16缶を同時に制御できる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が可能である。バーナのターンダウンは6:1（13Aガス焚き）を達成しているため、換算蒸発量1000~6000kg/hまでバーナをON-OFFさせることなく追従できる。このターンダウンの広さが部分負荷（ボイラの実働部分負荷運転領域）においても高いボイラ効率の維持に有効な技術となっている。

貫流ボイラは保有水量が少ないことから伝熱面積30m²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。これはボイラの最高使用圧力やボイラを複数台設置した場合でも適応される。つまり、3.2MPaの高圧ボイラであっても、そのボイラの設置台数に関係なくボイラ一技士免許は不要であり『ボイラー取扱技能講習』修了者で取り扱うことができる。

表1 イフリート要目（13Aガス焚き）

換算蒸発量	kg/h	6000, 5000, 4000, 3000
ターンダウン	—	6:1
伝熱面積	m ²	30以下
最高使用圧力	MPa	0.98/1.56/1.96/2.35/3.2
ボイラー区分	—	小規模ボイラー
取扱資格	—	ボイラー取扱技能講習修了者
制御方式	—	燃焼:PI制御 給水:PI制御

(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が採用されている。これに対してイフリアートの燃焼制御は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、対してイフリア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。

イフリア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。

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アート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、イフリア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。

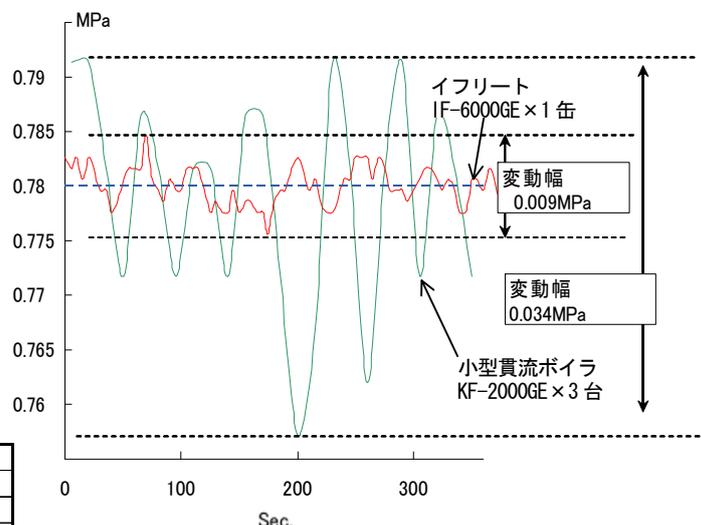


図1 負荷静定時の蒸気圧力変化

(3) 部分負荷効率の向上

カタログ等に記載されるボイラ効率の仕様値はすべて定格運転条件での数値である。しかし、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(図2、3)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。

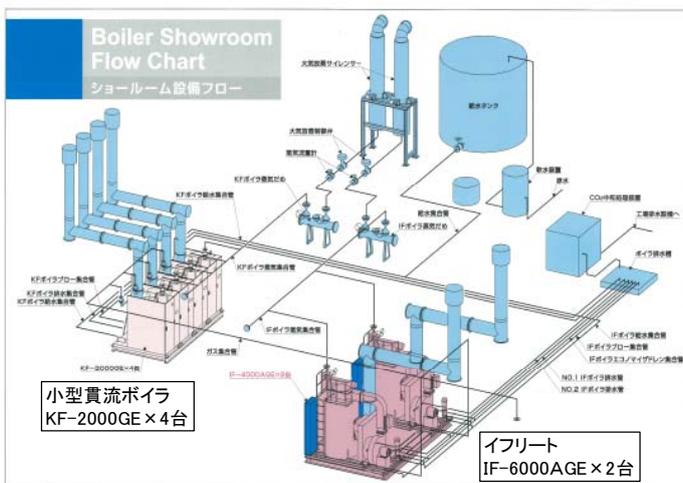


図2 ボイラ運転設備(設備フロー)



図3 ボイラ運転設備(外観写真)

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気量は8000kg/hである。

図4に実機確認を行った蒸気負荷パターンを示す。負荷は実際蒸気量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。

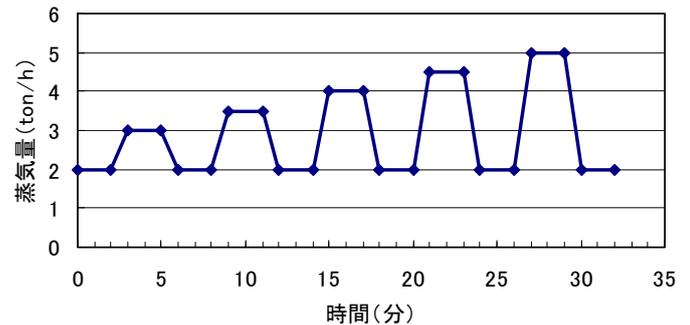


図4 蒸気負荷変動パターン

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206.8m³_Nに対し小型貫流ボイラでは221.2m³_{N}と多く、ボイラ効率の差で比較すると5.6ポイントもイフリートの方が良いことが分かる。}

これは、以下に挙げる項目により小型貫流ボイラの部分負荷効率が低下したものと考えられる。

- ① 燃焼を停止するとポストパージや再着火時のプレパージの損失が増加
- ② バーナーの高燃焼⇄低燃焼の切替時に、発煙や未燃分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
- ③ 発停による蒸気の質(乾き度)低下に伴う熱損失の発生
- ④ 停止待機中のドラフトによる熱損失の発生

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。

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)	ボイラ効率 (%)
イフリート IF-4000AGE × 2缶	蒸気流量	1500	0.5	3000	95.4
	ガス流量	103.4		206.8	
小型貫流ボイラ KF-2000GE × 4缶	蒸気流量	1510	0.5	3020	89.8
	ガス流量	110.6		221.2	

(4) イフリースの適用例

①高圧ドレン回収システム

イフリースの特徴を活かしたシステムとして高圧ドレン回収システムが挙げられる。ドレン回収システムは蒸気使用設備から排出された使用済み蒸気の高圧ドレンをボイラ給水として回収するシステムである。高圧のドレンは、特に高いエンタルピを有するため、その回収率は燃料原単位に大きく影響を及ぼす。

従来から高圧ドレン回収を行っている代表的な負荷機にはコルゲートマシン、抄紙機、フライヤー、ゴム加硫器等が挙げられる。これらは使用した蒸気をほぼ100%高圧ドレンとして排出する機械で、高圧ドレン回収を行うことにより、その省エネルギー効果を得やすい。

コルゲートマシンを例にとると、その必要蒸気圧力はおよそ1.27MPaであり、かつ高圧のドレン回収を行うため、水管・炉筒煙管ボイラが使用されてきた。高い回収率でドレン回収を実現するのに必要な条件としては、①ボイラの容積(水側)が大きく、回収ドレンの変動を吸収できる。②ボイラの給水・燃料流量が安定しており、かつ系の流量変動が小さいことが挙げられる。水管・炉筒煙管ボイラが使用されてきたのは①の理由によるためである。

一般的な燃焼三位置制御、給水ON-OFF制御の貫流ボイラを採用した場合、前述のとおり、給水ON-OFFが外乱となり、圧力変動・負荷増減・水位変動が必ず発生する。

ドレン回収を行う場合、給水OFF時は高圧ドレンが余ってしまう。それを溜め込むタンク(ドレン回収タンク)がない限り、給水タンクへ放出する以外になく、通常、給水タンクは大気開放であるから、回収ドレンの温度あるいは回収率が高い場合、余剰熱量が給水タンクから排気蒸気として大気中に放出され無駄が生じる。この無駄を無くすために一般に燃焼三位置制御、給水ON-OFF制御の貫流ボイラにおいてはドレン回収タンク(第一種圧力容器に該当)を用いて回収ドレンの変動を吸収している。

イフリースはボイラ水位制御をPI制御としているため、ボイラ水位は安定し、かつ、給水も連続して行われるため、蒸気圧力及び回収ドレンシステムの圧力並びに流量も水管ボイラ並の安定が得られる。そのため、ボイラ蒸発量と回収ドレン流量は、ドレン回収率で表される一定の関係を持続でき、回収ドレンを遅滞なくボイラへ給水することが可能である。その結果、系の流量変動を吸収するためのドレン回収タンクを省略しても高いドレン回収を維持することができる。

これは、水管・炉筒煙管ボイラにおいては特筆すべきことではないが、イフリースの場合は、貫流ボイラであってもそれと同等の装置の簡素化と、同時に高い回収率を実現することが可能である。

また、高圧ドレンをボイラに直接回収しようとする場合

に、給水をON-OFF制御とすると、給水が停止した時、エコマイザで蒸発が発生しウォーターハンマ現象を招く。さらに燃焼三位置制御では給水OFF状態で最大燃焼となる組み合わせも有り得るため、ウォーターハンマ現象を避けることはできない。このため、エコマイザを省略することが行われるが、ボイラ効率はおよそ87%まで低下することになる。

イフリースの場合は、燃焼・給水制御ともにPI制御を採用しており、コルゲートマシンが運転している間は、その蒸気負荷に見合った給水量を安定かつ連続して供給できるため、回収ドレンもエコマイザを経てボイラ本体に供給することが可能である。このため、ドレン回収率がほぼ100%でもエコマイザを使用することが可能である。

図5に回収ドレン圧力が1.27MPa、ボイラの蒸気圧力が0.78MPaでのドレン回収率-ボイラ効率の関係を示す。エコマイザを使用することで90%程度のボイラ効率を確保することが可能である。

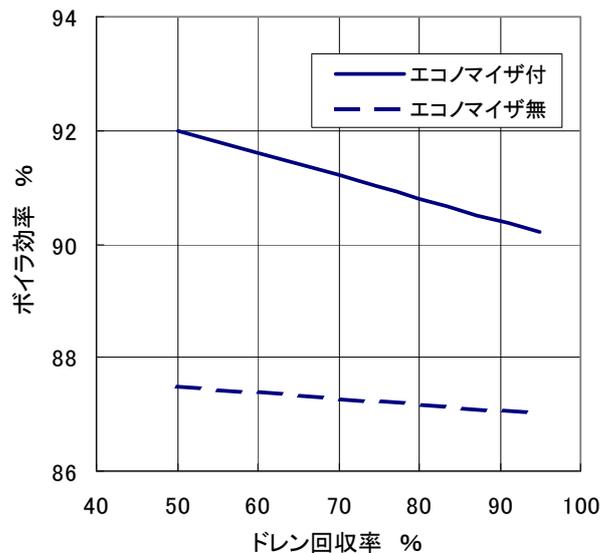


図5 ドレン回収率-ボイラ効率

②コージェネバックアップシステム

貫流ボイラの特性的の一つである起蒸の速さと、イフリースの高追従性および少缶設置による保守作業・費用が低減できるメリットで特に大容量のコージェネ設備におけるバックアップボイラとして導入事例が増えてきている。

コージェネ排熱ボイラのバックアップはコージェネが正常運転の場合、ほとんど蒸気を発生することがなく、いざコージェネが緊急停止した場合、すばやく起蒸し、蒸気利用プロセスへ影響を与えないことが要求される。蒸気利用プロセスの影響度はユーザによりさまざまであり、その要求の度合い(たとえば供給する蒸気圧力に下限値がある)によりバックアップ待機状態の制御設定を行う。

コージェネ正常運転時は、イフリース台数制御の設定蒸気圧力をLow設定(通常、蒸気ヘッダ圧力より低く設定)

とする。この場合排熱ボイラからの蒸気により、蒸気ヘッド圧が台数制御設定圧より高く維持されるため、イフリーストは燃焼する缶数が減少する。そこで最低負荷で燃焼を維持させておくイフリーストの缶数を設定し、コージェネ緊急停止時のすばやく起蒸に備える制御を行っている。また、自動ローテーション機能により順次燃焼させる缶を変更することで、すべての缶が待機状態となり、よりすばやく起蒸が可能となる。

コージェネ緊急停止時には、コージェネ側から異常信号を台数制御装置に受け入れることで、ヘッド圧が下がり始

める前に各ボイラに対し制御を行うことができる。図6ではコージェネ緊急停止により台数制御の設定蒸気圧力がHi設定（通常運用の蒸気ヘッド圧より高く設定）に変更する例を示す。台数制御の設定蒸気圧を高く変更することで、各ボイラはすばやく順次立ち上がり、蒸気ヘッド圧を必要以上に下げることなく、プロセス負荷の担当をスムーズにイフリーストに変更させることができる。ボイラの立ち上がり間隔や台数の設定を最適値に調整することで各ユーザ要求の最低蒸気圧力をキープするバックアップ制御が可能となる。

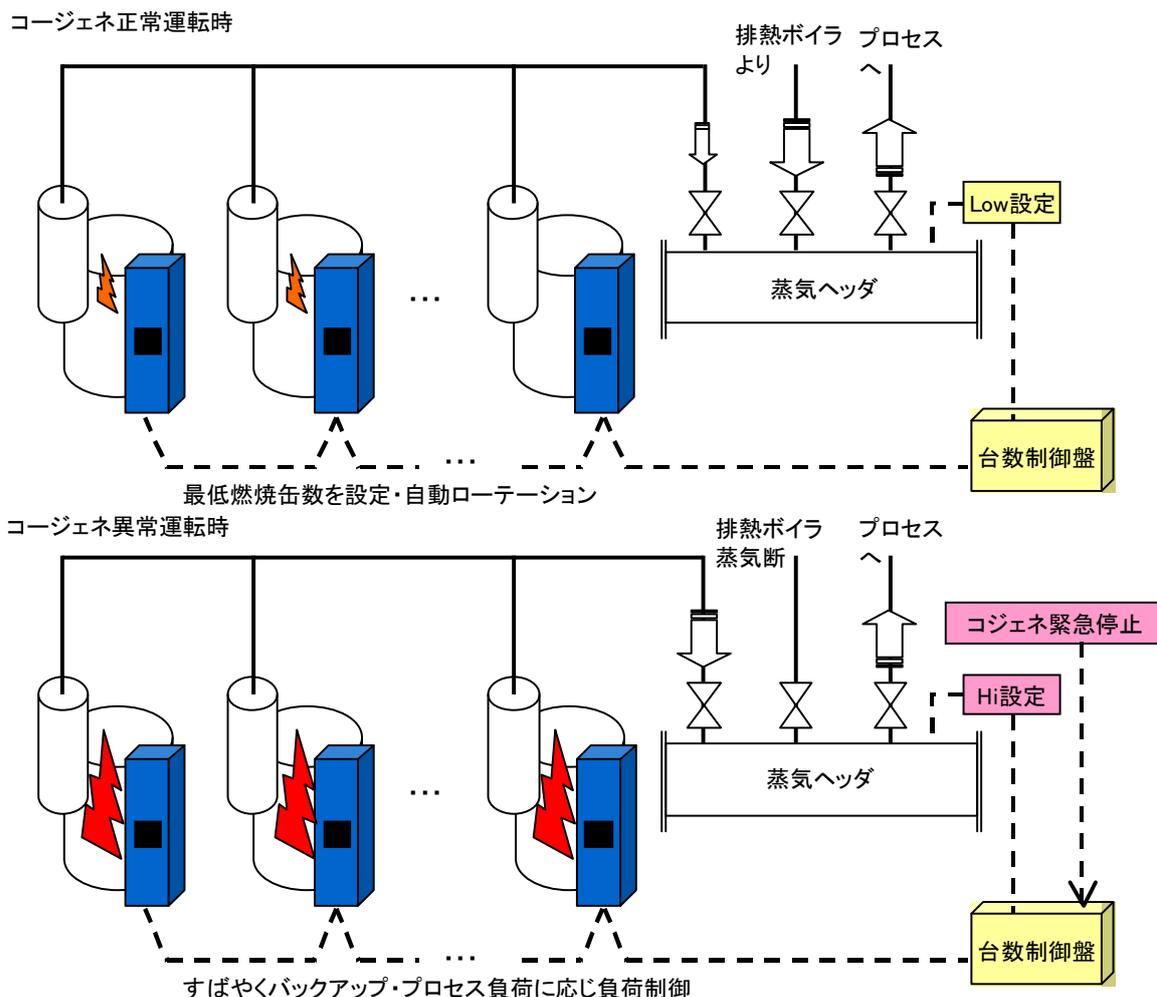


図6 コージェネバックアップ制御の概略フロー

『イフリーストビート』の紹介

前述したイフリーストの優れた特徴を引き継ぎながら、最高使用圧力0.98MPa仕様最適化し、更なる高効率化を実現した新シリーズ『イフリーストビート』をラインナップしたので紹介する。

(1) イフリーストビートの特徴

① 抜群の省エネルギー

新開発の高性能コンパクト缶体を採用することにより、ボイラ効率を従来の96%から98%へ2ポイント向上させ、業界トップクラスの高効率を有している。

従来のイフリーストから引き継いだ燃焼PI制御による高い部分負荷効率により、下記の条件でメリットを試算すると、三位置制御の当社製小型貫流ボイラと比べ、年間燃料費は年間700万円の削減、CO₂排出量では200ton-CO₂の削減が可能となった。(図7、8)

年間燃料費、CO₂排出量ともに約6%削減することになり、これは従来型イフリーストの持つ同比約4%という削減率を2ポイント向上させている。

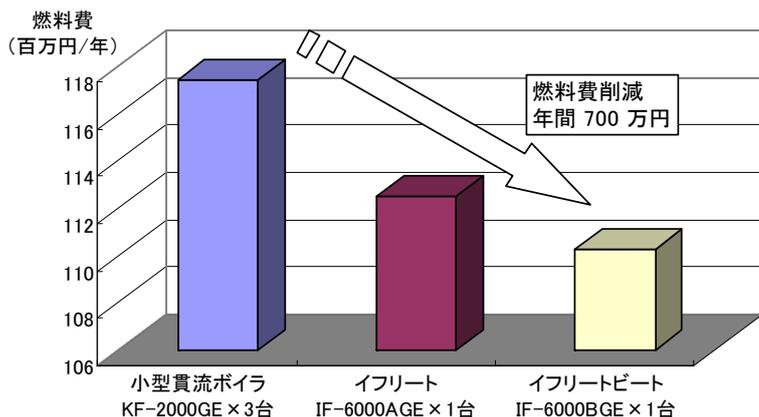


図7 年間燃料費

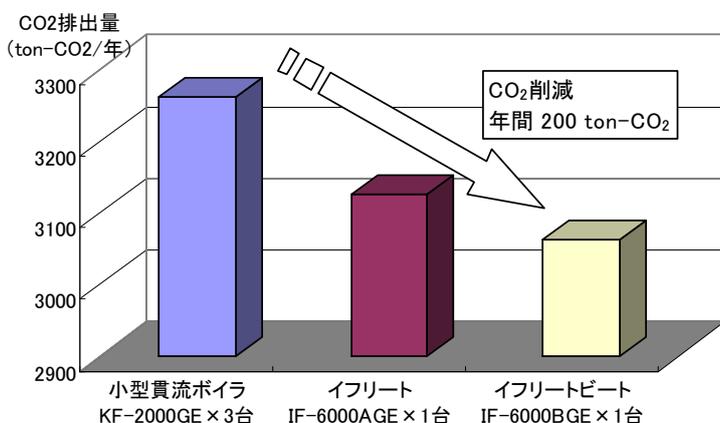


図8 年間CO₂排出量

<計算条件>

年間運転時間：7200h、平均負荷率：60%、
CO₂ 排出係数：0.0513kg-CO₂/MJにて算出

②コンパクト

ボディデザインを一新し(図9)、設置スペースを当社の小型貫流ボイラと比較して約25%低減させている。

③簡単な操作

操作性を重視して、操作部に液晶カラータッチパネルを採用し直感的な操作を実現している。また、LED状態表示灯を採用し、遠くからでも誰にでもボイラの状態が把握することが可能である。

おわりに

イフリートは、貫流ボイラでありながら、従来の水管ボイラや炉筒煙管ボイラの優れた圧力制御と小型貫流ボイラの起動性能、扱いやすさ等の長所を取り込み、最大6000kg/hの大容量で多缶設置時の台数を減少することが可能となり、省メンテナンスを実現した高効率ボイラである。イフリートは2000年の発売以来、順調に稼働し納入台数も年々増加している。

イフリートビートはイフリートの優れた特性を受け継ぎながら省エネルギー性能を向上させたボイラである。このイフリートビートを軸に、従来技術の改善と新技術の開発を行い、今後も積極的に省エネルギー推進を展開していく所存である。

以上



図9 イフリートビート外観