

特集／ボイラを取り巻く最新動向

中規模貫流ボイラの複数台設置による有効性について

小型貫流ボイラの利便性と、大容量ボイラの高機能・高性能を併せ持った中規模貫流ボイラの複数台設置による省エネの方法、また中規模貫流ボイラの今後の動向について解説していただいた。(編集部)

川重冷熱工業(株) 技術総括室 ボイラ技術部
神林 寿英

1. はじめに

温室効果ガスの削減が全世界で推進されている中、日本でも目標達成を包含した省エネ法が改正された。また、エネルギーの高騰により、産業部門では燃料資源の有効利用を図ることが求められている。ボイラは、産業部門において非常に大きなCO₂排出源となっており、いかにこれを削減するかが課題となっている。

近年のボイラ動向では、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設置台数は減少している。

一方、小型貫流ボイラは、省スペース、多缶設置、また無資格で運転できる利便性により主流となった。しかし、使用蒸気量が6000kg/h以上になる中規模以上のユーザにおいては、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雑が問題になっている。

そこで、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・高性能を併せ持った中容量ボイラ(以後、中規模貫流ボイラと称す)について、さまざまな視点から紹介する。

2. 現状の課題とその改善点

2-1 小型貫流ボイラの多缶設置時の実質効率

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。これらは、取り扱い資格、法定検査免除などにより、事業者にとって利便性が良いことが関係している。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、保守費の増加・簡易な制御方式による実働熱効率の低下などの課題がある。機器定格点の熱効率は高いが、蒸気量の変動に対し、ボイラが起動・停止を頻繁に繰り返すことのパーズ損失、発停にともなう蒸気の質低下による熱損失は避けられない。

図-1は単機でのPI制御(連続燃焼)と小型貫流ボイラに多い三位置制御(断続燃焼)の効率を負荷に対して示したものである。

三位置制御による課題は、

- ① バーナをオフするとポストパーズや再着火のためのプレパーズの損失が増加。
- ② バーナの高燃焼⇔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。

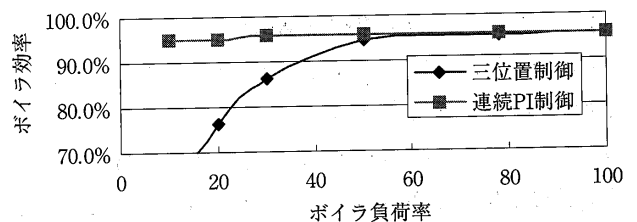


図-1 連続PI制御と三位置制御の部分負荷効率比較

- ③ 発停に伴う水位変動による蒸気の乾き度低下。
- ④ 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。

などが挙げられる。また、設置台数が増えると、

- ① 交換部品点数の増加。
 - ② 設備全体の配管，配線，取付け機器の複雑化。
- なども挙げられる。

2-2 改善点

これらの改善のポイントとして、

- ① 単体機器で効率の高い製品にする。（高効率製品による優位性）
- ② 適切な複数台となるボイラ容量の製品にする。（無駄な発停回数を抑えることと、メンテや交換部品を抑えることの優位性）
- ③ 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ことの優位性）
- ④ 断続的な給水による燃焼量増減の外乱を防止する。（蒸気の質向上のため）

- ⑤ 多缶設置の台数制御は、全缶が発停の少ない連続運転の比例追従制御とする。（蒸気の質向上のため）

2-3 適切な複数台数となるボイラ容量の開発

10～60t/hの領域を適切な複数台数となるように、換算蒸発量を中容量の4～6 t/hを主流としている。

多数の小型ボイラが頻繁に発停することの熱損失の防止，すなわち，部分負荷効率の改善を目的とし，これらを解決するために，大型水管ボイラ相当の高性能，高機能（燃焼・給水ともにPI制御）および取り扱い簡便な小型貫流ボイラの両者の長所を持たせた中容量の「中規模適用の多管貫流ボイラ」が適切と判断した。

なお，ターンダウンの部分負荷効率を維持するためにも，最大容量は6 t/hとし，多缶設置が市場設備に合致していると考えられる。

2-4 給水と圧力の連続PI制御

給水の断続制御の課題は，蒸気の質と考えられる。小型貫流ボイラの給水は断続制御が多く，給水オフ時は0%，オン時は120～180%の給水を繰り返すが，一方，燃焼量は三位置制御で，0～50～100%の繰り返し（最近では0～25～100%の繰り返し三位置制御が出現している）で，これらは各々関連なく動作する。この出入

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り，水位が変動することで，蒸気の質低下による熱損失がともなう。

すなわち，蒸気中の飽和水は顕熱であるが，蒸気の質低下は，蒸気配管でドレンとして排出され，有効に使われない熱損失となり熱効率が約3%程度低下する場合がある。

この解決を目的として，燃焼・給水ともにPI制御とし，発生蒸発量＝燃焼入熱＝給水流量の平衡を行うことで水位を安定させ，蒸気の質も安定し，高い乾き度が維持できた。その結果，部分負荷で発生しやすい蒸気の質低下による熱損失の改善に効果があった。

2-5 PI台数制御の開発

多管貫流ボイラの台数制御は，広く世に受け入れられているが，これらは断続の台数制御（三位置）である。単機で連続制御に優位性があることは前述のとおりであるが，複数設置の台数制御においても，連続制御（PI制御）とすることが部分負荷効率の大きな改善となる。

三位置台数制御で燃焼しているボイラは，高燃焼⇔低燃焼の移行を優先し，できる限り発停させない制御ロジックとなっているが，全容量の1/4負荷以下に低減するとバーナは頻繁な発停を始める。

一方，比例制御の場合は，全容量の1/6負荷（16%）に低減するまでは，燃焼しているボイラを継続燃焼し，高い効率を維持する。台数制御時のオンオフ回数が減少することで，部分負荷効率が著しく向上できる。

3. 中規模貫流ボイラの実証検証

3-1 容量・取扱い資格

市場では，中規模貫流ボイラは換算蒸発量7 t/hまで拡大している。当社では表-1のとおり，市場設備の総合効率から6 t/hまでとし，省スペースと熱効率の向上を主としている。

台数制御装置と組み合わせることで，小容量ボイラ（小型貫流ボイラ）よりも少ない台数で大容量ユーザにも対応が可能である。ボイラ単体の燃焼ターンダウンは6：1（13Aガス焚き）を達成しているため，換算蒸発量6 t/hの場合，1～6 t/hまで燃焼制御をON -

表-1 イフリート要目

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
ボイラ区分	-	小規模ボイラ
取扱資格	-	ボイラ取扱技能講習修了者
制御方式	-	燃焼：PI 制御 給水：PI 制御

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。

また、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、取り扱い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、0.98MPaを越える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。

3-2 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前述のとおり、断続制御である三位置制御と、給水制御は、前述のとおり、給水ポンプON - OFFによる断続制御が採用されている。これに対して、燃焼制御と給水制御がPI制御になると、負荷に応じて連続的に燃焼量を制御され、外乱影響は極めて少なくなる。

図-2に負荷静定時の蒸気圧力変化を示す。燃焼・給水ともにPI制御を採用した当社製ボイラであるイフリート 6 t/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 2 t/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。

3-3 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

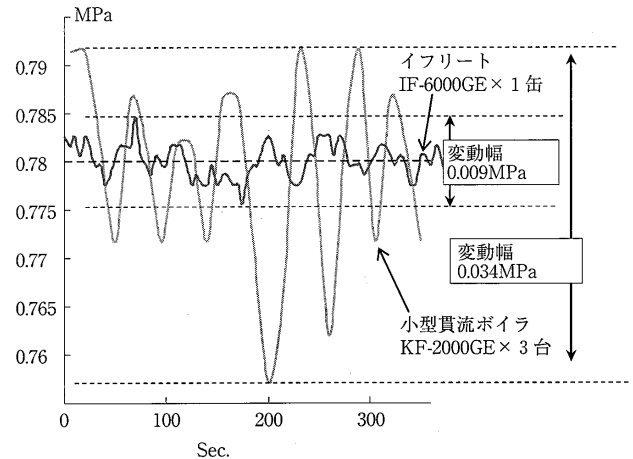


図-2 負荷静定時の蒸気圧力変化

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-3参照）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 4 t/h × 2 缶と当社製小型貫流ボイラ 2 t/h × 4 缶であり、両方とも合計の換算蒸発量は 8 t/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。負荷は実際蒸発量 2 t/h をベースに 1 分間で 1 t/h から最大 3 t/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、ボイラを台数制御で行った。

表-2は当社の実証設備での試験結果を示す。蒸発量は両機種とも約 3 t/h であるが、燃料量は中規模貫流ボイラの 206.8m³/h に対し、小型貫流ボイラは 221.2m³/h となり、熱効率の差で比較すると、5.6ポイントも中規模貫流ボイラが良いことが分かる。これは、前述に挙げた(2-1による)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、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。

Boiler Showroom Flow Chart ショールーム設備フロー

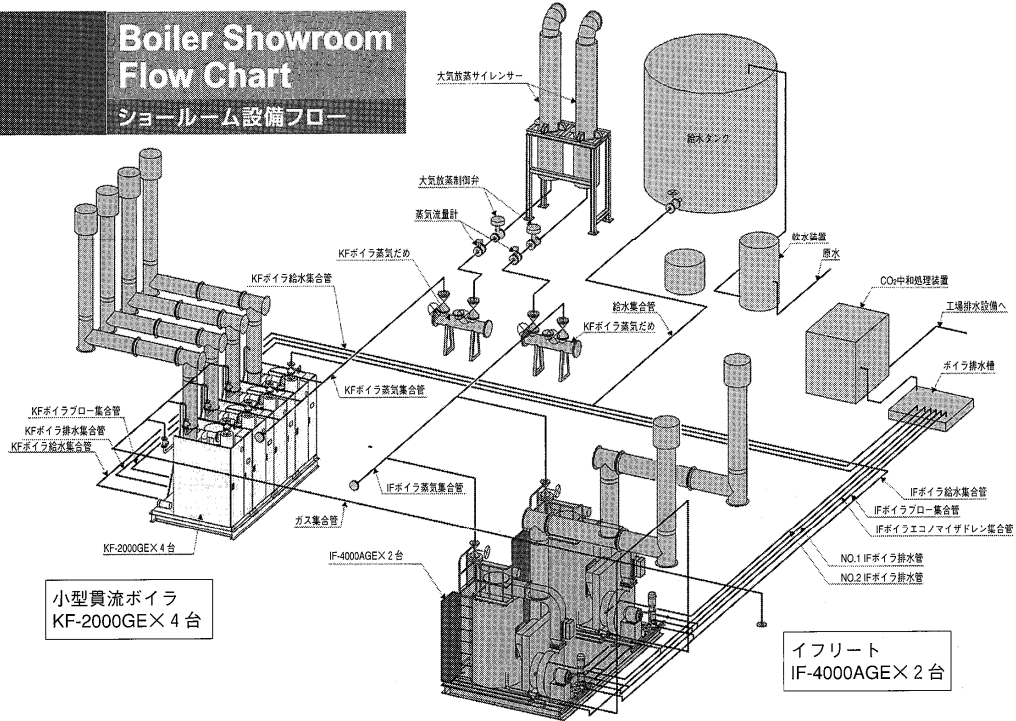


図-3 ボイラ運転設備（設備フロー）

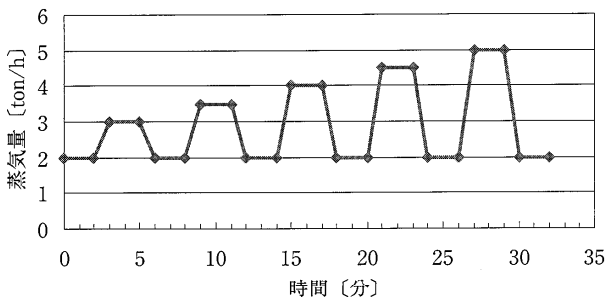


図-4 蒸気負荷変動パターン

表-2 ボイラ効率比較

機種	蒸発量 [t/h]	燃料量 [m ³ _N /h]	熱効率（ボイラ効率） [%]
4 t/h × 2 台	3	206.8	95.4
2 t/h × 4 台	3.02	221.2	89.8

4. 今後の中規模貫流ボイラ

4-1 中規模貫流ボイラの性能等における動向

当社製イフリートビートボイラ（写真-1参照）では、従来の熱効率96%であったが、2ポイント向上させた98%高効率ボイラを市場投入している。下記の条件でメリット試算すると、従来の当社製小型貫流ボイラ（三位置制御）と比べ、年間燃料費は、年間700万円の削減、CO₂排出量では200t-CO₂の削減が可能となる。（計算条件は、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）

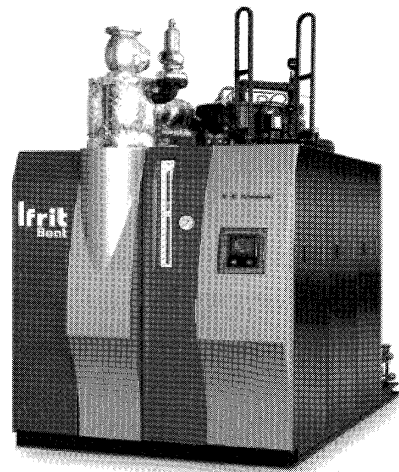


写真-1 イフリートビート外観

また、当社小型貫流ボイラ 2 t/h × 3 台に対し、当社製イフリートビートボイラは約25%設置スペース低

減を果たしている。

操作面でも、液晶カラータッチパネルを採用し、直感的に分かりやすい操作と状態表示を可能としている。

さらに、排ガス O₂ 制御（排ガス O₂ 濃度を監視し、送風機インバータを制御する方法）も可能である。この方策は、大型ボイラでは従来技術だが、高価な構成部品と複雑なシステムであったため、貫流ボイラではほとんど採用されることはなかった。

当社では、これを貫流ボイラ用に商品化している。外気の季節変動等に影響を受けることなく、単なる空気温度補正だけの弊害を解決した最適空燃比による燃焼の最適化を図れる。前述の計算条件で、年間燃料費は、年間最大で46万円の削減、CO₂ 排出量は最大で12 t-CO₂ の削減が可能となり、このシステムで効率向上に寄与する。

4-2 さらに今後の動向

各社の中規模貫流ボイラ及びその関連機器における商品化の方向性は、省エネ、省スペース、及び省力化に進むことは間違いない。特に、従来の大型ボイラでは当たり前だった技術の浸透が期待される。その一例を紹介する。

① PI 制御で燃焼範囲10：1 ターンダウン（省エネ技術）

発停回数を減らして、排ガス損失、放熱損失を低減させ、さらに効率改善を図れることと、PI 制御が低燃焼～高燃焼まで滑らかな制御のため、圧力変動を抑え、蒸気の質も安定する。一方、三位置制御による単なるターンダウン拡大では、排ガス損失などは改善されても、低燃焼⇔高燃焼移行時による急激な燃焼量変化が、蒸気圧力変動を大きくしてしまい、蒸気の質は改善までは図れない。

② ガスエアヒータの装着（省エネ技術）

燃焼用空気とボイラ排ガスを熱交換させる装置で大型ボイラはポピュラーな装置である。貫流ボイラではエコノマイザが一般的であるが、ボイラ給水の高温化

が進む中、そのエコノマイザでは十分熱回収が出来ない場合がある。このような給水温度の高いユーザでは、エコノマイザとの組合せによる省エネを図る技術として有効である。

③ ボイラ関連機器の集中制御盤（省エネと省力化技術）

ボイラを取巻く関連機器（各種水処理装置、排液装置、ドレン回収装置等）にはそれぞれ制御盤があり、それぞれ独立して制御している。そのため、ボイラとの過渡的なアンバランス運転と、各機器の無駄な動力、排水等が発生し、ユーザも、それぞれ独立した管理とメンテナンスが必要となる。それを一括で制御することにより、オペレータの管理とメンテナンス負担の軽減と、省電力、省排水を可能にする。

④ ボイラ関連機器を含めた全自動化（省力化技術）

ボイラを取巻く関連機器の全自動化により、ユーザの運転前後の手動操作負担を軽減する。また、従来の運転管理システムに加えて、自動劣化診断、自動治療システムも可能にする。

5. おわりに

中容量ボイラ（中規模貫流）は、従来の水管ボイラや炉筒煙管ボイラの優れた連続PI制御と、小型貫流ボイラの起動性能、利便性等を融合させた新しいアイデアのボイラである。適切な容量とし、トップクラスの高効率にすることで、多缶設置時の台数を減少することが可能となり、省エネ、省メンテナンスも実現した。近年、その設置台数も年々増加している。

ボイラメーカーとして、省エネは至上命題であり、従来技術と新技術の融合開発を行い、今後も省エネルギー推進を展開し、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していく所存である。また、安全性を追求するリスクアセスメントを充実させ、より一層の社会に貢献していきたいと考えている。