

## ボイラーの性能改善 性能改善の歴史と技術の変遷

川重冷熱工業株式会社  
技術総括室 ボイラ技術部  
柳田 高秀

まえがき

省エネルギーと地球環境の維持・改善が大きな関心となっているが、当社は、熱源機器のパイオニアとして、1899年(明治32年)の汽車製造(株)を前身とし、川崎重工業(株)から分離独立し、汎用ボイラーと空調機器を製造販売している。100年以上の歴史を通じて、高効率化と環境に優しい製品を追求し更なる向上を図っている。本稿では、ボイラーの性能改善の歴史と技術の変遷及び最新式の大型貫流ボイラーを紹介する。

### 1. ボイラーの性能

#### 1.1 ボイラーの特徴と効率

ボイラーで蒸気を発生するために実際に用いられた熱量と、火炉に供給された燃料が完全燃焼することによって発生すべき熱量の比をボイラー効率といい、省エネルギー効果を表す指標である。ボイラーの種類には、その構造から水管ボイラー・炉筒煙管ボイラー・多管式貫流ボイラー等の種類があり、それぞれ特徴がある。各種ボイラー効率の変遷を図1に示す。

##### (1) 水管ボイラー

パッケージタイプの二胴式的水管ボイラーで、蒸発量は、4~30t/h までをラインアップし、蒸気圧力は、0.98~2.94MPa 程度が多く、各種製造業、地域冷暖房用に広く採用されている。

ドラム外部に水管を配置する為に火炉が自由に設計でき、かつ伝熱面積を増やすことで、大容量・高圧に対応可能である。また、油バーナは蒸気噴霧式を採用し重質油から軽質油に至るまで広い燃焼範囲をカバーし、安定した燃焼性を得ることができる。

1960年代に、ボイラー本体効率は85%を達成し、1970年代には、エコノマイザを取り付けてボイラー効率は、92%に上昇した。さらに、1980年以降、エコノマイザの収熱を増加させて96%まで熱回収した

例があり、現在に至っている。

##### (2) 炉筒煙管ボイラー

その歴史は古く1900年頃に、炉筒ボイラとして、コルニッシュボイラーやランカシャーボイラーが製作されている。現在の炉筒煙管ボイラーは、1950年代に入ってから研究され、炉筒と多数の煙管を組み合わせたもので、効率改善の為に、炉筒と煙管の配置を工夫し、排ガスの反転数を多くして回収熱量を上昇させたものもある。1960年代には、本体効率86%、エコノマイザ付きでボイラー効率90%であったものが、1970年代中頃には本体効率88%、エコノマイザ付きでボイラー効率92%を達成して現在に至っている。

容量は10t/h 程度、蒸気圧力は0.98MPa のパッケージボイラーが主流である。

大きな炉筒と適正なバーナの採用で、NO<sub>x</sub>の発生を抑え、窒素分の多い重質燃料にも対応可能である。前面の風箱に押込送風機とバーナ及び煙室をコンパクトに組み込み、各種ポンプを装備することで、据付は極めて容易であり、各種製造業、空調用に幅広く活用されている。

##### (3) 多管式貫流ボイラー

その歴史は新しく、急速に発展したボイラーである。1980年代には、本体効率85%であったものが、1990年代には、本体効率90%に達し、現在は、エコノマイザを設けることで、95~96%が主流になっている。但し、効率計算条件(圧力・給水温度・吸気温度)が、水管ボイラーと異なるので留意が必要である。また、本体はコンパクト化が進み、その取り扱い性が容易なこと、多管式貫流ボイラーを多数並べることで大容量化に対応し、大型の水管ボイラーや炉筒煙管ボイラー並みの高効率にすることで普及している。なお、ON-OFF 運転が多い為、水管ボイラー等と比べて、一般的に耐久性が短く、また部分負荷の効率は低いといった傾向がある。

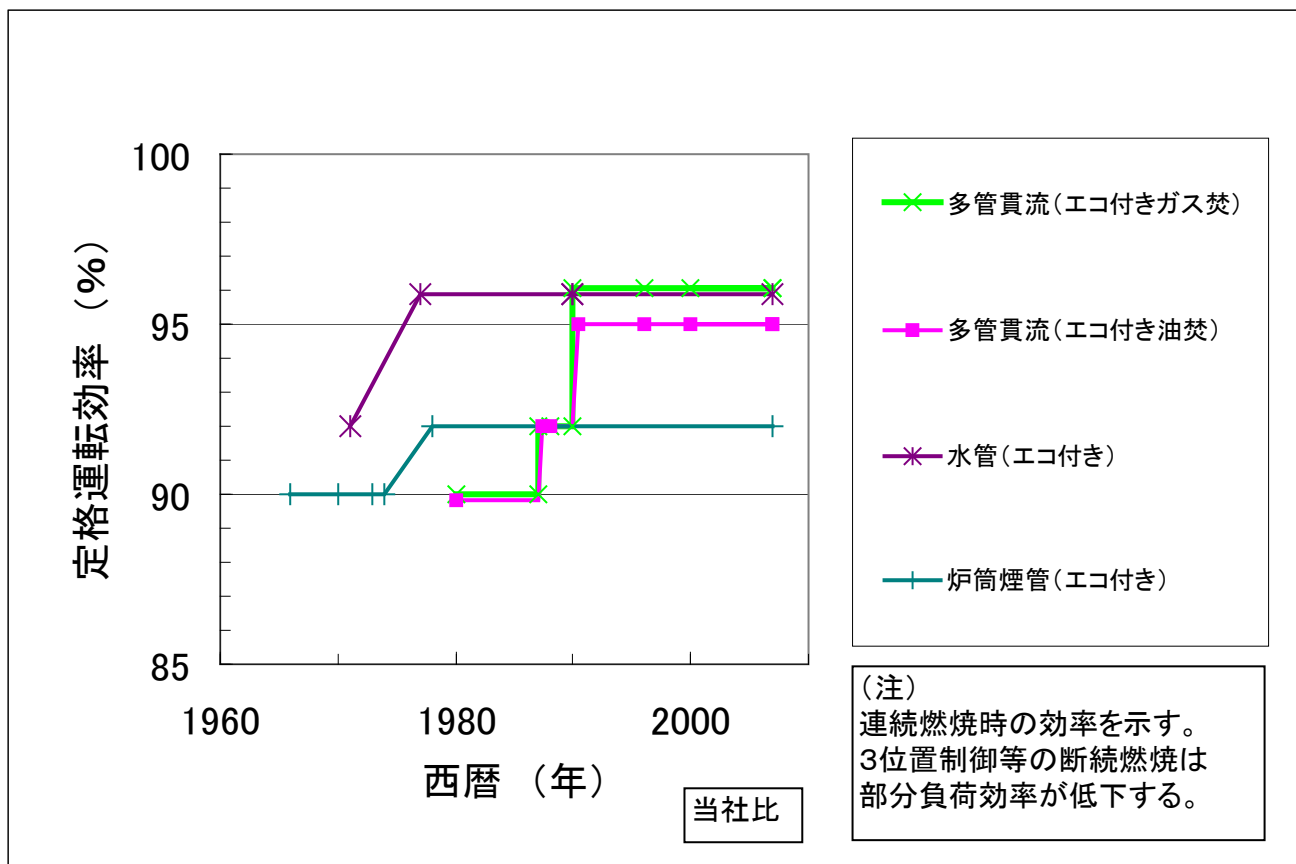


図1 ボイラー効率の変遷

2. 多管式貫流ボイラーの紹介

2. 1 変遷

多管式貫流ボイラーでは、燃焼制御は一般的に3位置制御が採用され、断続制御による負荷変動時の追従遅れ、部分負荷効率の低下や小容量ゆへの負荷変動耐力が弱いといった特徴がある。

小型貫流ボイラーは、蒸気圧力1MPa以下、伝熱面積は10m<sup>2</sup>以下という区分で、蒸発量は大型化してきた。1960年代には、1.5t/hであったものが、1980年代には、2.0t/hとなり、2004年以降、蒸発量2.5t/hが開発されている。

一方、当社では、2000年に大型貫流ボイラーとして、小規模ボイラーの区分(伝熱面積は30m<sup>2</sup>以下)で、蒸発量6.0t/hの大型貫流ボイラー(写真1)の開発に成功した。



写真1 大型貫流ボイラー (IF-6000)

## 2. 2 大型貫流ボイラー

多管式貫流ボイラーでは、史上初6.0t/hの大容量を実現し、高品質、高度制御の水管ボイラーの特徴と高効率・コンパクトな小型貫流ボイラーの技術を併せて、より設置台数を軽減することを可能にしたボイラーである。また、バーナターンダウンは、6:1（ガス焚時）まで広げることで、バーナをON-OFFさせることなく低負荷域まで追従可能となり、パーズ損失の低減と追

従性の向上が可能となった。

大型貫流ボイラー（IF-6000AGE）では、従来の小型2.0t/hの3位置制御の多管貫流ボイラーを多缶設置した場合と比較して、実働部分負荷におけるボイラー効率は約3%程向上し、エコマイザを標準装備することで、燃焼制御域で常にボイラー効率は、95～96%を維持することができる。

（1）仕様：表1にボイラー要目を示す。

表1 ボイラー要目

項目	ボイラー型式	ガス焚	IF-3000AGE	IF-4000AGE	IF-5000AGE	IF-6000AGE
		油焚	IF-3000AE	IF-4000AE	IF-5000AE	IF-6000AE
規格分類			ボイラ			
取扱資格			ボイラ取り扱い技能講習修了者			
換算蒸発量		kg/h	3,000	4,000	5,000	6,000
実際蒸発量		kg/h	2,535	3,380	4,225	5,070
熱出力		kW	1,881	2,506	3,134	3,761
最高使用圧力		MPa	0.98			
常用圧力		MPa	0.49～0.88			
伝熱面積		m <sup>2</sup>	18.3	18.3	29.4	29.4
ボイラ効率	ガス焚	%	96			
	油焚		95			
燃料消費量	13A	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	170.2	226.9	283.6	340.3
	LPG	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	78.0	104.0	130.0	156.0
	灯油	Kg/h(L/h)	163.7(207.2)	218.2(276.2)	272.8(345.3)	327.4(414.3)
	A重油	Kg/h(L/h)	166.9(194.1)	222.5(258.7)	278.2(323.5)	333.8(388.1)
NOx値(O <sub>2</sub> =0%換算)	ガス焚	ppm	60			
	油焚		150			
給水温度		℃	20～98			
制御方式	燃焼		比例積分制御+ON-OFF制御			
	給水		ON-OFF制御(先行給水補正制御付き)			

- （注）1.実際蒸発量は、蒸気圧力0.49MPa、給水温度20℃で示しています。  
 2.最高使用圧力が、1.56MPa、1.96MPa、2.35MPa、2.8MPa、3.2MPaの仕様も用意しています。  
 3.ボイラー効率は、蒸気圧力0.49MPa、給水温度20℃、吸気温度35℃で示しています。

## （2）システムフロー

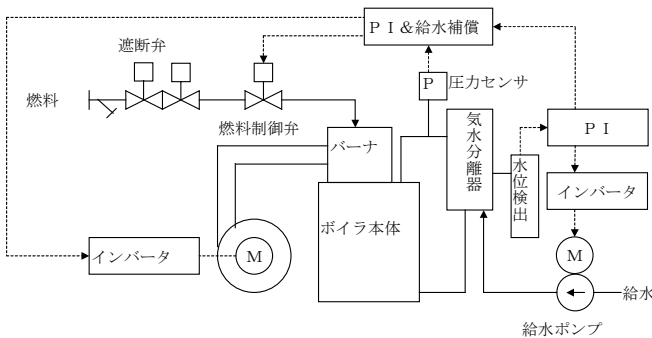


図2 システムフロー

標準装備し、広いターンダウンを実現しているため、蒸気負荷変動への追従性に優れている。給水インバータ制御（オプション対応）を採用することで、システムシステムがさらに安定し蒸気圧力は安定化する。当社独自の気水分離器への給水技術で、ボイラー給水中に含まれる溶存酸素を低減し、脱酸素剤の投入量は、溶存酸素低減機能がないボイラーに比べて、1/4と少なくて済む。部分負荷効率の向上と長寿命、水処理薬品の低減などで、ボイラーの生涯運転費低減に寄与している。また、押込送風機と給水ポンプをインバータ制御し、省エネルギーを図っている。（図2）

蒸気圧力の安定化の為に、比例積分制御（PI）制御を

### 3. 今後の性能改善への取組み

ボイラー性能向上の方向性として、以下の項目について、今後継続的に推進していく。

#### 1) ボイラー効率の向上

潜熱回収を行わない限り、低位発熱量基準でボイラー効率の上限は100%である。一方、排ガス損失や放熱損失はゼロにする事ができない為、100%を下回ることになる。特に油焚では、運転時の伝熱面の汚れを考慮すると、効率はさらに低下傾向にある。硫黄分を含む燃料では、エコノマイザの低温腐食防止の為に、給水を加熱したり、排ガス温度の低下による結露を防止したりするので熱回収に制限がある。

潜熱回収を行う場合は、効率100%を越える可能性もあり、エネルギーの有効利用からも期待される技術である。効率を向上させる為には、使用燃料・給水温度等の仕様条件が影響し、腐食成分のない排ガス条件やライフサイクルを含む投資対効果を確認する必要がある。

#### 2) 燃焼ターンダウン幅増加による運転管理

燃焼制御は、一般的に Hi-L0-OFF の3位置制御又は、より小さな負荷まで対応した4位置制御も有るが、何れも断続制御であり、バーナ燃焼停止により起動前のプレパージロス及び追従遅れが発生する為、燃焼制御幅を広く取り、極低負荷まで停止させないことがポイントである。火炉とバーナのマッチング及びより広い燃焼域を持ったバーナ開発が期待される。

#### 3) 断熱・保温及び放熱防止

ボイラー損失の一つである放熱損失の低減は、そのまま効率改善となる。ボイラー表面温度は、火傷防止を目的として60℃以下程度に低減する事が一般的であるが、省エネルギーの観点から、今後より高断熱仕様が望まれる。

#### 4) 低O<sub>2</sub>燃焼

空気過剰率は、通常1.2～1.3%程度に調整されている。一方、過剰な空気を送ることは、押込送風機の動力の無駄でありボイラー効率の低下を招くので、さらに低O<sub>2</sub>燃焼が可能な燃焼装置の開発が望まれると共に、適正な燃焼管理が必要である。

#### 5) システム決定・運転管理等

ボイラーの容量・台数の決定、蒸気の使い方等、最適システムの決定が重要であり、十分な検討を要するものである。蒸気配管系統の漏れ・スチームトラップの点検・管理及びダクト系統の点検保守等の管理が重要である。

#### 6) ドレン回収

従来から、使用済みの蒸気ドレンを回収し、熱効率の向上が図られているが、より熱回収率を向上する為に、

高圧ドレンの直接回収が行われる。

負荷器からの高圧還流ドレンを直接ボイラー（エコノマイザ）へ回収することでボイラー効率は、90%以上を確保することができる。これは、給水制御を比例制御にすることでボイラー水位が安定し、かつ給水が連続して行われる為に、エコノマイザの設置が可能となった為であり、当社の独自技術が生かされたものである。また、ドレン回収率が低い場合には、給水温度が低下しエコノマイザの収熱量が増えて、ボイラー効率が上昇する傾向にあるので、このシステムは非常に好評を頂いている。

### 3. おわりに

大型貫流ボイラー（IF）は、多管式貫流ボイラーでありながら、従来の水管ボイラーや炉筒煙管ボイラーの負荷変動耐力と小型貫流ボイラーの起動性能の長所を取り込み、6.0t/hの大容量で多管設置時の台数を減少することが可能となり、省電力・省メンテナンスを実現した高効率ボイラーである。おかげさまで2000年の発売以来、順調に稼動し納入台数も毎年増加している。

そこで、さらなるボイラーの性能改善として、省エネルギー技術の推進、従来技術の改善と新技術の開発、そして、新しいニーズに対応することが重要と認識している。今後、一層積極的に省エネルギー推進を展開していく所存である。

#### 参考文献

- ・「2010年に向けての産業用ボイラ需要動向と今後の展望」社団法人日本産業機械工業会

以上