

ボイラの原理

三好 宏和

川重冷熱工業株式会社 ボイラ技術総括室ボイラ技術部

1. はじめに

ボイラとは、火気、燃焼ガス、その他の高温ガス（以下「燃焼ガス等」という）、または電気により水または熱媒を加熱して、大気圧を超える圧力の蒸気または温水を発生させて、これを他に供給する装置と定義されている。

本稿では、ボイラを理解するのに必要な周辺知識および各種ボイラの構造と特徴について概説する。

2. 蒸気について

2-1 蒸気とは

水に熱を加えると温度が上昇する。ある温度まで水の温度が上がると、熱を加えても温度が上昇しなくなる。この温度を沸点といい、沸点まで温度を上昇させる温度変化を伴う熱を顕熱という。さらに熱を加えると、沸騰している液体の水は、気体の蒸気へと状態変化(蒸発)する。この状態変化に必要な熱を潜熱といい、顕熱と潜熱を合計したものを全熱という。全熱は圧力によって異なる。

大気圧下での水の沸点は約100℃であり、15℃の水を100℃まで上昇させるのには約336kJ/kgの顕熱が必要となり、100℃の水を100℃の蒸気にするには約2257kJ/kgの潜熱が必要で、全熱は2593kJ/kgとなる。

0.49MPaGでの水の沸点は約159℃であり、15℃の水を159℃まで上昇させるのには約607kJ/kgの顕熱が必要となり、159℃の水を159℃の蒸気にするには約2087kJ/kgの潜熱が必要で、全熱は

2694kJ/kgとなる。

以上より、圧力が高くなると同じ量の蒸気を発生させるために多くのエネルギー（全熱）が必要であるが、潜熱は小さくなるのが分かる。超高压になり、臨界点に達すると潜熱はゼロになる。

2-2 蒸気の質

ボイラから送られる蒸気にも「質」がある。一般に飽和蒸気にはごくわずかの水分が含まれているので、湿り蒸気と呼ばれる。これに対し、水分を含まない蒸気を乾き蒸気という。

1 kgの湿り蒸気の中に、X kgの乾き蒸気と(1-X)kgの水分が含まれている場合、Xを%表示で乾き度、(1-X)を%表示で湿り度と呼ぶ。

2-3 蒸気の種類

蒸気には飽和蒸気と過熱蒸気がある。水を沸点(飽和温度)まで加熱すると、飽和温度での蒸気が発生する。この蒸気を飽和蒸気と呼ぶ。前述のとおり、実際には若干の水分を含んだ湿り飽和蒸気が多い。

飽和蒸気は、圧力を一定に制御すれば、温度も一定に保つことが可能である。熱(潜熱)を奪われた飽和蒸気は、飽和水となるが、このとき温度変化を伴わないため、一定温度かつ均一な加熱源として有用である。

この飽和蒸気にさらに熱を加えると、飽和温度より温度の高い蒸気を得られる。この蒸気を過熱蒸気と呼ぶ。過熱蒸気の温度と、同じ圧力での飽和蒸気の温度差を過熱度(℃)と言う。蒸気を過熱する利点は、①熱効率の増加②送気中のドレン

損失の減少③蒸気管および原動機中における摩擦抵抗の減少④水分による腐食の軽減などが挙げられる。

3. ボイラの圧力について

圧力には、ゲージ圧力と絶対圧力の表示方法がある。

ゲージ圧力とは、大気圧の状態をゼロとして表示する圧力である。絶対圧力とは、完全真空をゼロとして表示する圧力である。つまり、大気圧は絶対圧で示すと約0.1MPaであるが、ゲージ圧で示すとゼロとなる。

ボイラにおいては、ゲージ圧力を用いて圧力を論じているが、蒸気表では蒸気の物性値を絶対圧力で表示されているので、注意されたい。

4. ボイラの蒸発量について

ボイラの容量は、最大連続負荷の状態単位時間に発生しうる蒸発量で表され、実際蒸発量または換算蒸発量（相当蒸発量）で示される。

4-1 実際蒸発量

ある条件下（蒸気圧力・給水温度・外気温度）において実際に発生する蒸発量を示す。

4-2 換算蒸発量

ボイラに同じ熱量が与えられた場合でも、そのボイラの実際蒸発量は蒸気条件などにより異なる。従って実際蒸発量でのボイラ容量の表示は、給水温度および蒸気条件をも記さなければ正確に容量を表示したことになる。そのためそのボイラで大気圧のもとで100℃の飽和水から100℃の飽和蒸気を発生させるとしたら、単位時間あたりどれくらい蒸発するかを換算したものが換算蒸発量であり、運転条件の異なるボイラとの容量比較が正確にできる。

5. ボイラの構成

ボイラを構成する部分は大別して次の通りである。

5-1 燃焼装置・燃焼室・火炉

火炉は燃料を完全に燃焼させてボイラ本体を加

熱させるものであり、燃焼装置（バーナ）と燃焼室より成っている。これらは常に高温に保つことができる構造で、燃焼室はなるべく大きい方がよい。

5-2 ボイラ本体

水および蒸気を入れた密閉容器であり、容器に入っている水が伝熱面を通じ加熱され、大気圧以上の飽和蒸気を発生させるものである。ボイラ本体は所要の圧力に耐えうる十分な強度をもったものでなければならない。

5-3 エコノマイザ（節炭器）

ボイラの熱損失のうち最大のものは、ボイラから排出される排ガスの熱量である。エコノマイザは、この高温の燃焼排ガスとボイラへ供給する給水などを予熱し熱を有効利用する熱交換器である。

5-4 スーパーヒータ（過熱器）

ボイラ本体で発生した飽和蒸気を、排ガスによりさらに加熱して過熱蒸気を発生させるための熱交換器である。

5-5 付属品等

ボイラには、上記以外に、給水する設備、燃焼用空気を供給する設備、制御用機器などから成り立っている。

6. ボイラの伝熱

ボイラ胴・炉筒・煙管・水管などのように金属壁の一面が燃焼ガスなどに接触し、他面が水に接する部分を伝熱面という。燃焼室で火炎に直面する部分では、火炎の輻射による伝熱の割合が多く、燃焼室から遠ざかるに従い輻射伝熱量は急激に減少し、燃焼ガスなどの接触による伝熱が増加してくるが、ガス温度が下がってくるので伝熱量としては次第に減少する。伝熱面に吸収された熱は、伝導によって金属壁を通過し、他面に接触している水に吸収される。

7. ボイラの種類

ボイラには形式の違いにより、大きく以下の4種類に区分される。

- ・丸ボイラ：立形，炉筒，煙管，炉筒煙管
- ・水管ボイラ：自然循環，強制循環，貫流
- ・特殊ボイラ：排熱，間接加熱（熱媒），電気
- ・鑄鉄ボイラ：鑄鉄

8. ボイラの構造と特徴

8-1 丸ボイラ

丸ボイラは，大きな径の胴内にて蒸気を発生させる形式のボイラである。図-1 に丸ボイラのなかで代表的な炉筒煙管ボイラの構造を示す。

炉筒内にバーナによって火炎が形成され，完全燃焼した燃焼ガス等は後部煙室に流入する。ここで反転して煙管群を通り前部煙室に集合し，排気口から排出される。炉筒の外面・煙管の外面から胴内に保有する水に熱を加え蒸気を発生させる。発生した蒸気は，主蒸気弁から蒸気負荷系統へと導かれる構造となっている。炉筒（燃焼室）と煙管群（内部に高温ガスが流れる管）から構成されるので，炉筒煙管ボイラと呼ばれる。

炉筒煙管ボイラ以外の丸ボイラでは，煙管が垂直に配置される立形ボイラ，胴と炉筒のみで構成される炉筒ボイラ，燃焼室がボイラ外部にあり，胴と煙管のみで構成される外焚き煙管ボイラなどがある。

丸ボイラは以下のような特徴がある。

- ・構造がシンプルなので，取り扱いが容易で安価である。

- ・保有水量が多く，負荷変動に強い。
- ・保有水量が多いため，事故（破裂）の際，周囲への影響が大きい。
- ・保有水量が多いため，始動してから蒸気発生までの時間が比較的長い。
- ・炉筒は外圧容器となるので，高圧・大容量に向き

8-2 水管ボイラ

水管ボイラは，管の内部を水が流れ，外側から熱を受ける小径の水管を伝熱面の主体として構成されており，それに胴を組み合わせた構造のものである。図-2 に代表的な水管ボイラ（自然循環

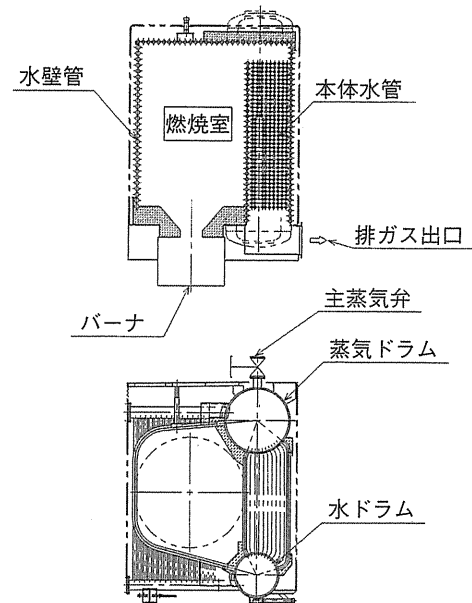


図-2 二胴水管ボイラ構造図

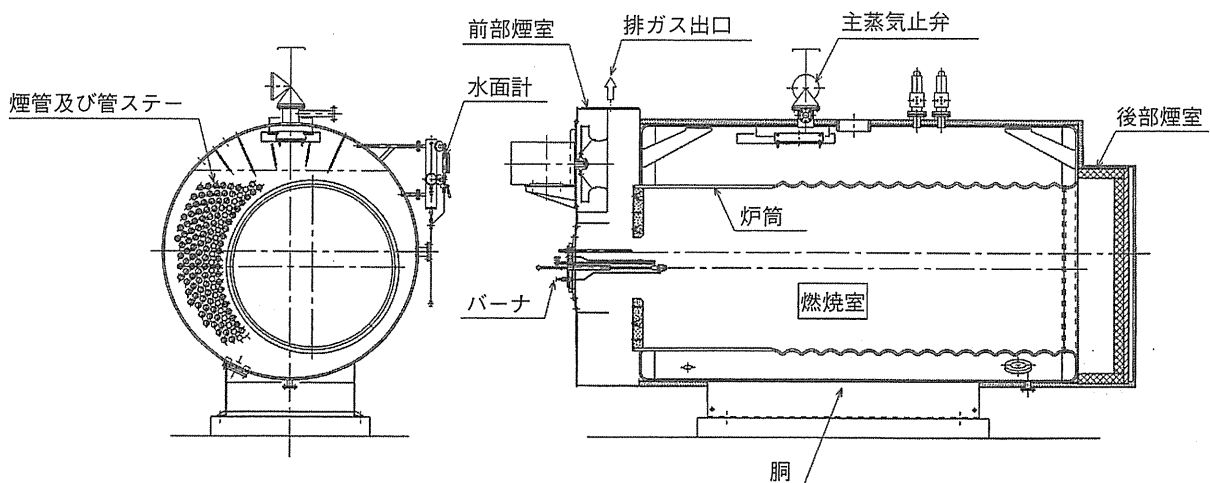


図-1 炉筒煙管ボイラ構造図

式2胴水管ボイラ)の構造を示す。

バーナにより燃焼室内に火炎が形成される。丸ボイラでは、燃焼室の周囲は全面を水で覆われているが、水管ボイラでは、燃焼室の周囲は水壁管により囲われている。水壁管は、燃焼室外への燃焼ガスの漏洩を防止するため、フィンによって連結されている。

完全燃焼した燃焼ガスなどは本体水管群を通過し、水管内のボイラ水を加熱し、蒸気を発生させる構造となっている。

本図のボイラは、上部の蒸気ドラムと下部の水ドラムを、多数の水管群で連結させた2胴水管構造である。水管群は、蒸発を伴う上昇流の蒸発管と、水が下降する下降管に分かれる。缶水と気水混合物(蒸気を含んだ水)の比重の違いにより循環力を得る、自然循環式である。高圧の水管ボイラの中には、ポンプなどによって強制的に水の循環をさせる強制循環式のボイラもある。

水管ボイラは以下のような特徴がある。

- ・ドラム径が小さいので高圧に耐える
- ・伝熱面積を大きく取れるので大容量のものが製作できる
- ・燃焼室を自由な形状に作れるので、燃料にあった燃焼室構造がとれるため、利用可能な燃料の範囲が広い
- ・保有水量が少ないので、始動してから蒸気発生までの時間が比較的短い。
- ・構造が複雑で点検・整備が困難であり、高価である。
- ・保有水量が少ないので、急激な負荷変動による圧力や水位の変化が大きい

8-3 貫流ボイラ

管内部に水があり、管外部から燃焼ガスなどにより加熱される構造で、水管ボイラの一つである。管の一方からポンプなどで給水され、他方から蒸気または温水を生ずる単管式のもの、上部に蒸気管寄せ、下部に水管寄を設け、管寄間を多数の管で接続した多管式のものがある。

単管式はポンプなどにより水を強制循環させる強制循環ボイラである。水は臨界圧付近になると

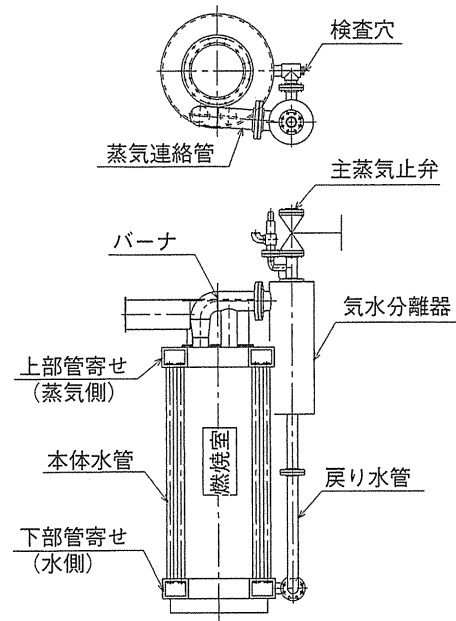


図-3 多管式貫流ボイラ構造図

飽和蒸気と飽和水の比重差が小さくなり、比重差による水循環ができなくなり、ボイラを正常に運転できなくなる。単管式ボイラではポンプなどによる強制循環を行うため、臨界圧での運転が可能となる。

多管式は自然循環式のボイラである。本体部で発生した気水混合物は気水分離器によって蒸気とドレン水に分離される。分離されたドレン水は、戻り水管により再度本体へ流入し、蒸気は、主蒸気弁から蒸気負荷系統へと導かれる構造となっている。法規制が他の形式のボイラと比較して緩和されていることから、民生用として近年最も多く利用されているボイラである。図-3に多管式貫流ボイラの構造を示す。

8-4 特殊ボイラ

特殊ボイラには、主に以下のようなボイラがあり、一般のボイラと違った特殊な用途のボイラである。

- ・熱源として他の熱設備からの廃熱を利用するボイラ(廃熱ボイラ)
ガスタービン・エンジン・炉等から発生する高温ガスを熱源とし、エネルギーシステム効率を向上させるために用いられるボイラ。
- ・水の代わりに熱媒体を用いたボイラ(熱媒ボイラ)

ラ)

水蒸気で高温を得るためには、きわめて圧力の高い蒸気を発生させなければならない。しかし熱媒を用いることにより、比較的低压でありながら高温を得られるため、高温で加熱させるプロセスに用いられることがある。

・電気による加熱を行うボイラ（電気ボイラ）などがある。廃熱ボイラはコージェネレーション設備として多く用いられている。

8-5 鋳鉄ボイラ

鋳鉄ボイラとは、鋳鉄製のセクションと呼ばれる鋳物を複数連結させた構造のボイラである。セクションの連結数によって出力を調整可能な構造となっている。

鋳鉄ボイラは、以下のような特徴がある。

・鋼製ボイラ（丸ボイラや水管ボイラ等）と比較

して腐食に強い。

- ・セクション単位で搬入することで、ビルの地下や屋上等への搬入しやすい。
- ・強度が脆いため、高压や大容量には適しない。

9. ボイラの効率

ボイラ効率を算出するには、入出熱法と熱損失法の2つの方法がある。

入出熱法は、一定の時間・一定量の蒸気を送気し、その間の入熱と出熱との割合で算出する方法で、熱損失法は、煙突からの排出熱損失や本体表面からの放熱損失により算出する方法である。

詳細な算出方法は、「J I S B - 8 2 2 2 陸用ボイラの熱勘定方式」に規定されているので参照されたい。

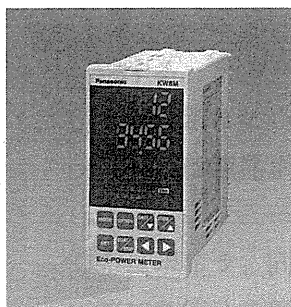
■機器・製品ニュース

☆資料請求は本紙末尾の愛読者カードをご利用下さい☆

▶ KW8Mエコパワーメータ

エコパワーメータは、工場などで使用される電力を「見える化」し、省エネを支援する機器としてこれまでに3商品が揃えられているが、今回、新たに高機能の「KW8M」をラインアップした。特長は、グローバル仕様（三相4線式、400V直接計測対応）とし、海外のみならず国内の大規模工場やビルの動力負荷電力測定にも対応可能となった。また、電力と生産数を同時に計測して原単位を算出、生産性の効率化を促進する。さらに、周波数、力率、無効電力の測定が可能で、低圧測力率管理で高調波対策無効電力削減に貢献する。

〈松下電工(株)制御グローバルマーケティング部
TEL.06-6908-1131〉



簡易電力計
KW8Mエコパワーメータ

▶ ネオコンパクトフラット

新しい形状の安定器内蔵コンパクト形蛍光ランプ。

コンパクトはU字形発光管を平面的に配置、さらに薄型口金構造を採用し、EFF12W形で直径90mm・厚さ38mm、EFF8W形で直径75mm・厚さ33mmのコンパクトサイズを実現した。照明器具内にインバータが不要なため、ダウンライト、薄型ペンダント、ブラケット、ショーケース用照明、棚下灯など、新しい器具デザインの可能性を広げる。

また、12W形は直下照度が同等な60Wホワイトランプに比べて消費電力は約5分の1、寿命は約10倍の1万時間という省エネ・長寿命を実現した。

〈東芝ライテック(株)管球商品部
Tel03-5463-8750〉

