

二級 ボイラー技士受験講座 Ⅱ

あいさつ（上巻）



高坂 正男

「二級ボイラー技士受験講座」を受講していただき、ありがとうございます。執筆した者として、ごあいさつを申し上げます。

本講座は、講座の学習だけで国家試験の「二級ボイラー技士免許試験」に合格できる内容をめざし作成されています。巻末の著者の経歴にもありますとおり、幸い長年にわたりボイラーの教育訓練に関係していて、資料や経験が豊富にありますので、自信を持ってみなさんに薦めることができる内容に仕上がったと思っています。

また、講座の科目順序は、わかりやすいように、上巻にボイラーの構造と関係法令、下巻に燃料および燃焼とボイラーの取扱いという配置にいたしました。この理由は、後ほど説明いたします。

準備は整いました。あとはみなさんのやる気を待つだけです。「やるしかない」のです。今ここでがんばらずにいつどこでがんばるのでしょうか。決意を新たに挑戦することを期待しております。

著者 拝

上巻 もくじ

----- (1か月日学習 T1)

第1科目 ボイラーの構造

1.1 熱および蒸気	2
1.1.1 基礎事項	2
1.1.2 蒸気の性質	7
1.1.3 ボイラーの蒸気発生と水循環	11
1.2 ボイラーの概要	12
1.2.1 ボイラーの構成	12
1.2.2 容量および効率	15
1.2.3 ボイラーの分類	16
1.3 丸ボイラー	17
1.3.1 概要	17
1.3.2 立てボイラー	17
1.3.3 炉筒ボイラー	18
1.3.4 煙管ボイラー	19
1.3.5 炉筒煙管ボイラー	20
1.4 水管ボイラー	24
1.4.1 概要	24
1.4.2 自然循環式水管ボイラー	26
1.4.3 強制循環式水管ボイラー	29
1.4.4 貫流ボイラー	29
1.5 特殊ボイラー	31
1.5.1 廃熱ボイラー	31
1.5.2 特殊燃料ボイラー	31
1.5.3 特殊熱媒ボイラー	32
1.6 鑄鉄製ボイラー	34
1.7 ボイラー各部の構造と強さ	39
1.7.1 胴およびドラム	39

1.7.2	鏡板および管板	41
1.7.3	炉筒および火室	43
1.7.4	ステー	44
1.7.5	穴	46
1.7.6	管寄せ	47
1.7.7	管類	48
1.7.8	溶接継手	49
1.8	附属品および附属装置	51
1.8.1	ボイラーに使用する計測器	51
1.8.2	安全装置	58
1.8.3	送気系統装置	61
1.8.4	給水系統装置	67
1.8.5	吹出し装置	73
1.8.6	温水ボイラーおよび暖房用ボイラーの附属品	76
1.8.7	附属設備	82
1.9	ボイラーの自動制御	87
1.9.1	ボイラーの自動制御の基礎	87
1.9.2	フィードバック制御	88
1.9.3	シーケンス制御	90
1.9.4	各部の制御	92
1.10	ボイラー用材料	104
1.10.1	金属材料	104
1.10.2	非金属材料	105

----- (2か月目学習 T2)

第2科目 ボイラーの関係法令

2.1	法令の基礎知識	110
2.1.1	法令の形態	110
2.1.2	行政の組織	111
2.1.3	権限の範囲	112
2.1.4	規則の体系	113
2.1.5	法令の用語	113

2.2	ボイラー及び圧力容器安全規則	115
2.2.1	総 則 (則1章)	115
2.2.2	ボイラーの区分 (則1条, 令1条)	115
2.2.3	圧力容器の区分 (則1条, 令1条)	117
2.2.4	最高使用圧力の定義 (則1条)	119
2.2.5	伝熱面積 (則2条)	119
2.3	ボイラー	121
2.3.1	製 造 (則2章1節)	121
2.3.2	設 置 (則2章2節)	124
2.3.3	性能検査 (則2章5節)	127
2.3.4	変更, 休止及び廃止 (則2章6節)	128
2.3.5	ボイラー室 (則2章3節)	130
2.3.6	管 理 (則2章4節)	132
2.3.7	小型ボイラー (則5章)	139
2.3.8	適用外 (簡易) ボイラー (令13条, 規27条)	140
2.4	圧力容器	141
2.4.1	第一種圧力容器 (則3章)	141
2.4.2	小型圧力容器 (則5章)	142
2.4.3	第二種圧力容器 (則4章)	142
2.4.4	その他の容器 (令13条)	142
2.5	免許と技能講習	143
2.5.1	免 許 (則6章)	143
2.5.2	技能講習 (則7章)	143
2.6	ボイラー構造規格 (附属品)	144
2.6.1	蒸気ボイラーの安全弁 (1節)	144
2.6.2	温水ボイラーの逃がし弁, 逃がし管及び安全弁	145
2.6.3	圧力計, 水高計及び温度計 (2節)	145
2.6.4	水面測定装置 (3節)	147
2.6.5	給水装置等 (4節)	149
2.6.6	蒸気止め弁及び吹出し装置 (5節)	150
2.6.7	手動ダンパ等 (6節)	151
2.6.8	自動制御装置 (7節)	152
2.6.9	鋳鉄製ボイラーの附属品 (第2編)	153

さくいん 167

第1 科目

ボイラーの構造

学習のねらい

ボイラーとは、燃料を燃やし発生した熱で水を加熱し、所要の蒸気または温水を取り出す装置のことをいい、ボイラー本体、炉、附属品および附属装置で構成されています。炉に関しては、燃料および燃焼の科目に出てきますので、ボイラーの構造では、この炉を除いて学習します。

ボイラーの構造の学習要点は、次のとおりです。

- ① ボイラーは熱を扱いますので、基礎知識として熱および蒸気を知ることが大切です。
- ② ボイラーは大別すると丸ボイラーと水管ボイラーに区分され、他に鑄鉄製ボイラーがあります。構造における他のボイラーとの違い、その特徴としての長所と短所に重点をおいて学習することが必要です。
- ③ ボイラーは、高温、高圧で使用されますから、主要部分の構造と強さを知ることが求められます。
- ④ 最も重要なものが附属品および附属装置です。その目的、しくみ、動作などを詳しく知ることが必要です。最近のボイラーは、ほとんど自動制御で運転されていますから、この自動制御装置についても学習しなければなりません。

1.1 熱および蒸気

1.1.1 基礎事項

(1) 熱

熱は、エネルギーの一種で分子の運動のエネルギーです。分子の運動が盛んだと熱量も多く温度も高くなり、分子の運動が緩やかだと熱量も少なく温度も低いことになります。いかえると、物体に熱を加えることは、分子を刺激して運動を盛んにすることになります。

(2) 温度

温度は、熱さ、冷たさの度合いを表わすもので、温度計で測ります。

セルシウス（摂氏）温度とは：標準大気圧のもとで、水が凍る温度を 0°C 、水が沸騰する温度を 100°C と定め、この間を100等分したものを1度としています。

絶対温度とは：学問上の最低温度 -273°C を0度とし、セルシウス温度目盛りと等しい割合で表わした温度で、単位にケルビン「K」を用います。

したがって、セルシウス温度 $t^{\circ}\text{C}$ と絶対温度 $T\text{K}$ との間には、 $T = t + 273$ の式が成り立ち、図1-1のようになります。

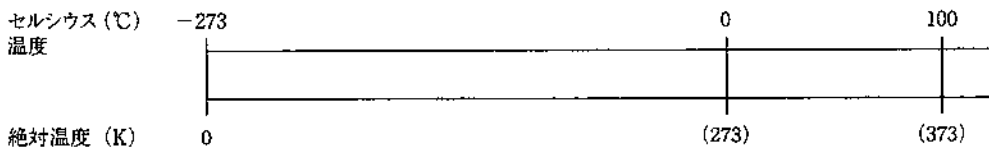


図1-1 (°C)と(K)との関係

解説 標準大気圧 (0°C 、760mmHg)、SI(国際単位)では引き続いて、温度の単位、温度差を表わすのに $^{\circ}\text{C}$ を用いてもよいことになっています。絶対温度の単位は従来 $^{\circ}\text{K}$ となっていました、SIではケルビン「K」で表わすことになっています。図1-1の()内数値は、上述の算式で計算されたものです。

(3) 圧力

ある面に一様に力が作用しているとき、面全体に作用している力を全圧力といい、これを受圧面積で除した値、すなわち、単位面積上に作用する力を圧力といいます。したがって、これを式で表わすと次のようになります。

$$\text{圧力 (Pa [kgf/cm}^2\text{])} = \frac{\text{全圧力 (N [kgf])}}{\text{受圧面積 (m}^2\text{ [cm}^2\text{])}}$$

$$\text{全圧力} = \text{圧力} \times \text{受圧面積}, \quad \text{受圧面積} = \frac{\text{全圧力}}{\text{圧力}}$$

その大小は圧力計によって測られます。従来単位（CGS，工学単位）系では、面積 1 cm^2 上に働く力 1 kgf を単位として、 kgf/cm^2 （重量キログラム毎平方センチメートル）としてきましたが、SI（国際単位）では、面積 1 m^2 上に働く力 1 N （ニュートン）を単位として、Pa（パスカル）で表わします。

1 Pa は小さい圧力なので、必要に応じて、hPa, kPa, MPa などが用いられますが、ボイラーの圧力には、実用上、 $\text{Pa} \times 10^6$ の MPa（メガパスカル）を用いることが多いです（SI については附録（別冊93頁～）参照）。

圧力計で圧力を測ると、絶対圧力と大気圧の差が表われます。この関係は図1-2のようになります。なお、一般に計器のことをゲージと呼んでいることから、圧力計で測った圧力をゲージ圧力といいます。

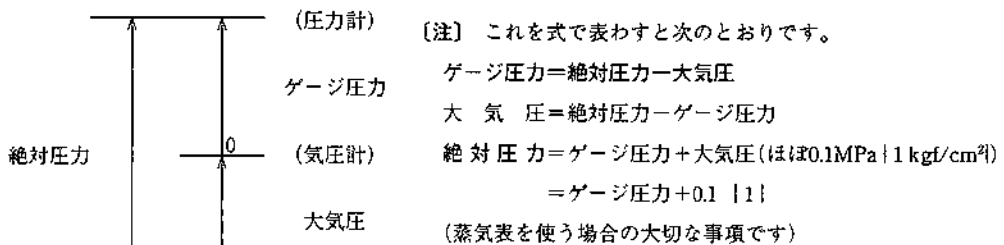


図1-2 各圧力の関係

温水ボイラーの場合や燃焼ガス、空気圧などの場合には、従来、一般にある高さの静水柱が底面に及ぼす圧力を単位として、水頭圧といい、水柱の高さ（ mmH_2O または mH_2O ）で表わしていましたが、現在はゲージ圧力 Pa 表示です。水頭圧 10 m （ $10 \text{ mH}_2\text{O}$ ）はほぼ 0.1 MPa に相当します。



圧力の表示のしかたは、次のとおりです。

ゲージ圧力：MPa[gage] または MPa[ゲージ] {kgf/cm²G, atg}

絶対圧力：MPa[abs] または MPa[絶対] {kgf/cm²abs, ata}

(4) 比体積, 密度

次のように表わされます。

$$\text{比体積 (m}^3/\text{kg)} = \frac{\text{体積 (m}^3\text{)}}{\text{質量 (kg)}} = \frac{1}{\text{密度}}$$

$$\text{密度 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{質量 (kg)}}{\text{体積 (m}^3\text{)}} = \frac{1}{\text{比体積}}$$

この式を用いて各項目をことばで説明してみましよう。単位の分母はすべて1を意味していますから、1 kg 当たりおよび1 m³当たりのことを、単位質量当たりおよび単位体積当たりと表現することがあって、どちらを用いてもよいとされています。

比体積：単位質量当たりの体積のことをいい、密度の逆数でもあります。

密度：単位体積当たりの質量のことをいい、比体積の逆数でもあります。

いま、ある質量の全体積を求めるには、比体積に質量を乗じれば求められます。また、ある体積の全質量を求めるには、密度に体積を乗じればよいことになります。これを式で表わすと、次のようになります。

$$\text{体積} = \text{比体積} \times \text{質量} = \frac{1}{\text{密度}} \times \text{質量}$$

$$\text{質量} = \text{密度} \times \text{体積} = \frac{1}{\text{比体積}} \times \text{体積}$$

(5) 熱量, 比熱

熱は、(1)の項で少し触れましたが、姿や形がないうえに質量もないので、見ることができません。ただ、温度の高いところから低いところへ移動する性質があることが知られています。温度の異なる2個の物体を接触させると、高温の物体は冷え、低温の物体は温まります。これは熱が高温物体から低温物体へ移動したためです。熱量を測る単位には、一般にkJ (キロジュール) {kcal (キ

ロカロリー), J [cal] が用いられています。ここで, $1\text{ J} = 0.2388\text{ cal}$, $1\text{ kcal} = 4187\text{ J} = 4.187\text{ kJ}$ です。

熱量 (kJ [kcal]) : 標準大気圧のもとで 1 kg の水の温度を 1°C 高めるのに要する熱量を 4.187 kJ [1 kcal] としています。

同じ量の熱を加えても物体によって温度の上がり方が違います。比熱の小さいものは温度の上がり方が大きく, 比熱の大きいものは温度の上がり方が小さいのです。冷やす場合も作用は加熱の逆となり, 比熱の考え方は同じです。

比熱 ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ [$\text{kcal}/(\text{kgf} \cdot ^\circ\text{C})$]) : 質量 1 kg の物体の温度を 1 K [$^\circ\text{C}$] だけ高めるのに要する熱量をその物体の比熱といいます。

気体の比熱には, 定圧比熱 (c_p) と定積比熱 (c_v) の2つの表わし方があります。

定圧比熱 : 圧力一定のもとで温度 1 K [1°C] 上げる場合の比熱です。

定積比熱 : 体積一定のもとで温度 1 K [1°C] 上げる場合の比熱です。

なお, 定圧比熱は定積比熱よりも大きく, $c_p > c_v$ の関係になります。

(6) 感熱, 潜熱, 比エンタルピ

一般に, 物体の集合態は, 主として圧力と温度の条件で, 固態, 液態, 気態のいずれかの状態をとります。これを物質の三態といっています。

感熱とは : 加えた熱が物体内部に蓄えられ, 温度上昇に費やされるもので顕熱ともいいます。

潜熱とは : 加えた熱が液体から気体への状態変化, いわゆる蒸発に使われて, この間の温度変化は起こらないものです。

これは, 主としてボイラーを前提にした記述であり, 水の状態変化は図1-3に示すとおりです。

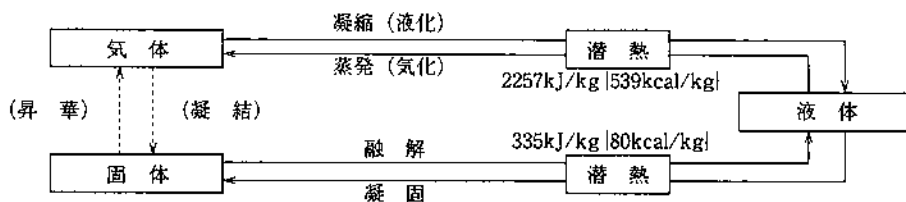


図1-3 標準気圧のもとでの水の状態変化

第1科目 ボイラーの構造

一般に、液体を中心に気体および固体への変化は4通りありますが、上の潜熱、下の潜熱とって、数値が全く同じことから上のほうを蒸発熱、下のほうを融解熱という表現を用いていることが多いようです。

水、蒸気の全熱量を表わすのに、1 kgの全熱量をkJ [kcal] に換算したものを単位として用い、これを比エンタルピ (kJ/kg [kcal/kg]) といいます。飽和水の比エンタルピは、飽和水1 kgの感熱で、飽和蒸気の比エンタルピは、飽和水の感熱に蒸発熱の潜熱を加えた値となります。

飽和水の比エンタルピ = h' 、飽和蒸気の比エンタルピ = h'' 、蒸発熱 = γ とすれば、

$$h'' = h' + \gamma \quad h' = h'' - \gamma \quad \gamma = h'' - h'$$

の関係が式の転換によって生まれます。それぞれの式の意味をよく理解することが大切です。

(7) 伝熱

a. 伝導, 対流, 放射

熱は、さきにも述べたとおり温度の高い部分から低い部分に移動します。このことを伝熱といい、伝導、対流および放射の3つの伝熱作用があります。これらは、単独で起こることもありますが、ボイラーではこれら3つの組合せによって起こることが多いのです。

伝導とは：金属棒の一端を熱すると棒内部を通り他端に伝わる伝導伝熱のことをいいます。伝導の良否を表わすのに熱伝導率 (kJ/(m · h · °C) [kcal/(m · h · °C)]) が用いられます。

対流とは：温度の高くなった水は膨張し軽くなって上昇し、温度の低い水が下方へ動く、このような温度差によって生ずる水の流動のことをいい、対流伝熱とっています。

放射とは：太陽の直射を受けたり、ストーブやたき火に直面したりすると、周囲の温度に関係なく熱くなります。このように、空間を隔てて、2つの相對している物体間で熱が伝わります。これを放射伝熱または単に熱放射とっています。

b. 熱伝達および熱貫流

流体（液体や気体）が固体壁に接触して、その間で熱の移動が行われると、伝熱は、伝導、対流および放射が総合されたものとなり、特にこれを熱伝達または表面伝熱といっています。ボイラーの熱ガス側、水側の伝熱がこれに該当しています。熱伝達の良否は熱伝達率 ($\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ | $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$) によって表わされ、①流体の種類、②表面の状態、③流れの状態、④温度などによって変わります。

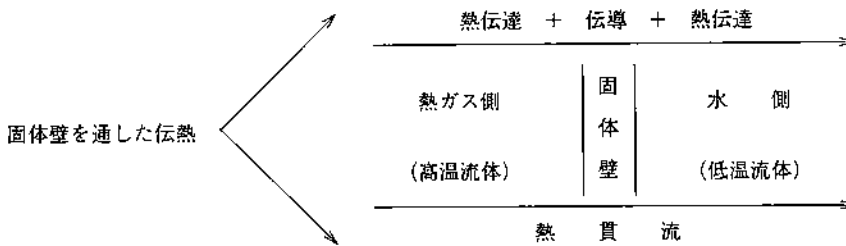


図1-4 固体壁の伝熱過程

固体壁の一面に高温の流体、他面に低温の流体が接しているとき、固体壁を通して熱の移動が行われます。これを熱貫流または熱通過といっています。これは、熱伝達、熱伝導が総合されたものになります。熱貫流の良否は、熱貫流率または熱通過率 ($\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ | $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$) によって表わされ、熱伝達率、熱伝導率およびその厚さによって決まります。

1.1.2 蒸気の性質

(1) 一般的性質

容器に水を入れて一定の圧力のもとで熱すると、しだいに水の温度が上がり、圧力に相当した一定の温度に達すると、温度の上昇が止まり沸騰が始まります。この温度をその圧力に対する飽和温度といい、また、そのときの圧力をその温度に対する飽和圧力といっています。

飽和温度とは：蒸気と液体とがある圧力と温度のもとで平衡状態にあるとき、その温度をその圧力に対する飽和温度といっています。

飽和圧力とは：蒸気と液体とがある圧力と温度のもとで平衡状態にあるとき、その圧力をその温度に対する飽和圧力とといいます。

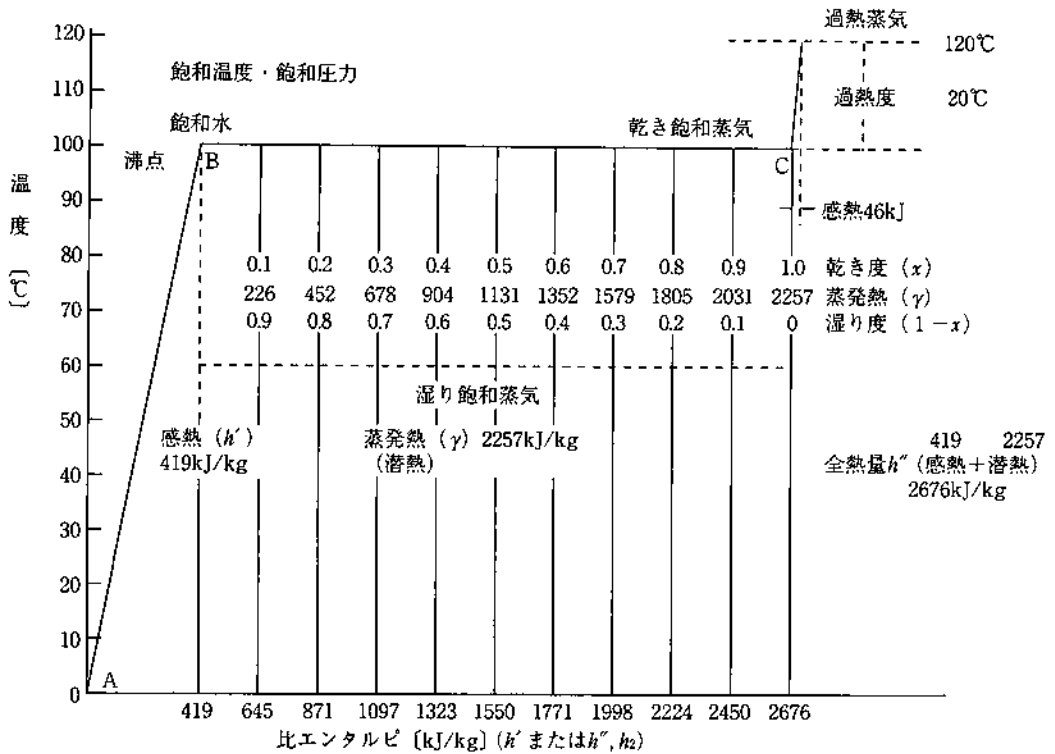


図1-5 標準気圧のもとで0℃の水が飽和・過熱蒸気になる過程 (SI)
 ※ 工学単位系で記したものは、附図1 (別冊95頁) 参照

標準気圧での水の飽和温度は100℃で、圧力が高くなるに従って飽和温度は高くなり、それぞれの圧力に対する飽和温度は一定の関係にあります。

水が飽和温度に達し沸騰を開始すると、全部の水が蒸気になるまでは、加えられた熱が蒸発に費やされるため水の温度は変わりません。飽和温度の水を飽和水、蒸発してできた蒸気を飽和蒸気といいます。図1-5は標準気圧のとき、0℃の水に熱を加えていったときの状態変化を示しています。

蒸発熱は圧力が高くなるほど小さくなり、ある圧力に達すると0になります。この圧力を臨界圧力、そのときの温度を臨界温度といい、このような点を臨界点といっています。また、臨界点を超えると超臨界といって、超臨界圧力、超

臨界温度の領域となります。

(2) 飽和蒸気

一般に、飽和蒸気にはごくわずかの水分が含まれており、湿り飽和蒸気、または単に湿り蒸気といわれています。これに対して、水分の含まれていない蒸気を乾き飽和蒸気、または単に乾飽和蒸気といっています。

1 kg の湿り蒸気の中に x kg の乾き飽和蒸気と、 $(1 - x)$ kg の水分が含まれている場合、 x をその湿り蒸気の乾き度、 $(1 - x)$ を湿り度といっています。ボイラー出口での飽和蒸気は、乾き度0.98～0.95程度の湿り蒸気になっているのがふつうです。

(3) 過熱蒸気

湿り蒸気を熱すると水分が蒸発して乾き飽和蒸気になります。この乾き飽和蒸気をさらに熱すると温度は上昇し、圧力に相当した飽和温度より高い温度の蒸気となり、これを過熱蒸気といっています。

過熱蒸気の温度と同じ圧力の飽和蒸気の温度との差を過熱度と呼んでいます。

(4) 蒸気表

蒸気の重要な諸性質を表示したもので、種々の圧力および温度に対して、比体積、比エンタルピおよび蒸発熱などの数値が示されています。これには、温度および圧力基準の表があります。表1-1に圧力基準の表の一部を示します。蒸気表の圧力は絶対圧力表示になっているので、間違いのないように使います。なお、蒸気表の圧力上昇にともなう他項目の変化で蒸気の性質がわかります。

- ① 飽和温度：しだいに上昇する。
- ② 比体積：飽和水は温度の上昇にともない膨張してしだいに大きくなり、飽和蒸気は圧力上昇による縮小、温度上昇による膨張の影響を受けるが、圧力上昇による縮小がより大きく作用して、しだいに小さくなる。そして、臨界点において両者は同じになる。
- ③ 比エンタルピ：飽和水はしだいに大きくなる。蒸発熱は前述したように、しだいに小さくなり臨界点で0になる。飽和蒸気は、飽和水と蒸発熱の合計をしたものである。だんだん大きくなるものと小さくなるものとの合計



表 1-1 蒸気表(蒸気表中の圧力 MPa は絶対圧力)

飽和蒸気表 (圧力基準)

圧力 MPa	飽和温度 ℃	比体積 m ³ /kg		比エンタルピ kJ/kg		
		飽和水 v'	飽和蒸気 v''	飽和水 $h' = h'' - r$	飽和蒸気 $h'' = h' + r$	蒸発熱 $r = h'' - h'$
0.1	99.6	0.001043	1.6940	417.4	2,675.0	2,257.5
0.15	111.4	0.001053	1.1594	467.1	2,693.1	2,226.0
0.2	120.2	0.001061	0.8857	504.7	2,706.2	2,201.6
0.3	133.5	0.001073	0.6058	561.5	2,724.9	2,163.4
0.4	143.6	0.001084	0.4624	604.7	2,738.1	2,133.3
0.5	151.8	0.001093	0.3748	640.2	2,748.1	2,107.9
0.6	158.8	0.001101	0.3156	670.5	2,756.1	2,085.6
0.7	165.0	0.001108	0.2728	697.1	2,762.8	2,065.6
0.8	170.4	0.001115	0.2403	721.0	2,768.3	2,047.3
0.9	175.4	0.001121	0.2149	742.7	2,773.0	2,030.3
1.0	179.9	0.001127	0.1944	762.7	2,777.1	2,014.4
1.1	184.1	0.001133	0.1774	781.2	2,780.7	1,999.5
1.2	188.0	0.001139	0.1633	798.5	2,783.8	1,985.3
1.3	191.6	0.001144	0.1512	814.8	2,786.5	1,971.7
1.4	195.1	0.001149	0.1408	830.1	2,788.9	1,958.8
1.5	198.3	0.001154	0.1317	844.7	2,791.0	1,946.3
2.0	212.4	0.001177	0.0996	908.6	2,798.4	1,889.8
3.0	233.9	0.001217	0.0666	1,008.4	2,803.3	1,794.9
5.0	263.9	0.001286	0.0394	1,154.5	2,794.2	1,639.7
10.0	311.0	0.001453	0.0180	1,407.9	2,725.5	1,317.6
15.0	342.2	0.001657	0.0103	1,610.2	2,610.9	1,000.7
20.0	365.8	0.002039	0.0059	1,827.1	2,411.4	584.3
22.064 ^{*2}	373.95 ^{*1}	0.003106	0.00311	2,087.6	2,087.6	0

[注] *1: 臨界温度, *2: 臨界圧力

※ 工学単位系で記したものは, 附表 6 (別冊96頁) 参照

であるから, しだいに大きくなり 3 MPa [30kgf/cm²] 付近で最大値となり, その後はしだいに小さくなる。そして, これも臨界点で飽和水と飽和蒸気は同じとなる。

- ④ 応用: 比体積のところでは, 飽和蒸気の数値を飽和水の数値で除すと, 体積倍数 (体積の膨張倍数) がでる。これは, ボイラー水の水循環の原理上大切な事項で, しだいに小さくなって臨界点で 1 になり体積膨張がない。このことは, 圧力が上がれば上がるほど, ボイラー水の自然循環が悪くなり, 強制循環式ボイラーが生まれた理由となっている。

表 1-2 飽和水と飽和蒸気の体積倍数（蒸気表より）

0.1MPa	1624倍	1.1MPa	157倍	5.0MPa	31倍	20.0MPa	3倍
0.2MPa	835倍	2.0MPa	85倍	10.0MPa	12倍	22.064MPa	1倍
0.6MPa	287倍	3.0MPa	55倍	15.0MPa	6倍		

※ 工学単位系で記したものは、附表7（別冊96頁）参照

1.1.3 ボイラーの蒸気発生と水循環

ボイラーでは、燃焼によって生じる熱をボイラー水に伝える部分を伝熱面といます。伝熱面に接している水は熱を受けて温度が上昇し、飽和温度に達すると盛んに蒸発して蒸気となります。

温度の上昇した水および発生蒸気の気泡を含んだ水は、軽くなり上昇流となって上昇し、その後温度の低い水が下降してきます。このようにボイラー内で自然に水の循環流ができて次々に蒸気が発生します。気泡を含んだ水は、上昇して水面に達し蒸気を分離した後、下降流に戻るようになります。これがボイラー水の自然循環です。

丸ボイラーは、伝熱面の多くを水中に備えている関係で、そのままでボイラー水の自然循環が行われる構造となっています。

水管ボイラーでは、水管を通して水の循環を行っていますから、水と気泡の混合体が上昇する管（上昇管、蒸発管）と、水が下降する管（下降管、降水管）をはっきり区別して設けているものが多いのです。

水の循環が良いと熱が水に十分に伝わり、伝熱面温度も良好に保たれます。循環が悪いと発生した蒸気の気泡が伝熱面で停滞して、伝熱を阻害することになるので、伝熱面の過熱や腐食などの原因になったりします。

1.2 ボイラーの概要

1.2.1 ボイラーの構成

一般に、ボイラーは燃料を燃やして発生した熱によって、容器内の水を加熱し、所要の蒸気または温水を作り出す装置で、ボイラー本体、炉(火炉)、附属品、附属装置および附属設備などから構成されています。

(1) ボイラー本体

ボイラー本体は、鉄の種類により鋼製ボイラーと鋳鉄製ボイラーに区分されます。本体は、燃焼室で生じた熱を受け内部の水を加熱・蒸発させて、蒸気または温水を発生する部分なので、圧力に十分耐えられるように、胴、ドラム、管などによって構成されているものが多くあります。低圧、低温用ボイラーには鋳鉄製が用いられています。

温水ボイラーの本体は水で満たされていますが、蒸気ボイラーでは本体内容積の $\frac{2}{3} \sim \frac{4}{5}$ 程度が水に満たされています。水の部分を水部または水室、蒸気の部分を蒸気部または気室と呼んでいます。また、水の表面を水面、水面の位置を水位といっています。

ボイラーの伝熱面には次の2通りがあります。

放射伝熱面：燃焼室に直面していて火炎などから強い放射熱を受ける面

接触伝熱面または対流伝熱面：燃焼室を出た熱ガス通路に配置された部分で、主として熱ガスとの接触によって熱を受ける面

(2) 炉(火炉)

炉は、燃料を燃焼し熱を発生する部分で、燃焼装置と燃焼室で構成されています。

燃焼装置は燃料の種類によって異なり、液体、気体燃料および微粉炭にはバーナ(噴燃器)が、自動または手動で用いられ、固体燃料には火格子燃焼が、手だきまたは機械だき(ストーカ)で用いられています。

燃焼室は、バーナから噴射された燃料や、火格子上に送入された燃料を速やかに着火・燃焼させるところで、燃料と空気との接触混合を良くして完全燃焼を完了させなければなりません。一部廃熱ボイラーなどを除きボイラー本体と一体に構成されることが多いのです。

最近では、加圧燃焼方式といって、燃焼室内は大気圧以上にして運転されていますので、このような場合は燃焼室を気密構造とする必要があります。

(3) 附属品、附属装置および附属設備

ボイラーを機能させるためには、安全に、かつ、効率よく運転できるように、次のような附属品、附属装置および附属設備が設けられます。

- ① 圧力計、水面計、流量計、通風計などの指示器具類
- ② 安全弁、高低水位警報器などの安全装置
- ③ 給水ポンプ、インゼクタなどの給水装置
- ④ 吹出し弁、吹出しコック、連続吹出し装置などの吹出し装置
- ⑤ 主蒸気管、主蒸気弁、逆止め弁、胴内装置などの送気装置
- ⑥ 圧力、温度、水位、燃焼などの自動制御装置
- ⑦ 通風装置および煙突
- ⑧ 附属設備の過熱器
- ⑨ 附属設備のエコノマイザ
- ⑩ 附属設備の空気予熱器
- ⑪ 脱気器、イオン交換装置などの給水処理装置
- ⑫ 燃料運搬装置、灰処理装置、集じん装置、脱硫装置、脱硝装置
- ⑬ 附属設備のストブロワ、その他の装置

ボイラーの附属品、附属装置および附属設備は、次のようになっています。

附属品：単品で機能するもの、たとえば圧力計、水面計など

附属装置：複数以上のものが組み合わされて機能するもの、たとえば給水装置（給水ポンプ、止め弁、配管、電動機など）

附属設備：附属品および附属装置はなんらかの形でボイラーには必ずついており、附属設備はついているボイラーもあれば、ついていないボイラー

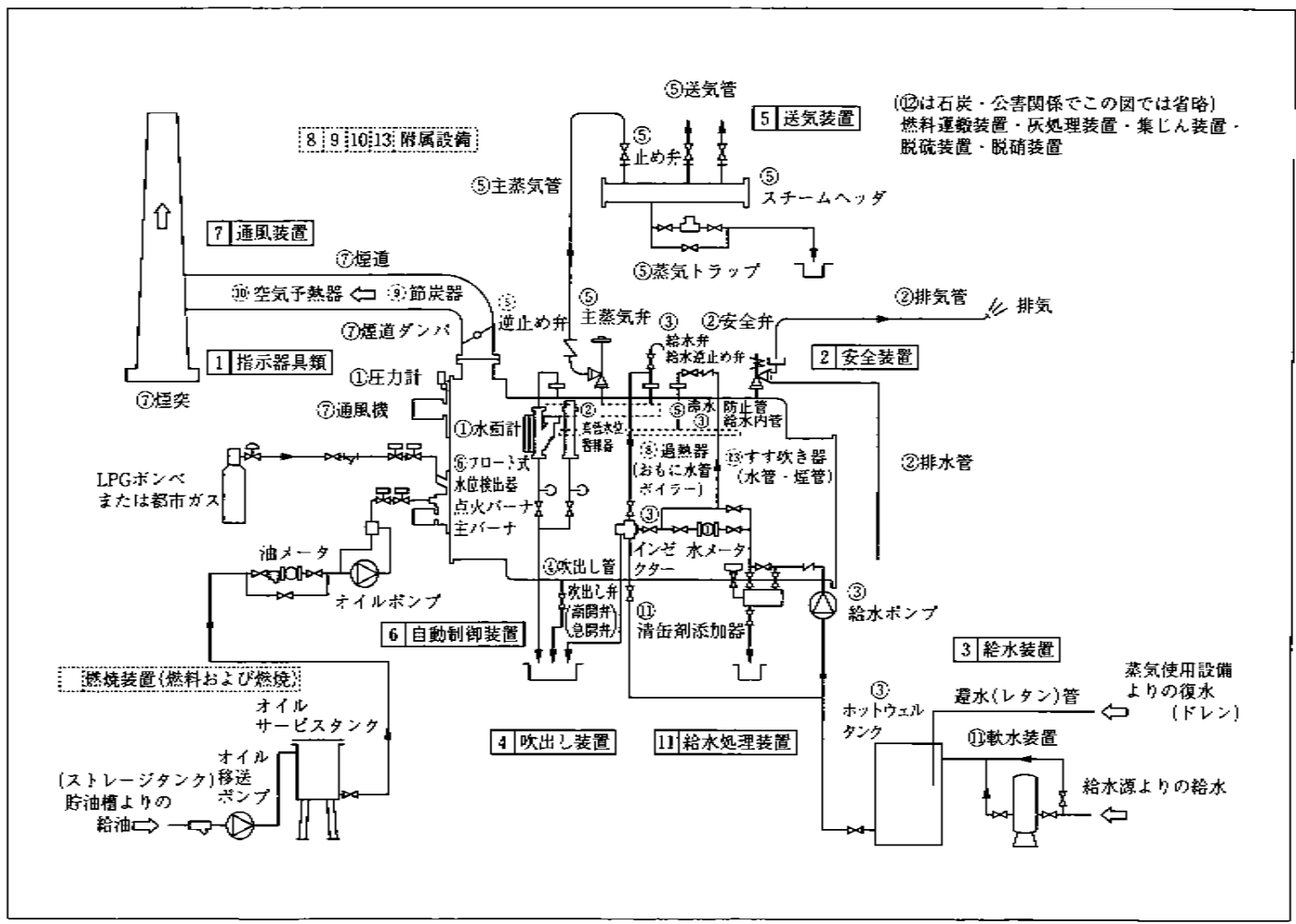


図1-6 附属品、附属装置および附属設備の系統図

もある特別な目的をもった設備のことで、ボイラーの構造では、前記の⑧、⑨、⑩と⑬のストブローの4つに限っています。

ボイラーには、いろいろの目的をもった附属品、附属装置および附属設備が設けられています。種類が多くなかなかわかりづらいのですが、試験ではボイラーの構造でも、ボイラーの取扱いでも、いちばん多く出題されています。科目別10問のうち4問がここから出されています。そこで、ある程度系統別の整理をして学習する必要があります。前記の①～⑬は、一般的な系統別に記載してあり、図1-6にこれを示します。図中の番号はすべて符合するように記述してありますが、炉筒煙管ボイラーの絵に挿入した関係上、一般には付設されていないものも、理解をたすけるために掲載してありますので、その点を注意して見てください。系統別に着色し色分けして学習に利用してください。

1.2.2 容量および効率

(1) 容量

ボイラーの容量（能力）は、最大蒸発量（kg/hまたはt/h）で表わします。実際蒸発量は圧力・温度などの条件が異なる場合は、単純比較はできません。すなわち、ボイラー容量は蒸気圧力、温度および給水温度によって異なるため、発生蒸気の吸収熱量で、100℃の飽和水を蒸発させて、100℃の乾飽和蒸気にした場合の蒸発量として表わし、これを換算蒸発量（基準または相当蒸発量）といます。

換算蒸発量（kg/h）

$$= \frac{\text{実際蒸発量 (kg/h)} \times [\text{発生蒸気の比エンタルピ (kJ/kg)} - \text{給水の比エンタルピ (kJ/kg)}]}{2,257 \text{ kJ/kg}}$$

一般に、

$$Ge = \frac{G(h_2 - h_1)}{2,257} \text{ (kg/h)} \quad \left\{ \frac{G(h_2 - h_1)}{539} \text{ (kg/h)} \right\}^{*1}$$

で示されています。

*1 比エンタルピの単位として kcal/kg を用いたとき。

第1科目 ボイラーの構造

解説 算式の分子は発生蒸気の吸収熱量です。()内の計算は発生蒸気1kg当たりの吸収熱量の計算で、これに発生蒸気量(実際蒸発量)を乗じると算出されます。発生蒸気の比エンタルピの h_2 は蒸気表の h'' とは違います。蒸気表の h'' は $x = 1$ とした乾飽和蒸気の比エンタルピですが、発生蒸気の h_2 は、一般に $x = 1$ ではないので、実際の乾き度により算出します。

前述しているとおり、 $h'' = h' + \gamma$ ですが、 $h_2 = h' + \gamma \times x$ となります。この分子の算式は、次のボイラー効率でも同じです。

(2) ボイラー効率

ボイラー効率とは、全供給熱量(分母)に対する発生蒸気の吸収熱量(分子)の割合をいいます。したがって、(1)容量の換算蒸発量の算式分母を

$$\text{燃料消費量(kg/h)} \times \text{燃料低発熱量(kJ/kg \{kcal/kg\})}$$

と変更すればよいわけです。

ボイラーでの熱計算は、一般に低発熱量を使用しています。高発熱量で計算した場合は、そのことを表示するようにしています。

1.2.3 ボイラーの分類

現在広く使用されているボイラーを構造で分類すると、表1-3のとおりです。

表1-3 ボイラーの分類

区 分	種 類	形 式
鋼製ボイラー	① 丸ボイラー	・ 立てボイラー ・ 炉筒ボイラー ・ 煙管ボイラー ・ 炉筒煙管ボイラー
	② 水管ボイラー	・ 自然循環式水管ボイラー ・ 強制循環式水管ボイラー ・ 貫流ボイラー
	③ 特殊ボイラー	・ 廃熱ボイラー ・ 特殊燃料ボイラー ・ 特殊熱媒ボイラー ・ その他(電気ボイラーなど)
鋳鉄製ボイラー	④ 鋳鉄製ボイラー	・ 鋳鉄製組合せボイラー

1.3 丸ボイラー

1.3.1 概要

丸ボイラーは径の大きい胴を主体とし、その内部に炉筒、火室、煙管などを設けたものです。胴の径が比較的大きいので高圧用とするのは困難です。また、胴の大きさと伝熱面積が制限されるので、大容量にも適しません。しかし、構造が簡単であるため、主として圧力1 MPa {10kgf/cm²} 以下で蒸発量10t/h程度までのボイラーとして広く使用されています。

丸ボイラーは先にも述べたとおり、伝熱面の多くは水部中に設けられているので、水の対流が容易であり、特別の水循環を考える必要がありません。水管ボイラーに比べて伝熱面積当たりの保有水量が大きいため、たき始めてから所要圧力になるまでに長時間を必要とします。その反対に、蒸気使用量の変動があっても、圧力変化が緩やかになります。

なお、丸ボイラーは燃焼室の位置により、燃焼室を胴内に設けたものを内だし式、胴の外部に設けたものを外だし式といい、内だし式の燃焼室のことを円筒形のものを炉筒、その他のものを一般に火室と呼んでいます。

丸ボイラーは水管ボイラーと比較すると、次のような特徴があります。

- 長所 ① 構造が簡単で、設備費が安く、取扱いも容易である
② 負荷の変動による圧力変動が少ない
- 短所 ① 高圧のものや、大容量のものには適さない
② 起動から蒸気発生までに時間がかかる
③ 保有水量が多く、破裂の被害が大きい

1.3.2 立てボイラー

立てボイラーは胴を直立させ、火室を底部においたものです。床面積が少なくてすみませんが、伝熱面積を広くとれないなどの理由から小容量に限られてい

第1科目 ボイラーの構造

ます。従来から広く用いられた代表形式として、横管式と多管式があります。

横管式：図1-7(a)に示すように、火室内に水部を連絡する少数の横管を設けたもので、伝熱面を増し、かつ、火室が補強されています。

多管式：従来煙管式とも呼ばれていたもので、図1-7(b)のように伝熱面を増すために、火室管板と胴上部管板との間に多数の煙管を設けたものです。

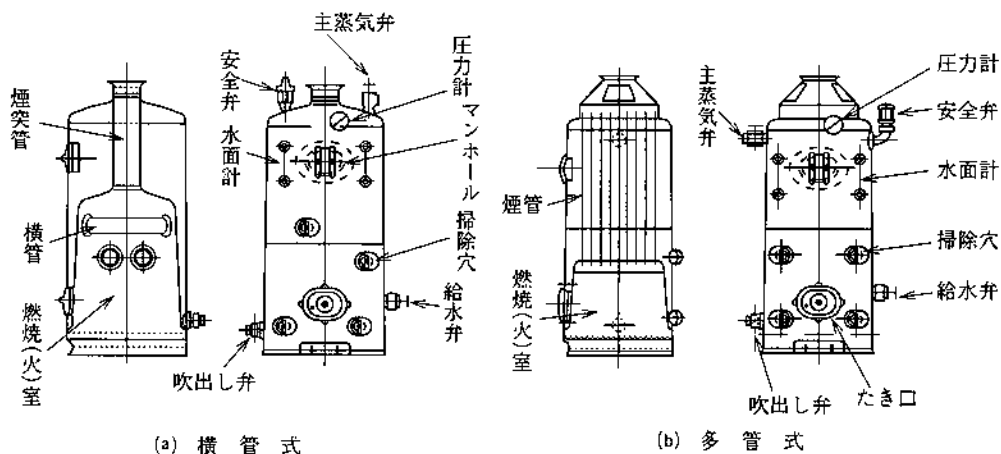


図1-7 立てボイラー

立てボイラーの一般的な特徴は次のとおりです。

- 長所 ① 狭い場所に設置ができ、据付けが簡単で移設が容易にできる
- 短所 ① 伝熱面積が少なく、ボイラー効率が低い、小容量に限り使用
 ② 構造上水面が狭いので、発生蒸気中の水分が多くなりやすい
 ③ 小形のため内部掃除や点検が不便

1.3.3 炉筒ボイラー

炉筒ボイラーは、円筒形の胴内を貫通する1本または2本の炉筒を設けたもので、炉筒が燃焼室を形成しています。図1-8に示すように、炉筒1本のをコルニシュボイラー、2本のをランカシャボイラーといいます。一般工場用として古くから使用されていたボイラーですが、近年性能のよい他の形式のボイラーに取って替われ、新設されるものはほとんどありません。

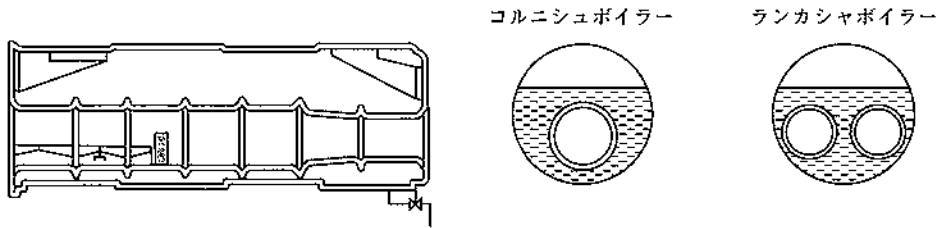


図1-8 炉筒ボイラー

1.3.4 煙管ボイラー

煙管ボイラーは、胴の水部に燃焼ガスの通路となる多数の煙管を設けて、伝熱面の増加をはかったボイラーで、外だき式のものと同内だき式のものがあります。

(1) 外だき横煙管ボイラー

外だき横煙管ボイラーは、図1-9に示すように、ボイラー胴の下にれんが積み焼室を設けたもので、燃焼ガスは胴の下部を加熱してから煙管に入り、さらに胴の側面を外部から加熱するように導かれています。

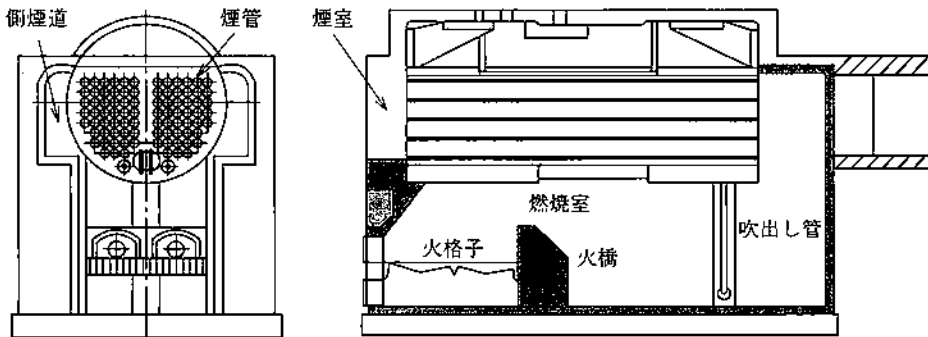


図1-9 外だき横煙管ボイラー



第1科目 ボイラーの構造

(2) 内だき煙管ボイラー

内だき煙管ボイラーは、燃焼室をボイラー本体内に設けたもので、れんが積み
みの外部煙道がないのが特徴で、図1-10に示すような旧形式のボイラーです。

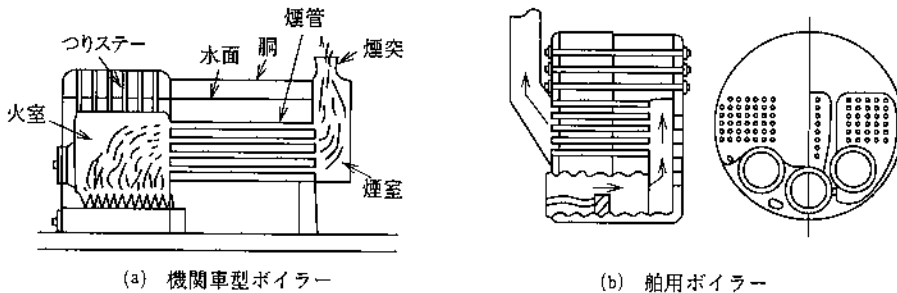


図1-10 内だき煙管ボイラー

(3) 煙管ボイラーの特徴

煙管ボイラーは炉筒ボイラーに比べ、次のような特徴をもっています。

- 長 所
- ① 容積当たりの伝熱面積が大きく、熱効率がよくて、同一容量
では床面積が少なくすむ
 - ② 伝熱面積当たりの保有水量が少なく、たき始めてから所要蒸
気が発生するまでの時間が比較的短い
 - ③ 外だき式では燃焼室の設計が自由にできるので、燃料の選択
範囲が広い
- 短 所
- ① 構造がいくぶん複雑となり、煙管を管板に取り付ける部分が
故障しやすい
 - ② 内部掃除が困難となるので、やや良質の給水が必要となる

1.3.5 炉筒煙管ボイラー

炉筒煙管ボイラーは、胴中に炉筒と煙管群の両方を設けた内だき式ボイラー
で、一般に径の大きい波形炉筒1本と煙管群を組み合わせてできています。炉
筒ボイラーと煙管ボイラーの長所を生かし、短所を補う構造となっています。