

## 8. ガラス工業の省エネルギー



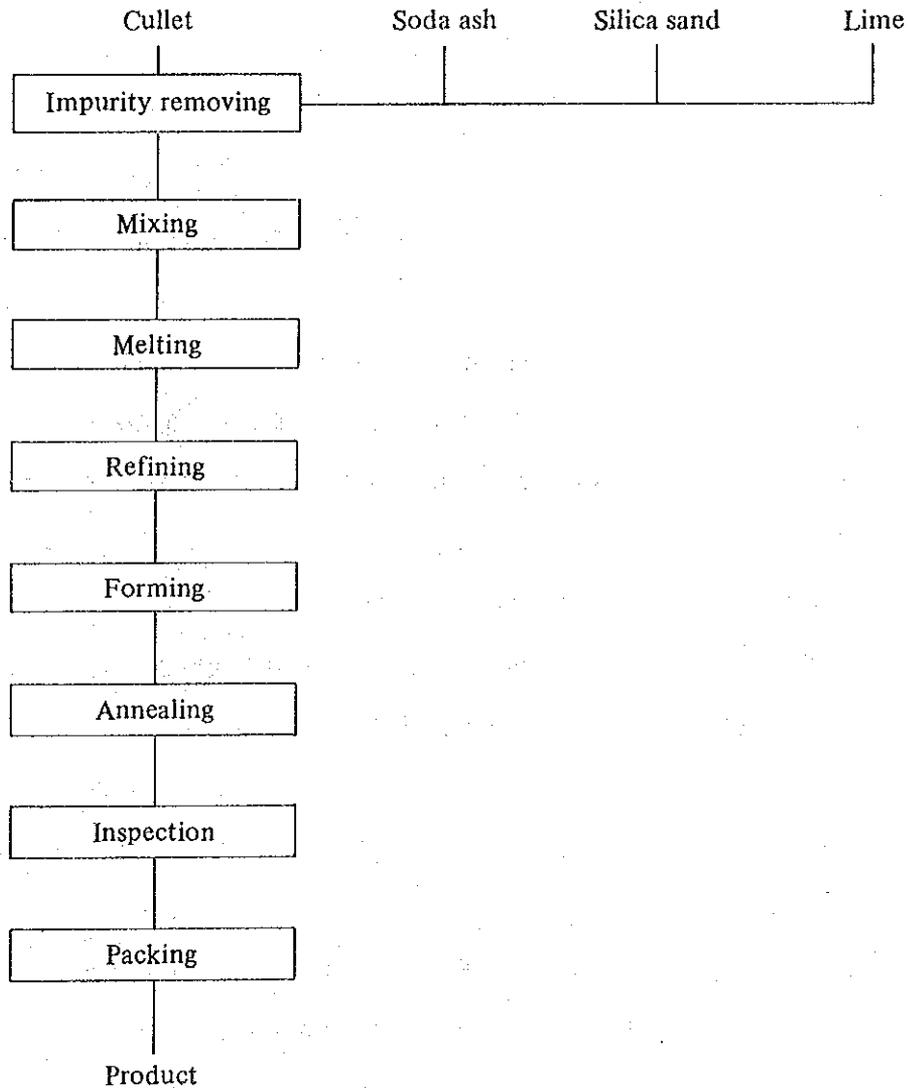
## 8. ガラス

### 8.1 エネルギー使用の特徴

#### 8.1.1 製造工程と主要設備

診断対象となったビン、ガラス食器製造業の製造工程は、比較的簡単でFig 8. 1に示すとおりである。

Figure 8.1 Manufacturing Process



ガラスの組成は用途により異なるが、ビン・食器用は Table 8. 2 に示すような組成のソーダ石灰ガラスである。

Table 8.1 Composition of Glass for Vessel

Components	Contents
SiO <sub>2</sub>	70 ~ 74 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.5 ~ 2.0
CaO MgO	8 ~ 12
Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O	13 ~ 16

(1) 製造工程

製造品種のガラス組成に合わせて珪砂、ソーダ灰、石灰石、ドロマイト等を混合し、これに清澄剤、着色剤、消色剤等少量の副原料及び適当量の屑ガラス（カレット）を配合して調合原料とする。

調合原料は、1,500℃程度に保たれている熔融炉（Figure 8.2 参照）に投入され、上部空間の火炎の輻射熱により加熱されて熔融し、更に清澄が行われて泡が分離される。この時、炉内の未熔融ないし低温の材料が作業槽に流入しないように、中央部が高温になるような温度分布を保つ。

熔融・清澄を終えたガラスはスロートを経て作業槽に入り、ついでフォハースから成型機に供給される。作業槽及びフォハースでは、成型品の重量・形状に応じて成型に適した温度に、ガラスの温度が調節される。この部分では、多数の小型バーナあるいは直接通電により加熱される。

成型は手吹きによる場合もあるが、大量生産の場合は、一般にIndividual Section Machineで行われる。

成型された製品は、熱的歪みが残らないよう徐冷炉で徐冷される。徐冷温度及び時間はガラス組成、製品肉厚等によって異なるが、500 ~ 550℃から 400℃程度まで 1 ~ 5℃/minの速度で徐冷される。徐冷炉はバッチ炉もあるが、メッシュベルトを持つトンネル窯でレアー（Lehr）と称する連続炉が多く用いられる。

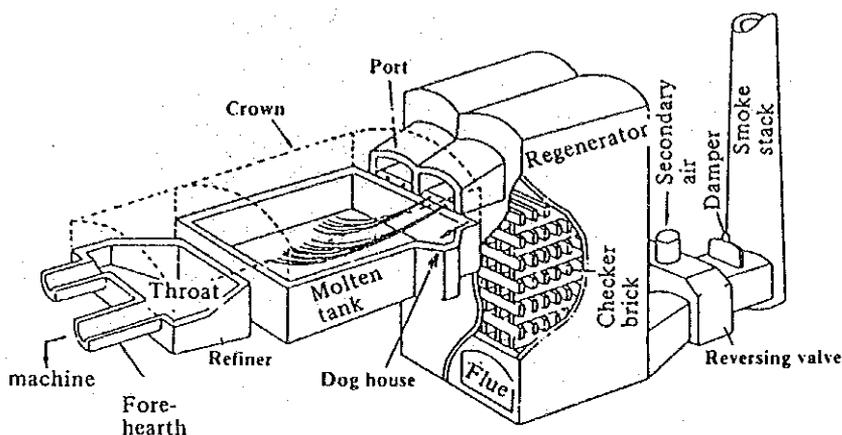
徐冷炉を出た製品は検査を受け梱包される。

(2) 主要設備

熔融に使われる炉は、大量連続操業に適したタンク炉と多品種少量生産用のルツボ

炉に分けられるが、以下タンク炉について記述する。 Figure 8. 2は 代表的な中型タンク炉の図である。

Figure 8.2 Outline Sketch for Middle-Size Tank Furnace (End Port Type)



ガラスの溶融には、1,500℃程度の高温が必要なので、燃焼用の空気は燃焼排ガスとの熱交換により予熱しておく必要があり、図のような蓄熱室又はレキュペレータが用いられる。また燃料を用いる代りに、あるいはその補助として溶融中のガラスに電極を挿入し、直接通電して加熱する方法もある。

溶融炉の耐火物は、ガラスに接触する下部では耐食性のある $ZrO_2 - Al_2O_3 - SiO_2$ 系の電鍍レンガ、上部は珪石質レンガが用いられる。

バーナは、大型の炉以外では炉の軸方向に配置されている（エンドポート方式）。蓄熱室を有する炉ではバーナは偶数個あって、その半数づつを一定時間毎（通常15～20分毎）に交互に切り替えて使用する。

蓄熱室は2部屋に仕切られ、燃焼中のバーナ側は燃焼用空気の予熱に用いられ、反対側には燃焼排ガスを通してチェックレンガに熱を蓄える。一般に蓄熱方式の方がレキュペレータよりも熱回収率が高い。

#### 8.1.2 エネルギーの使用状況

ガラス工場では、エネルギーは次のような形で用いられている。

幾つかのガラスびん工場の目的別のエネルギー使用割合を平均したものを示すと Figure 8. 3 Figure 8. 4 のとおりである。この図からみても、溶融炉及びその他の炉の省エネルギー対策が重要であることがわかる。

参考までに、日本の中程度のタンク炉について行った熱勘定図を Figure 8. 5 に示す。この炉の熱効率は約40%であり、燃焼排ガスに約20%の熱が逃げてい

Figure 8.3 Share of Total Energy Consumption

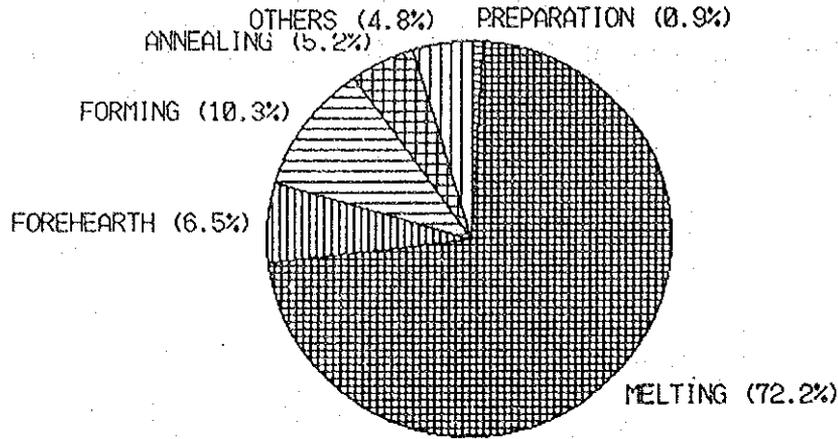


Figure 8.4 Share Electricity Consumption

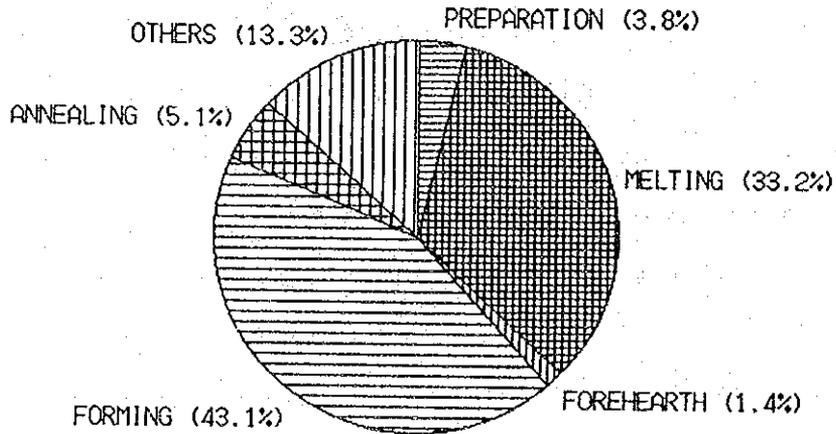
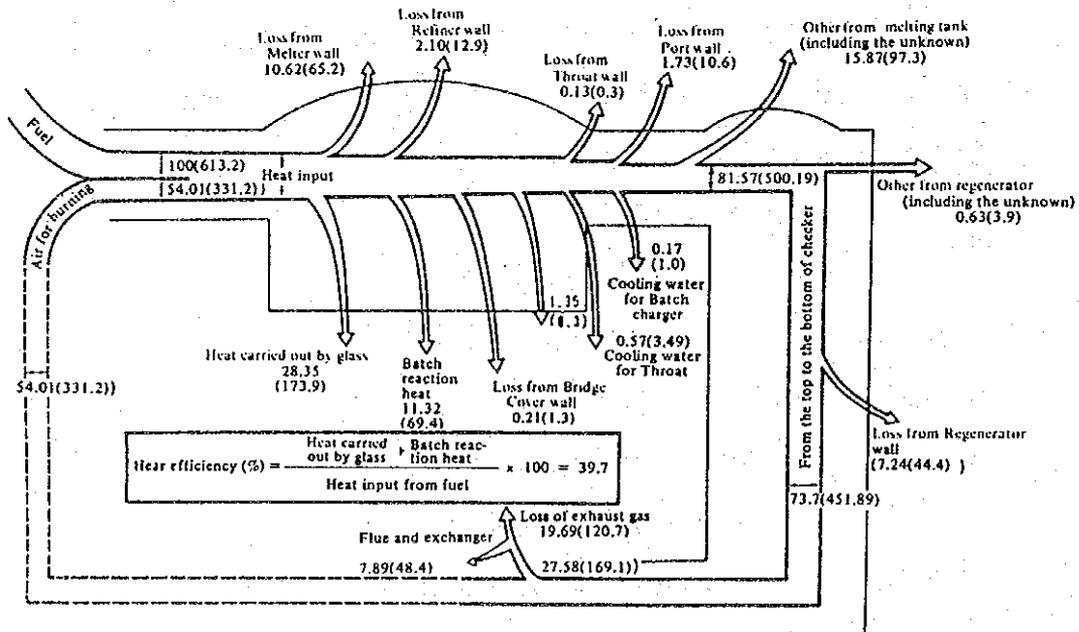


Figure 8.5 Heat Balance Chart for Glass Melting Tank



炉壁等からの損失となっている。

電力エネルギーも含めたガラス・ビン製造の全エネルギー消費原単位は、ガラスの種類、印刷工程の有無などの要素も加わるので、単純に比較することはできない。

参考として、日本の例を示すと、業界平均で約250万kcal/tとなっている。1974年には約350万kcal/tであったから、30万近く減少している。

新設の最も効率の良い炉(200t/d)では182万kcal/t(うち熔融エネルギー原単位95万kcal/t。エネルギー源別に燃料131万kcal/t, 電力51万kcal/t)となっている。

電力消費の内訳は、日本の某社の例では次のようになっている。

Table 8.2 Purpose of Electric Power Consumption

Facilities	Purpose	Ratio
Large-size fan	Cooling of kiln wall, feeding of air for burning	28%
Compressor	Drive and cooling of bottle manufacturing machine	27%
Electric booster	Melting	21%
Other motors		21%
Illumination		3%

## 8.2 熱エネルギー使用の合理化

### 8.2.1 熔融炉

#### (1) 空気比適正化

ガラスの熔融は1,500℃程度の高温で行われるが、このような高温では放射による伝熱が支配的である。絶対温度 $T_1$ , Kの物体から、絶対温度 $T_2$ , Kの物体へ放射される熱量 $Q$ は次式で示される。

$$Q = 4.88 \varepsilon \left\{ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right\} \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

この式から、火炎温度を高くするほど熱伝達量が大きくなることが分るが、火炎温度は過剰空気量の増加とともに低下するので、不完全燃焼を起こさない範囲で空気比を低下させなければならない。

また、排熱回収後の燃焼排ガスでも、なお500℃程度の温度を持っているので、排ガスを減らすことも大切である。

実際排ガス量を  $G$ 、理論排ガス量を  $G_0$ 、理論空気量を  $A_0$ 、空気比を  $m$  とすると、

$$G = G_0 + (m - 1) A_0 \quad \text{Nm}^3/\text{kg}(\text{Nm}^3) \text{ fuel}$$

となり、空気比の減少は排ガス量の減少に役立つ。ここに  $G_0$ 、 $A_0$  の値は燃料の組成から計算すべきであるが、近似的には、燃料の低位発熱量から Table 8.3 の式 (Rosin の式) で求めることができる。

空気比改善により、排ガス量が  $G_1$  から  $G_2$  に減少した場合、排ガス損失の減少による燃料量減により更に排ガス量が減少するので、この場合の燃料節減率は次式のようになる。

$$\text{燃料節減率} = \frac{100R \cdot (1 - \frac{G_2}{G_1})}{100 - RG_2/G_1}$$

(ただし、 $R$  は改善前の排ガス損失割合 (%))

**Table 8.3 Relationship between Low Calorific Value  $H_L$  and  $G_0$ ,  $A_0$  (By Rosin)**

Fuel	$G_0$	$A_0$
Solid fuel ( $H_L$ : kcal/kg fuel)	$\frac{0.89 H_L}{1,000} + 1.65 \text{ Nm}^3/\text{kg fuel}$	$\frac{1.01 H_L}{1,000} + 0.5 \text{ Nm}^3/\text{kg fuel}$
Liquid fuel ( $H_L$ : kcal/kg fuel)	$\frac{1.11 H_L}{1,000} \text{ Nm}^3/\text{kg fuel}$	$\frac{0.85 H_L}{1,000} + 2.0 \text{ Nm}^3/\text{kg fuel}$
Low calorific value gaseous fuel ( $H_L = 500$ to $3,000$ kcal/Nm <sup>3</sup> fuel)	$\frac{0.725 H_L}{1,000} + 1.0 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ fuel}$	$\frac{0.875 H_L}{1,000} \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ fuel}$
High calorific value gaseous fuel ( $H_L = 4,000$ to $7,000$ kcal/Nm <sup>3</sup> fuel)	$\frac{1.14 H_L}{1,000} + 0.25 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ fuel}$	$\frac{1.09 H_L}{1,000} - 0.25 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ fuel}$

日本のあるタンク炉で実測したところでは、 $m = 1.07 \sim 1.16$  の範囲で、燃料消費量が最も少ないという結果がえられている。

燃焼用空気は、燃焼用の予熱空気の他に開口部から侵入する空気があり、直接計量することができないので、排ガス中の酸素濃度または  $\text{CO}_2$  濃度を測定し、物質収支を計算して求める。燃料中の窒素分が少なく、完全燃焼し、かつ燃焼用空気中の窒素分が 79% の場合は、次式のようになる。

$$m = \frac{21}{21 - (O_2) + 0.5(CO)}$$

(O<sub>2</sub>) ……排ガス中酸素濃度%、(CO) ……排ガス中CO濃度%

または、

$$m = \frac{1 - (CO_2) - 1.5(CO)}{\frac{1 - (CO_2)_{\max}}{0.79} \times \frac{(CO_2) + (CO)}{(CO_2)_{\max}}} + 0.21$$

(CO<sub>2</sub>) ……排ガス中炭酸ガス濃度%

(CO<sub>2</sub>)<sub>max</sub> ……理論乾き排ガス中の最高炭酸ガス濃度%

$$(CO_2)_{\max} = \frac{1,867 \cdot C}{G_0'} \times 100 \% \quad (\text{固体・液体燃料})$$

$$G_0' = G_0 - (11.2h + 1.244W)Nm^3/kg$$

ここに、hは燃料1kg中の水素のkg

wは燃料1kg中の水分のkg

cは燃料1kg中の炭素のkg

気体燃料の場合は成分分析値から計算により求める。

(CO<sub>2</sub>)<sub>max</sub> の値は次の数値を使ってもよい。

石炭18.5%、重油15.7%、天然ガス12%、LPG 14.5%。

空気比を適正に保つためには、以下のような事項に注意しなければならない。

a. 液体燃料については次の点に注意する。

- a-1 適正な粘度になるよう予熱する。
- a-2 燃料油中固形物をフィルタで除く。
- a-3 バーナチップを清浄な状態に保つ。
- a-4 噴霧スチーム、空気の圧力を適正にする。

なお、噴霧用空気を天然ガスに変え、2～3%燃料原単位を改善した例がある。

b. 侵入空気防止

原料投入口、バーナ周辺、のぞき窓等から洩れ込む空気は、排ガスを増加させるのみでなく、低温のため炉内温度を低下させる。

侵入空気を最小限に抑えるためには、次の措置が必要である。

- ・開口部を小さくする。例えば目地塗りの徹底、水冷バーナ使用によるバーナまわりの隙間の縮小、原料投入口のバッチによるシールなど。

・ダンパ調節による適正炉圧の維持。

c. 制御

2次空気量は燃料量に応じて比例制御する。さらにコンピュータを組み込み、Crown 温度、排ガス中 $O_2$ 濃度、2次空気温度変化の補正、切替時間の短縮等も含めてより精密に制御することも行われる。

(2) 火炎放射率の改善

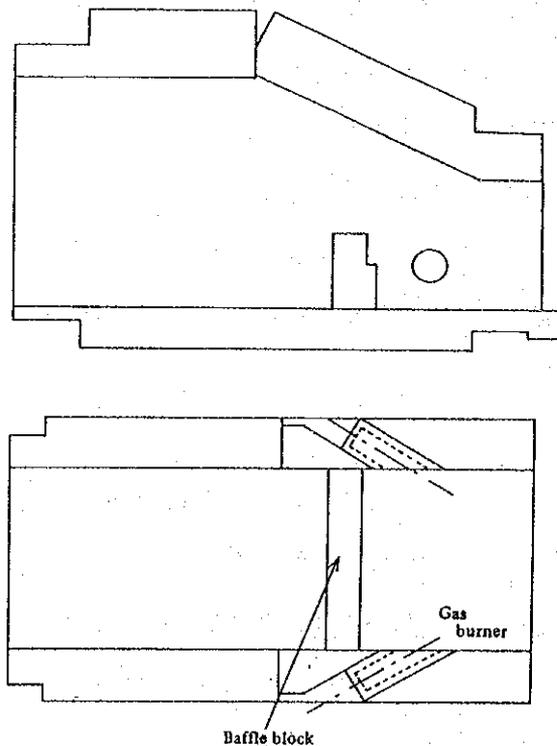
ガス燃焼の場合の伝熱は主として透明な無輝炎からの放射によるもので、高温の炭酸ガス、水蒸気その他の3原子ガスの放射による。

一方、重油燃焼の場合は輝炎放射であって、燃焼過程に炎の中に形成される浮遊炭素粒子からの固体放射の役割が大きい。

前項の放射伝熱の中の放射率 $\epsilon$ の値は燃焼の初期に重油で0.5~0.6、ガスで0.1~0.2と差がある。実際の炉では炎からの放射のみでなく、炉壁からの再放射もあるため影響は緩和されるが、放射伝熱量はガスの方が少くなる。

このため Figure 8.6 のようにポートの途中にBaffleを設け、その後部に燃料ガスを吹き込み、やゝ空気不足の状態に燃焼させて微小な炭素粒子を生成させ、炉内でそれを二次燃焼して輝炎としている例がある。

Figure 8.6 Baffle Block in the Port



(3) 断熱強化

溶融炉の耐火物は温度の点でも、内容物による侵食の点でも極めて苛酷な条件にあり、従来十分な保温がなされず、ガラス液面部の外面は空気冷却も行っていた。しかし、熱勘定図からもあきらかなように炉壁からの放熱は損失の大きな部分を占めているので、高級耐火物を用いて断熱を強化する方向にある。すなわち、天井部ではアルカリやアルミナ含有量の少ないSuper Duty珪石レンガ、側壁、炉床ではアルミナ・ジルコニア・シリカ系の電鍍レンガを内側に張り、その外を耐火レンガ断熱レンガ又はセラミックファイバで覆っている。

Figure 8. 7 から Figure 8. 15 に 新旧の炉の各部レンガ構成と放熱量の差を示した

Figure 8.7 Heat Insulation of Melting Furnace Crown

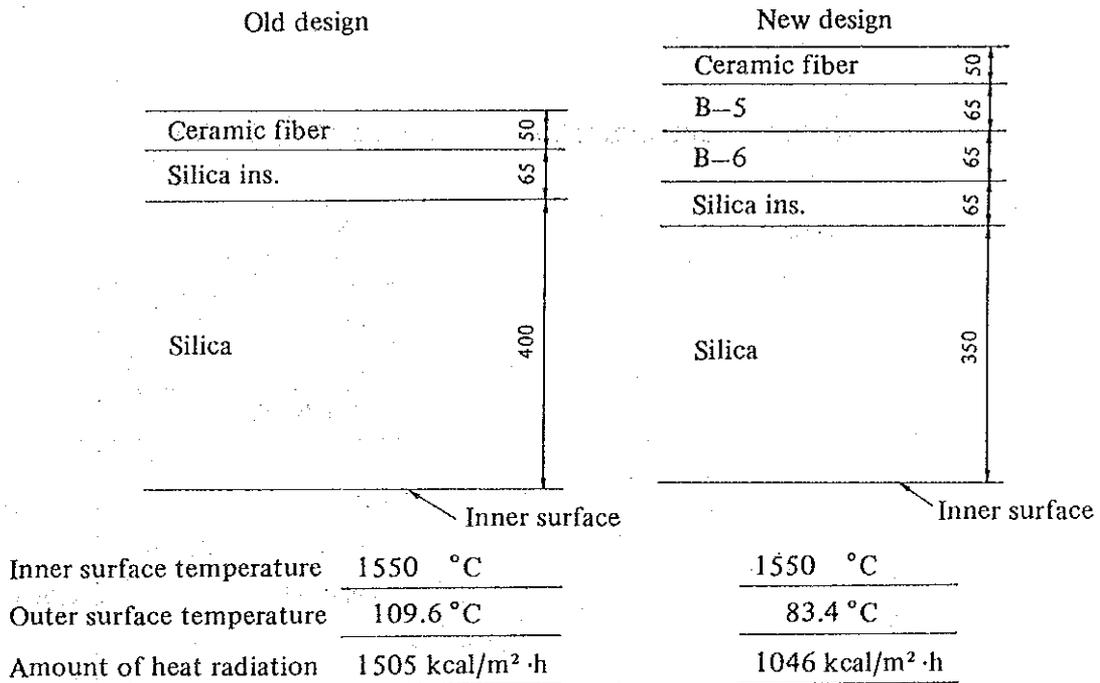


Figure 8.8 Heat Insulation of Working Hearth Crown

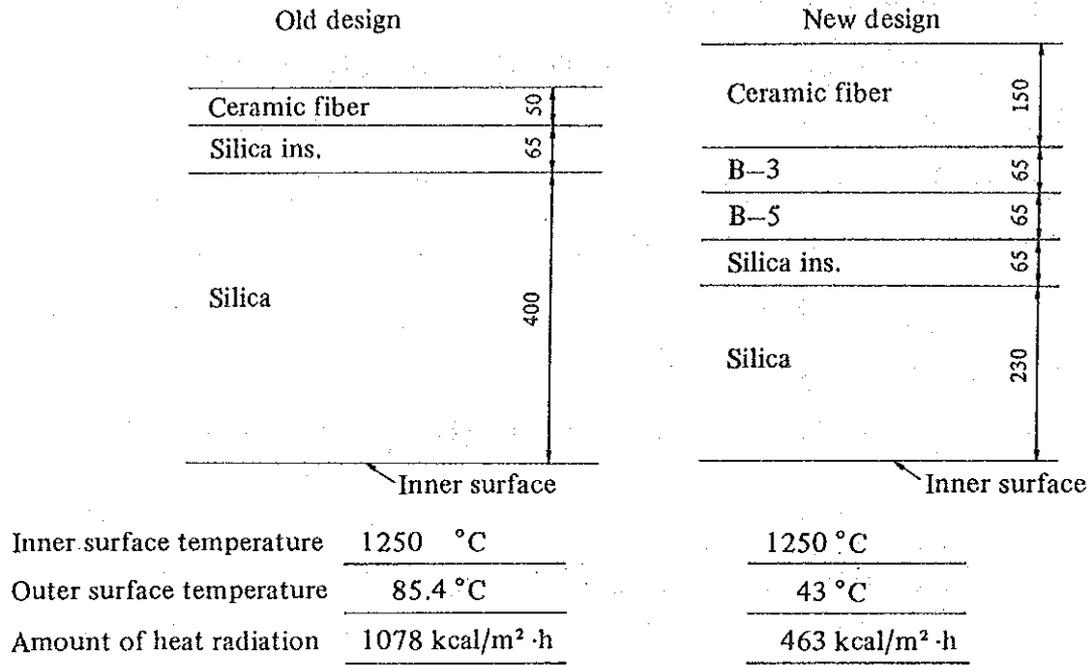


Figure 8.9 Heat Insulation of Regenerator Crown

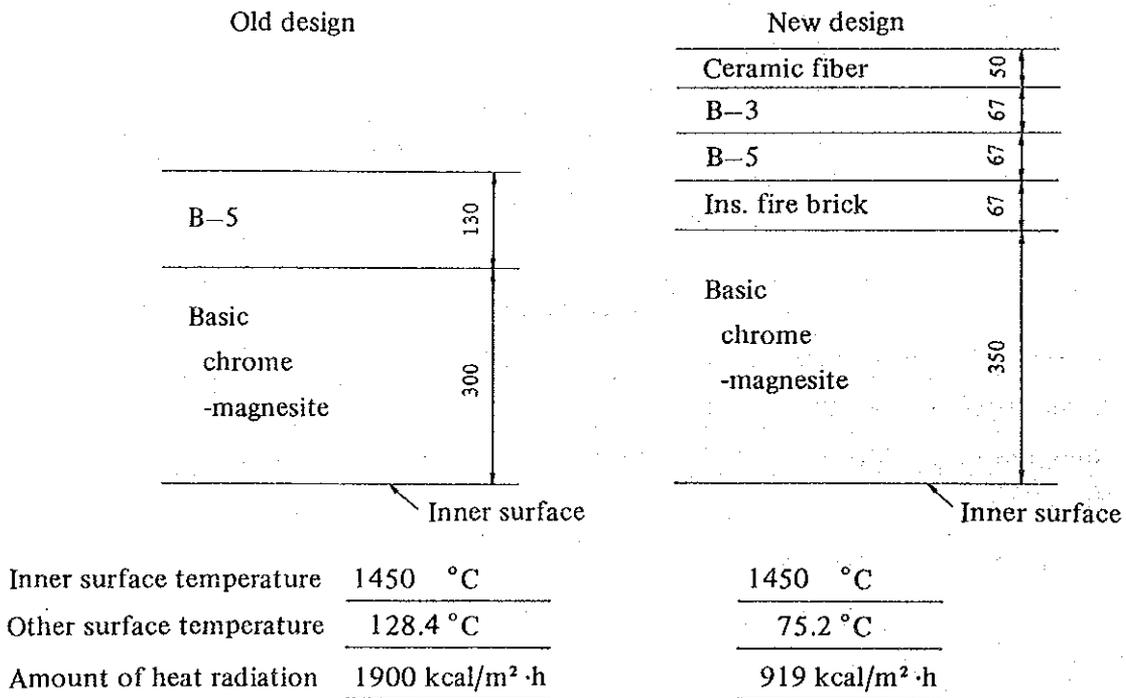


Figure 8.10 Heat Insulation of Port Crown

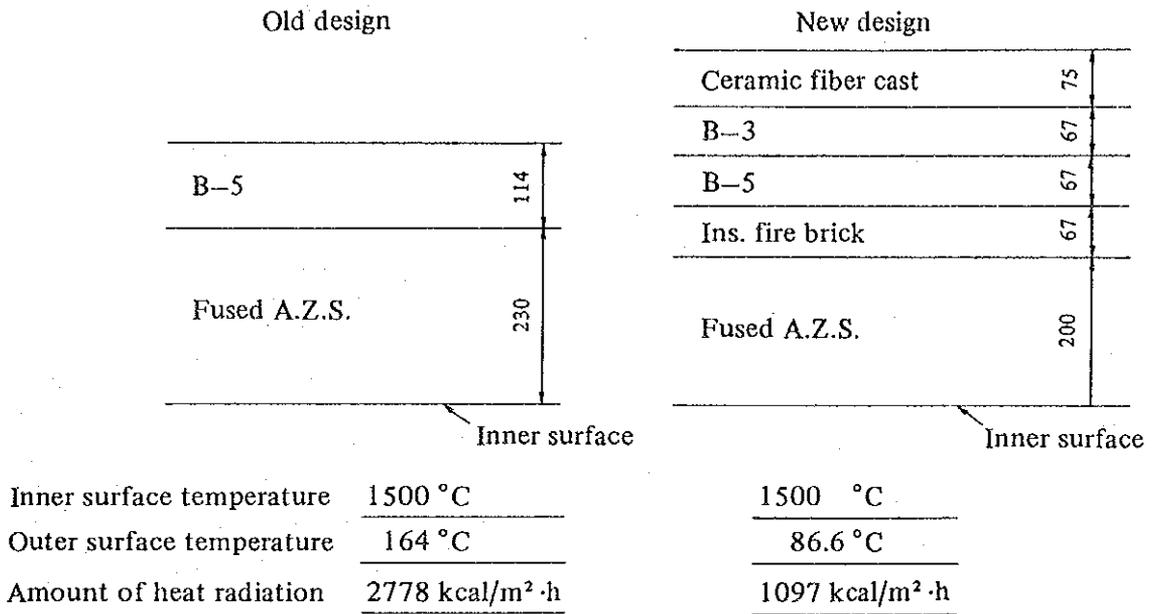


Figure 8.11 Heat Insulation of Regenerator Sidewalls(Upper Part)

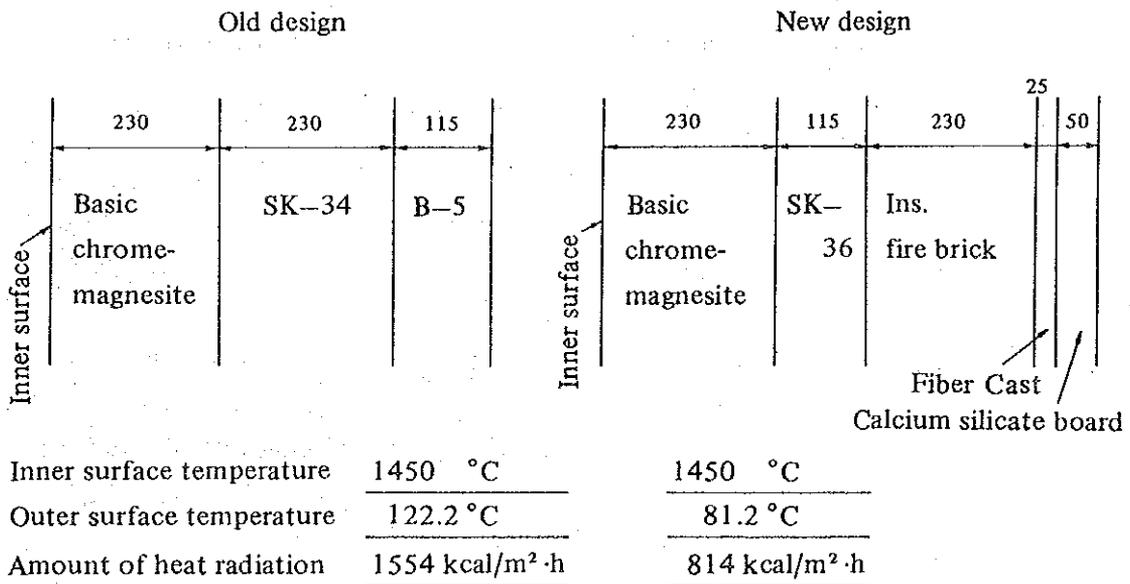


Figure 8.12 Heat Insulation of Melting Tank Block

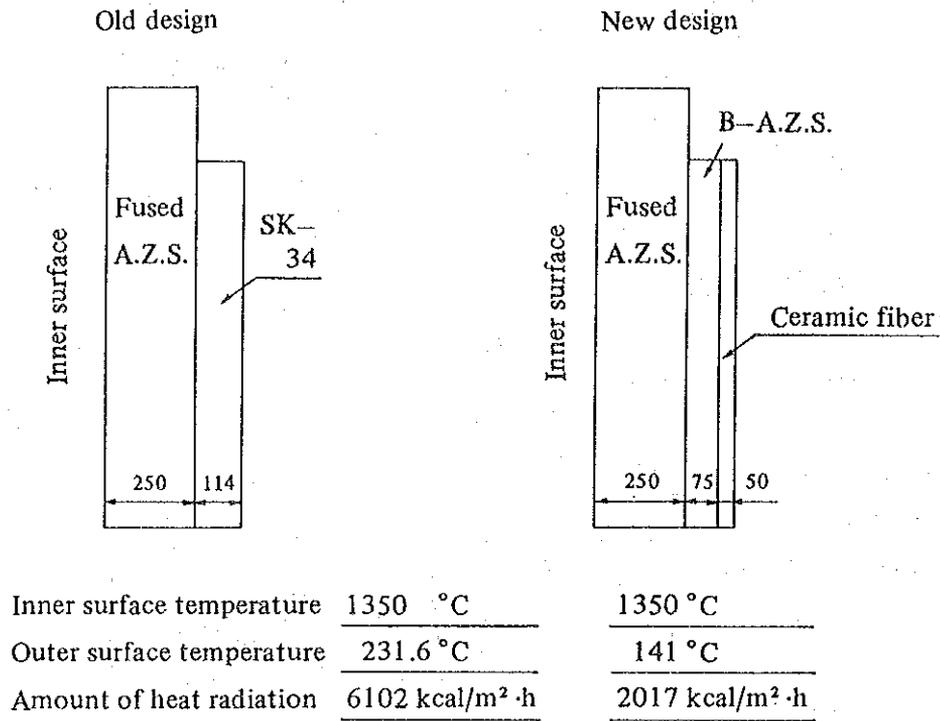


Figure 8.13 Heat Insulation of Working Hearth Tank Block

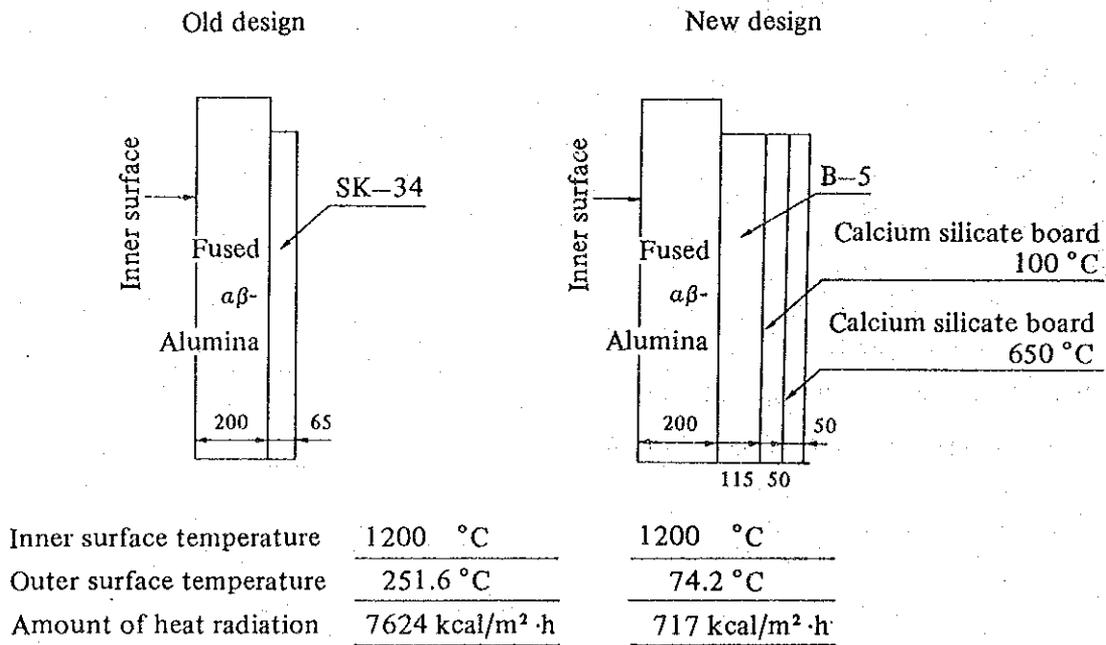


Figure 8.14 Heat Insulation of Melting Tank Bottom

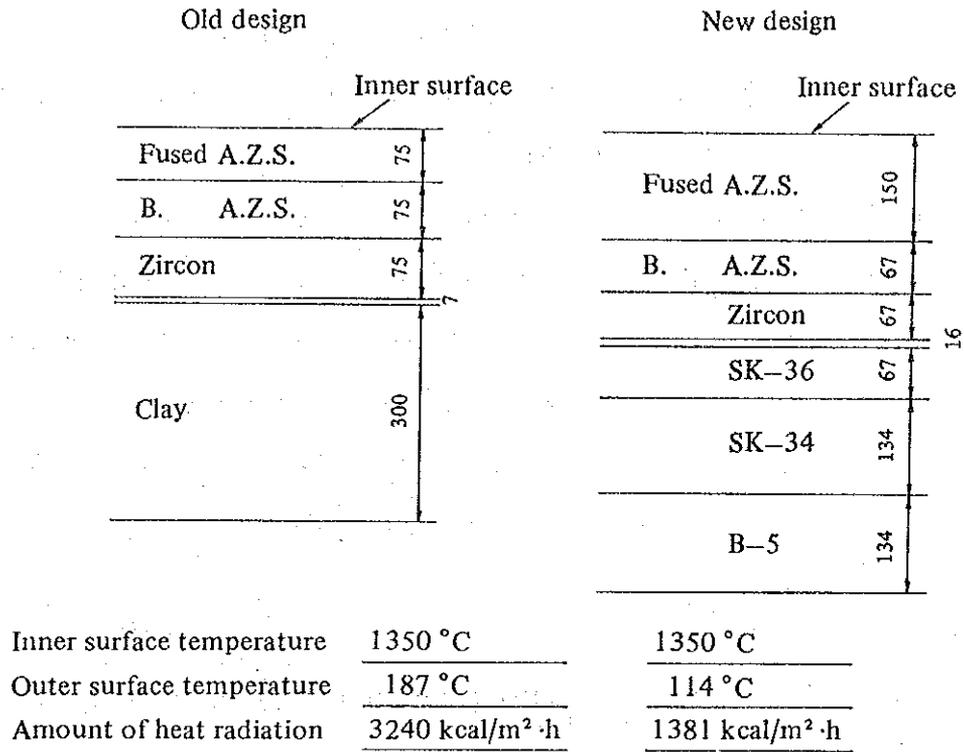
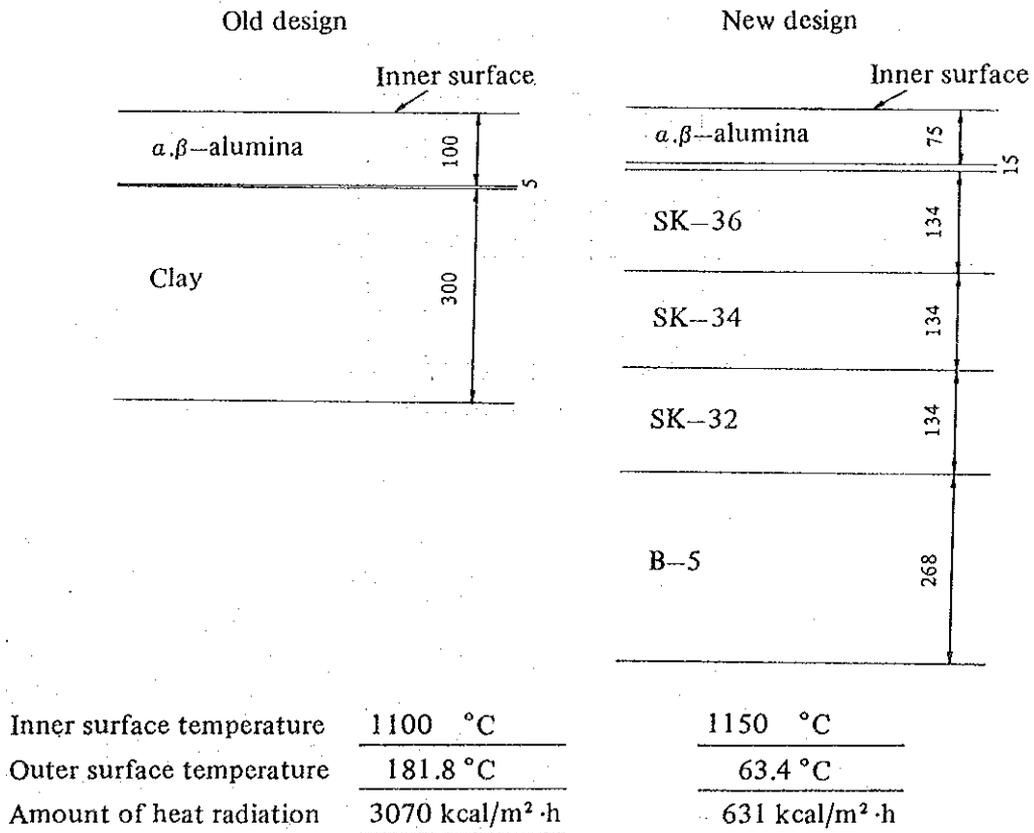


Figure 8.15 Heat Insulation of Working Hearth Bottom



(4) 排熱回収

熔融炉では高温を必要とするため、燃焼排ガスの排熱を回収して燃焼用2次空気の子熱に利用する。排熱回収装置としては蓄熱室又はレキュペレータのいずれかが用いられるが、小型炉以外は一般に蓄熱室が用いられる。

蓄熱室での熱回収率はチェックレンガの肉厚を薄くすること、チェックレンガの間を流れる排ガスの流速を高めること、蓄熱室の高さを高くし、チェック量を増加することにより向上する。(Fig. 8.16, Fig. 8.17参照)。通常は1,250~1,300℃程度に2次空気が予熱される。チェックレンガは、長年使用すると排ガス中ダストとの反応によって崩壊し、空隙を詰まらせて熱交換面積を減少させる。このため熔融炉の寿命とマッチするよう、耐食性の良い高級レンガも使われるようになっている。

Figure 8.16 Relationship between Height of Checker and Air Preheating Temperature

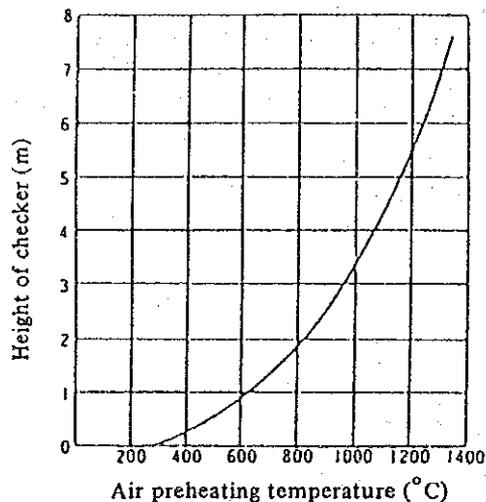
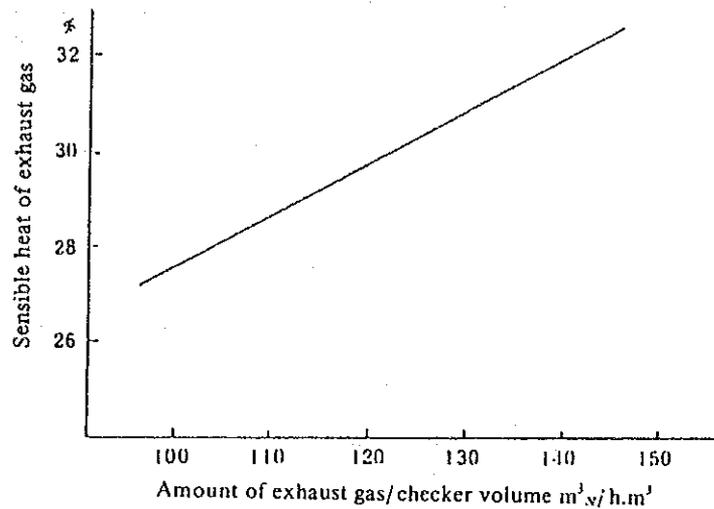


Figure 8.17 Relationship between Amount of Exhaust Gas/Checker Volume and Sensible Heat of Exhaust Gas



レキュペレータとしては、ダスト詰まりのない放射型が多く用いられるが、セラミックチューブの多管式のものもある。排ガス温度 1,500 $^{\circ}C$ 程度まで耐えるものがあるが、予熱空気温度は 800 $^{\circ}C$ 止まりで熱回収率は低い。しかし設備費が安く、スペースも多くを必要としないので小型炉に用いられる。

なお、予熱空気を最大限に利用できるよう、常温の 1 次空気量や開口部からの侵入空気量をできるだけ抑える必要がある。

(5) 原料配合

製品品質に悪影響を与えない範囲で、カレットや石灰の配合割合を多くすれば、熔融エネルギーを減らすことができる。カレット添加率と所要熱量の関係を Table 8. 4 Fig. 8. 18 に示す。

Figure 8.18 Consumption Rate for Cullet and Fuel Saving Rate

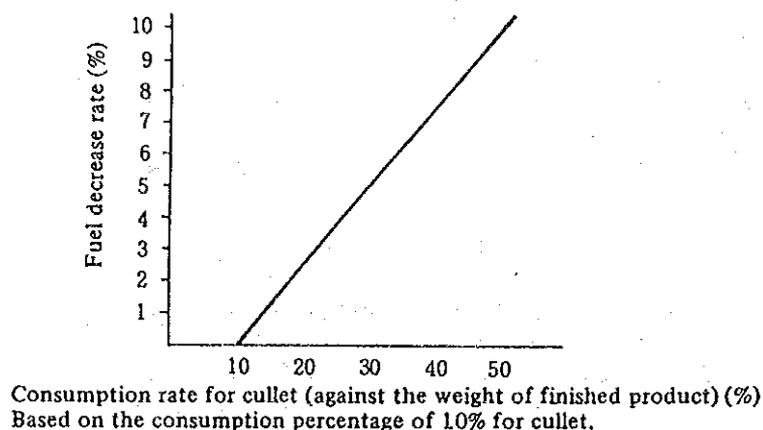


Table 8.4 Heat Required for Production of Various Kinds of Glass at 1,400 °C and Pull Temperatures (Theoretical Value)

Kind of glass	Temperature °C	Heat required for melting glass (kcal/kg glass)					
		Cullet addition rate %					
		0	20	40	60	80	100
Tableware glass	1,400	576	543	510	477	444	411
	1,250	530	497	464	431	398	365
Sheet glass	1,400	666	615	563	512	460	409
	1,150	571	520	468	417	365	314
Laboratory appliances	1,400	508	482	455	429	402	376
	1,300	477	451	424	398	371	345
Lead glass	1,400	496	472	448	424	400	376
	1,100	391	367	343	319	295	271

なお参考までに、日本の製ビン業界におけるカレットの使用比率は1992年で58%であった。ガラス溶解炉では不純物を除くことができないので、事前にカレット中の不純物を除く必要がある。カレットの品質規格、処理方法は工場調査の報告書に記載した。

清澄剤の使用は清澄時間を短縮させ、結果的に省エネルギーとなる。炉の状況に応じて種類、量の選択を行わねばならない。

(6) 電気溶融

ガラスは 800℃ 前後で導体となるので溶融炉に電極を挿入し、ガラスに通電して直接加熱する方法である。燃料加熱の炉において補助的に使用して引上量の増加や炉内温度の調整を行う場合、これをブースタと称する。この電力は 3 t/日引上量を増加させるのに、100kw程度必要とされる。重油から電力への転換効率を35%とすると、燃料原単位が 175 l/t以上ならば、ブースタ使用は省エネルギーになる。

Table 8. 5に 電気溶融炉の出熱割合の例を示す。エネルギー価格、付帯設備を考えた場合でも小型炉の場合では電気溶融の方が経済的となる場合がある。また大気汚染が少なく、温度管理が容易で高品質のものが得やすいという特徴がある。

Table 8.5 Heat Output Ratio of Electric Melting Furnace

	Heat output (kcal/h)	Ratio (%)		Heat output (kcal/h)	Ratio (%)	
Heat release from ceiling	28	(0.07)	Ceiling	1,800	2	} 30
Heat release from furnace bottom	5,883		Side wall	10,700	15	
Heat release from throat side wall	5,200		Bottom	9,300	13	
Other walls	7,850		Cooling water for electrode	1,400	2	2
Total	18,961	44.1	Calorific value required for vitrification	2,200	3	} 68
Loss by water cooling for electrode	10,455	24.3	Soaring temp. of glass	46,600	65	
For glass heating	13,584	31.6	Total	72,000	100	100

(Capacity 750 kg. pull quantity 400 kg/day)

(Pull quantity 60 t/day)

12.2.2 フォアハース

ビン作業に適したガラス温度に調節するための槽であり、燃料による場合は溶融炉と同じく空気比制御、断熱強化が省エネルギー対策の項目となる。

電気加熱の採用も省エネルギーに有効とされている。

12.2.3 徐冷炉

(1) 持ち込み熱の増加

成型を終えた製品の温度は、なお 600℃ 以上であるので、この熱を逃がさずに徐冷炉に持ちこめば、加熱はほとんど不要になる筈である。そのためには、

- ・成型機と徐冷炉の距離を短くする。
- ・成型機を出た製品は、速やかに徐冷炉に装入する。

ようにしなければならない。

(2) 放熱防止

高温の間は徐冷する必要があるので、次のような点に留意する。

- ・高温部の断熱ならびに熱風漏洩防止
- ・装入口からの冷風侵入抑制
- ・製品寸法・生産量にマッチした炉断面形状
- ・装入製品の間隔短縮

(3) 直接加熱方式の採用

重油を燃料とする場合は、燃焼ガスが直接製品に接触することにより表面に曇を生じる等の悪影響を及ぼすことをおそれ、マッフルやラジアントチューブを用いた間接加熱方式が採られる。

しかし、徐冷炉では加熱温度域が 600℃以下で、間接加熱による放射伝熱では効率が悪い。このため、ガス燃料を使う場合は直火加熱方式とすることが多い。

(4) メッシュベルトの熱容量低下

メッシュベルト加熱に要する熱量が意外に大きいという 1 例を次に示す。

製品の処理量 : 630 kg/h

製品の平均比熱 : 0.252

製品が徐冷炉に入る温度 : 400℃

徐冷温度 : 550℃

この場合、製品を加熱するのに要する熱量 $Q_1$ は、

$$Q_1 = 0.252 \times (550 - 400) \times 630 = 23814 \text{ (kcal/h)}$$

上記製品を 1,500m/m のベルトで炉内搬送するものとし、

ベルトの重量 : 20 kg/m<sup>2</sup>

ベルトの走行速度 : 380 mm/min

炉に入る前の温度 : 常温15℃

炉内での最高加熱温度 : 550℃

平均比熱 : 0.132

この場合、ベルトを加熱するのに要する熱量 $Q_2$ は、

$$Q_2 = 0.132 \times (550 - 15) \times 20 \times 0.38 \times 1.5 \times 60 = 48304 \text{ (kcal/h)}$$

となり、製品を加熱する熱量の倍以上がベルトを加熱するために消費される。この熱

量を節約するためには、なるべくベルトの線径を細くしたり、ピッチを疎にしたりして、単位面積当たりのベルト重量を軽くすることが考えられる。

その他、排ガスにより復路のメッシュベルトを予熱することも行われる。

徐冷炉の熱量原単位は製品の装入温度・形状・肉厚及びそれらの変化回数、操業時間、処理量、炉型式等によって大きく変化する。参考として日本での幾つかの例をみると、大部分は380～830 kcal/kg の範囲にあるが、大型のものでは50kcal/kg と極端に低いものもある。

#### 12.2.4 製品の軽量化

一定個数の製品を作るのに必要なガラス量を減らすことは、製造エネルギーの低減に役立つ。少ないガラス量でビンの強度を維持するためには、形状設計、肉厚分布の改善、表面処理、製造条件管理の強化などが必要である。

#### 12.2.5 生産性向上

ガラスビン製造は高温作業であり、生産中断時でも多量の熱が消費される。従って故障等による作業中断の防止、成型機の型替時間の短縮、型替頻度の減少を図る必要がある。

また、ガラス溶融炉では固定的な熱損失の割合が大きく引上量を増加するほど燃料原単位が低下するので、炉内攪拌を促進するなど、品質低下を防ぎながら引上量を増す努力も必要である。

#### 12.2.6 不良品発生防止

製品に欠陥があり、不良品として原料にリサイクルされることになれば、その間に使われたエネルギーはすべて無駄となる。原料の品質管理、各製造工程の作業条件の管理、設備保全の強化により、不良品の発生を防止するようしなければならない。

## 9. ボイラ運転の省エネルギー

## 9. ボイラ

### 9.1 分類

現在、広く使用されているボイラーを構造によって分類すると、Table 9-1 のようになる。

Table 9.1 Classification of Boiler

Type	Model
Cylindrical boiler	Vertical boiler Flue boiler Smoke tube boiler Tube boiler
Water tube boiler	Natural circulation water tube boiler Forced circulation water tube boiler Once-through boiler
Others	Sectional boiler etc.

#### 9.1.1 丸ボイラ

丸ボイラは径の大きい円筒を主体にしたもので、構造上あまり高圧、大容量のものには適さない。主として10 bar 以下、蒸発量8 t/h 程度までのボイラとして使用されている。

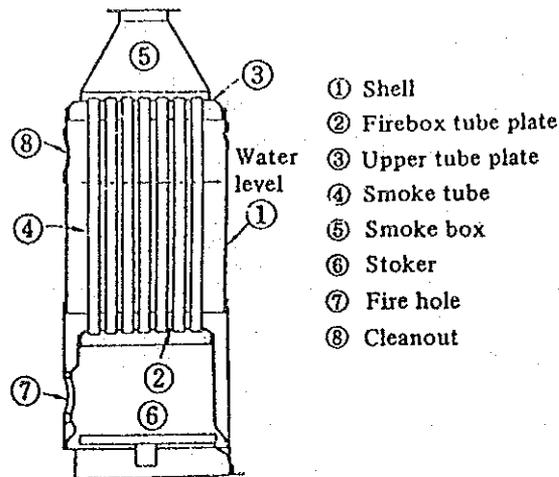
丸ボイラは水管ボイラに比べて容量当たりの水保有量が大きいので、スタートアップに時間がかかるが、反面負荷変動に対する圧力変動は小さくてすむ。

##### a. 立てボイラ

Figure 9.1 に示すように、胴を直立させ、燃焼室を底部においたもので、横管式と多管式とがある。伝熱面積を大きくとれないので1 t/h 以下の小容量のものに限られる。

床面積が少なくすみ、据え付けも簡単であるが、小形のため内部の点検掃除が難しい。また水の表面積が少ないので発生蒸気中に含まれる水分が多くなりやすい。

Figure 9.1 Vertical boiler (multitubular type)



b. 炉筒ボイラ

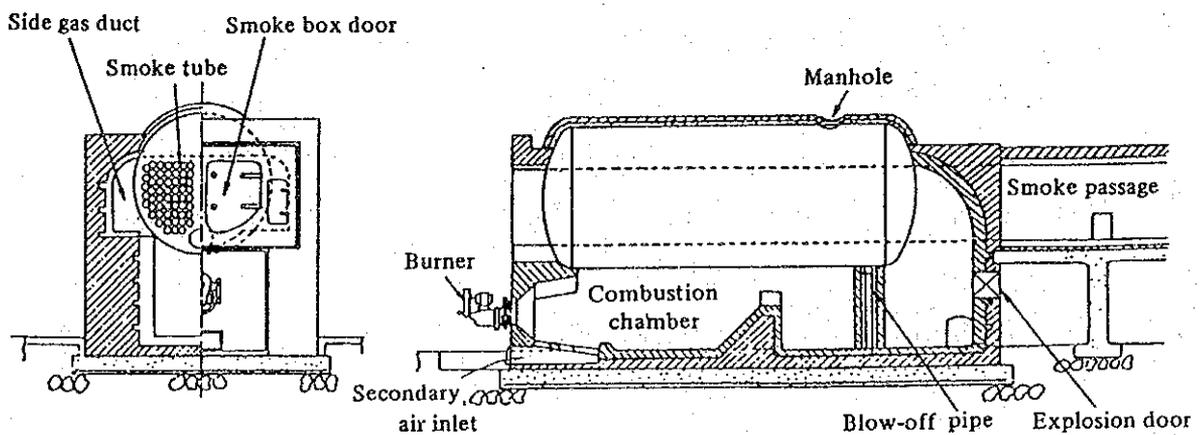
胴部を貫通して1本又は2本の炉筒を設け、炉筒内にバーナを取り付けてある。炉筒1本のものをコルニッシュボイラ、2本のものをランカシャボイラと呼ぶ。伝熱面積が小さく効率が悪いので、最近ほとんど作られていない。

c. 煙管ボイラ

Figure 9.2 に示すように、胴の下にレンガ積みの燃焼室を設け、胴内に多数の煙管を配置したものである。燃焼ガスは、胴の下部を加熱してから煙管を通り、更に胴の側面を加熱するようになっている。

燃焼室が外にあるものは、レンガ壁からの熱損失が大きいため、燃焼室を炉筒の一部に設けた形式のものもある。

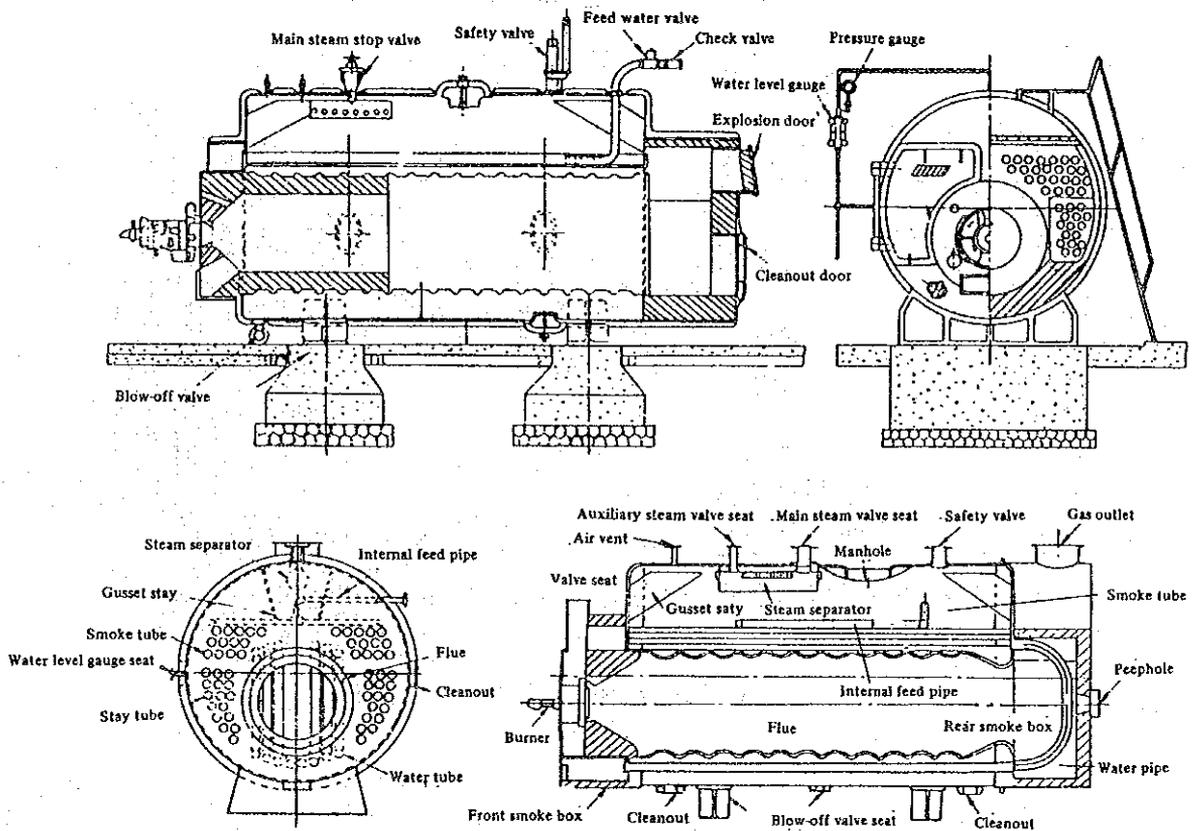
Figure 9.2 Externally fired horizontal smoke tube boiler



#### d. 炉筒煙管ボイラ

Figure 9.3 に示すように、胴の中に炉筒と煙管群の両方を設けた内焚き式ボイラである。このボイラの特徴は、小容量でも比較的伝熱面積が大きく効率が高いこと、パッケージボイラとして設置が簡単で取り扱いも容易なことであり、広く使われている。圧力 15 bar 程度、容量 25 t/h 程度までであり、85～92%の効率を得られる。反面、構造が複雑で内部の点検、清掃が難しく、給水の質をよくする必要があり。

Figure 9.3 Flue smoke tube boiler



#### 9.1.2 水管ボイラ

Figure 9.4 に示すように水管ボイラは、汽水分離用のドラムと伝熱面を構成する多数の水管とで構成され、水管内で蒸発を行わせるようになっている。従って、水管の数を増すことによって自由に伝熱面積を大きくできるので大容量にも適しており、高圧にすることも容易である。

水管ボイラの特徴は、次のとおりである。

- a. 燃焼室を自由な大きさに作れるので、燃焼状態がよく、種々の燃料に適応しやすい。

- b. 伝熱面積を大きくとれるので、熱効率が低い。
- c. 伝熱面積当たりの保有水量が少ないので、起動時間が短い。一方、負荷変動により圧力や水位が変動しやすいので、敏感な調整を必要とする。
- d. 給水及びボイラ水処理に注意を要する。

水管ボイラには、ボイラ水の循環を蒸気と水の比重差を利用して行う自然循環式と、ポンプを用いる強制循環式 (Figure 9.5 参照) とがある。高圧ボイラでは、蒸気と水の密度差が小さくなるので、強制循環式とする必要がある。

Figure 9.4 Bending water tube boiler

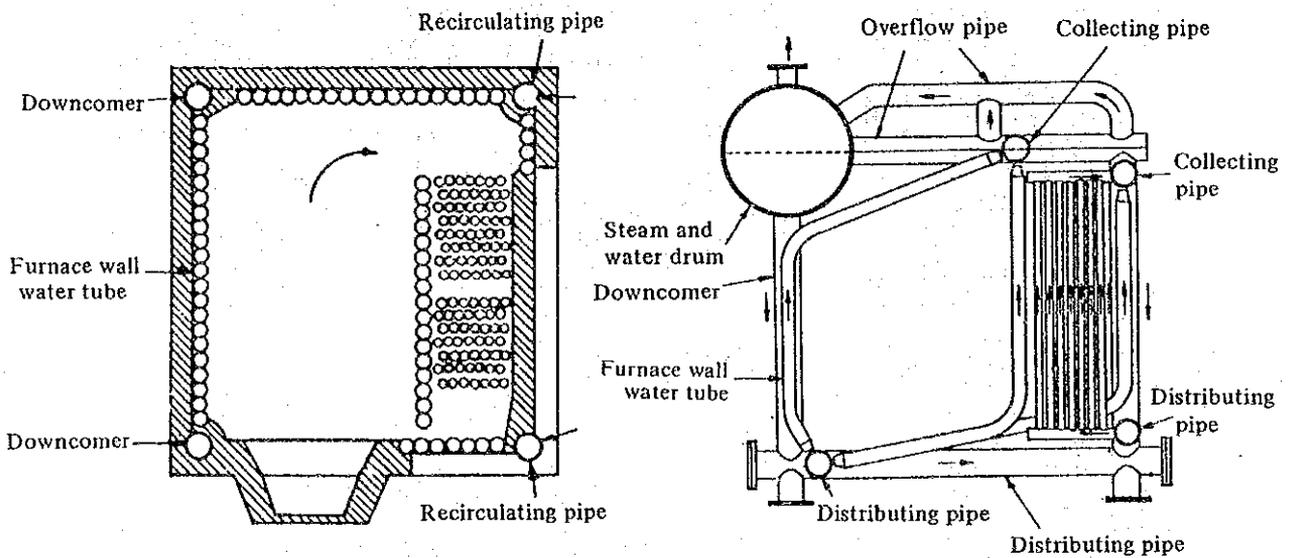
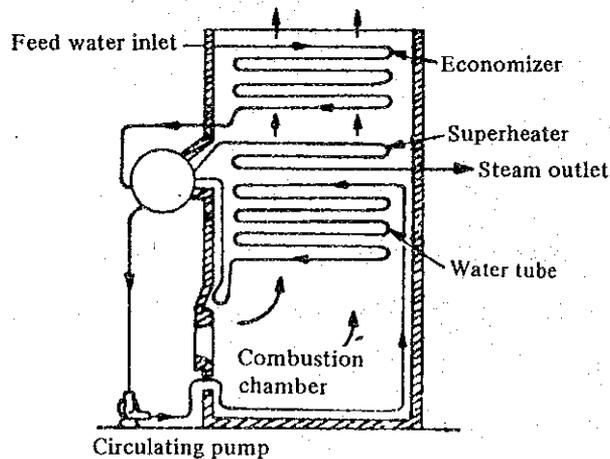
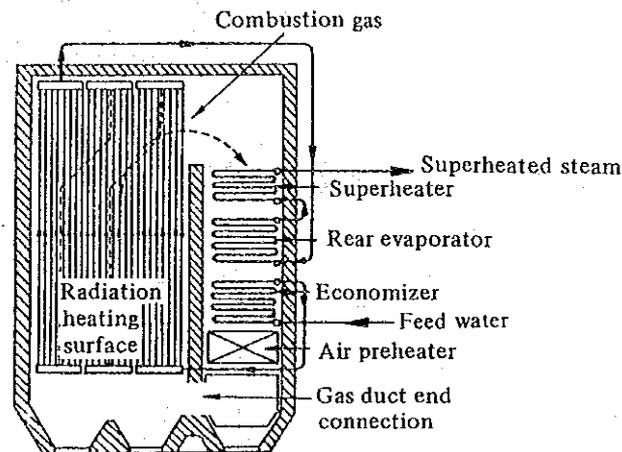


Figure 9.5 Forced circulation boiler



一連の長い水管だけから成る貫流ボイラは、管の一端からポンプで押し込まれた給水が、順次昇温、蒸発、過熱して管の他端から過熱蒸気として取り出されるようになっていて、ボイラ水の循環がない (Figure 9.6 参照)

Figure 9.6 Schematic flow diagram of Benson boiler



この貫流ボイラの特徴は、次のとおりである。

- 気水ドラムがないので高圧ボイラに適している。
- コンパクトにできる。
- 伝熱面積当たりの保有水量が著しく少ないので起動時間が短い。
- 負荷の変動によって大きい圧力変動を生じやすいので、応答性のよい自動制御装置を必要とする。
- 給水は全部管内で蒸発するから良質の給水を必要とする。

このような特徴から、超臨界圧力のボイラから小形のボイラまで幅広く使用されている。

### 9.1.3 その他

低圧ボイラ、又は温水ボイラとして使用される鋳鉄製セクションを組み合わせたボイラや廃熱ボイラ、特殊燃料用のボイラなどがある。

## 9.2 ボイラ事故防止

ボイラは高温高圧の水蒸気を取り扱う設備であり、事故が発生すれば人身・設備に大きな被害を与え、長期間の生産停止につながり、それまで積み重ねた省エネルギー努力

の成果もすべて無にしてしまうことになる。従って、ボイラの事故防止のため万全の対策をとることは、省エネルギーの面からも重要なことである。

また、ボイラ事故防止のための必要な操作は省エネルギーとも密接な関係を持っている。例えば、給水処理は局部加熱による破損を防ぐとともに伝熱改善にも役立つ。

ボイラ事故の原因のうち多いものは、低水位（空焚き）、燃焼室内爆発であり、その他铸铁製ボイラの割れ、部分的な過熱による破裂もある。

事故防止のため留意すべき点は、以下のとおりである。

#### 9.2.1 運転及び点検のマニアル設定と教育

ボイラの取り扱い、点検整備に関する作業標準を定め、従業員に十分教育し遵守させるようにする。

#### 9.2.2 安全設備

ボイラとしての所定の検査に合格し、必要な計器及び安全設備として安全弁、高低水位警報器、火炎検出器などを備えたボイラを使用し、更に、できるだけ自動化し、操作ミスに対しては安全側に動作するようにする。これらは、正常に作動するかどうか、定期的に点検しなければならない。Table 9.2 にボイラの日常点検項目を示す。

Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (1/14)

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day		
Constant inspection	1. Pressure of boiler	○			1. Reading. Pointer movement	1. Smooth moving without catching.
				○	2. Surface temperature. Leakage	
				○	3. Initial and stop temperatures of pressure controller.	3. No disorder. See item 9.
				○	4. Particularly take care to popping pressure at operation of the safety valve.	4. Check disorder by comparison with pressure gages of three or more.
	2. Water level of boiler	○			1. Movement of water level of a water gage.	1. A little movement of the water level is normal. If the hole is clogged, the movement becomes dull. Compare the water levels of two water gages which height changes.
			○		2. Normality of water level at start and stop of the feed water pump.	2. A detection by bellows varies with the level and the operation range by fluctuation of pressure. When the pressure goes to higher, the level goes to down and the operation range comes to wider. Check the operation level and range in an average pressure.
				○	3. Special care must be taken to the working at a lower and higher level alarm.	3. Find out the cause and take a countermeasure. (See items 5 and 6.)

**Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (2/14)**

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day		
Constant inspection	3. Combustion state	○			1. Change of burning sound.	1. Take care to abnormal sound at the start of combustion and during the switching from low to high.
			○		2. Shape and color of flame.	2. Proper flame without touch to furnace and with no rough particle.
		○			3. Generation of smoke and its time.	3. Check the internal pressure of furnace, exhaust gas analysis and the quantity of air and oil. Care must be used to a long time operation under a low load.
Daily inspection	4. Gage glass	○			Check of gage glass.  Open a drain cock, close a steam cock and blow out boiler water sufficiently. And then close the water cock, open the steam cock, check the steam side, then close the drain cock, open the water cock and watch forcible rising of water level.	1. Make sure the open and close condition and any leakage of each cock. Clean the inside.  2. Repair to any leakage from the out of glasses. Check a disorder of the mounting core of the upper and lower cocks and the length of glass.  3. Clean the glass. Use a predetermined length of glass if exchanged. Use care not to tighten too much the glass. Namely, first, open the drain cock to warm with steam and close the drain cock. Open the water cock and open fully the steam cock. After using a little, do retightening.
			○			
Daily inspection	5. Water column (floatless)		○		1. Drain water in the column and remove sludge and scale.	1. Make sure the open and close condition of the interconnecting line and clean the inside.
				○	2. Built-in water level detector. Inspect the electric wiring terminal, any contamination of the insulation of the electrode holder, contamination and crack of the electrode.	2. Check the electric wiring (heat resistance wiring). Measuring of insulation resistance—remove the wiring for the electrode holder and the resistance between the electrode and the earth shall be more than 100 MΩ. Cleaning of electrode. Clean contamination of the electrode holder, check any crack or exchange it.

Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (3/14)

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure	
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day			At any time
Daily inspection	Automatic equipment (accessory of the body)		○		1. Purge scale and sludge in the interconnecting pipe.	1. Make sure the open and close condition of the interconnecting line. Clean the inside (blow enough) in a condition of lower pressure if possible.	
			○		2. Make sure the operation with lowering of the water level by blowing.	2. Make sure the operation with blowing. If impossible to blow, remove the electric wire to make sure the operation (burner cut).	
					○	3. Check the internal mercury switch and bellows.	3. Check a scattering of mercury and balance. Check leakage from the bellows.
					○	4. Check the electric wiring.	4. Check damage due to heat. Rewire with a heat resistance wire.
					○	5. Check a wrong operation due to vibration.	5. Mount a stay in a change orientation.
					○	6. Check contamination, crack and leakage of the electrode holder.	6. Replace the cracked and leaking insulator with a new one and clean the electrode. Insulation shall be more than 100 MΩ.
	Automatic feed water adjustable device (single element type)			○	1. Discharge scale and sludge in the interconnecting pipe of the thermostat.	1. Make sure the open and close condition of the valve in the connecting pipe and clean the inside.	
				○	2. Make sure and adjust each interconnecting place.	2. Make sure the specified position of the slide sprocket weight.	
				○	3. Adjust the water level due to a boiler load.	3. The level lowers by loosening the adjustable nut of the heel piece of thermostat until the valve lever comes to horizontal position.	

Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (4/14)

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day		
Daily inspection	Automatic equipment (accessory of the body)			<input type="radio"/>	1. Make sure fire going-out, no ignition and burner cut.	1. Stop an ignition fuel for detection of the pilot and make sure not to transfer to the main. For detection of the main, remove the cap or the detector and make sure no ignition. A flame response delays for 2 to 4 seconds.
				<input type="radio"/>	2. Check the degree of fatigue of a detector.	2. Measure the current by a microammeter, test by a false flame.
				<input type="radio"/>	3. Defect of electric wiring. Influence of induced current of power.	3. Change to the shield wire or a single wire.
				<input type="radio"/>	4. Detection of false flame. Self-discharge. Check by a protect relay, no ignition.	4. Check mistake to detect red heat refractory and change the position of installation. Inferior tube shall be replaced.
				<input type="radio"/>	5. Contamination of lens and glass tube and mounting position.	5. Cleaning of contamination.
				<input type="radio"/>	6. Check + or - phase of the electric wiring and loosening of connection.	6. Change the wiring and tighten it.
				<input type="radio"/>	7. Check the amplifier and the flame relay.	7. Replace the defective. If current is normal in measuring current by a microammeter but fire is not ignited, the amplifier or the flame relay is defective.

Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (5/14)

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure	
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day			At any time
Daily inspection	Automatic equipment (accessory of the body)	9. Pressure restriction device			<input type="radio"/>	1. Check the operation stop pressure and the setting of differential gap.	1. Clean and check the siphone pipe, meter cock and the detective part of the bellows. Change the setting of differential gap.
					<input type="radio"/>	2. Check leakage and concave in the bellows of the detector. Check the mounted position and orientation.	
					<input type="radio"/>	3. Check the two step setting values for control of high- and low-off.	
					<input type="radio"/>	4. Check damage of the electric wire.	
		10. Pressure controller			<input type="radio"/>	1. Check the width of proportional band.	1. Change the width of proportional band.
					<input type="radio"/>	2. Check inferior contact, contamination and disconnection of resistance of the potentiometer.	2. Check, clean and replace it.
					<input type="radio"/>	3. Check clogging of the detecting part.	
		11. Wind pressure switch			<input type="radio"/>	1. Check the setting value.	1. Set to a proper value.
					<input type="radio"/>	2. Check clogging and leakage of the pipe.	2. Disassembly, check and cleaning.
		12. Oil temperature switch			<input type="radio"/>	1. Check the setting value.	1. Set to a proper oil temperature.
					<input type="radio"/>	2. Check contamination and installing dimension of the heat sensitive cylinder and the detecting part.	2. Clean contamination. Investigate the length and replace. Investigate the installing location.
					<input type="radio"/>	3. Check the configuration of detecting part.	

Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (6/14)

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day		
Automatic equipment (accessory of the body)	13. Latch switch. Low and high interlock, damper lock and burner lock				<input type="radio"/> 1. Check the settings of each latch switch.	1. Check that it is set in a proper position.
					<input type="radio"/> 2. Check loosening of the setting of installed position.	2. Check and adjustment.
					<input type="radio"/> 3. Check a normal operation of the interlock.	3. Check the operation, inspect and repair.
Automatic equipment (accessory of the body)	14. Control motor			<input type="radio"/>	1. Check the movement.	
				<input type="radio"/>	2. Check an inferior contact of the balancing relay.	2. Check arc and clean the contact. Investigate the installing position not to be influenced by vibration.
				<input type="radio"/>	3. Check contamination and contact defect of the potentiometer.	3. Inspection and cleaning.
Daily inspection	15. Pilot burner			<input type="radio"/>	1. Check the gas pressure.	
				<input type="radio"/>	2. Check a deterioration of the ignition transformer.	2. Check a spark between the electrode and the earth to be 7 to 8 mm in atmosphere.
				<input type="radio"/>	3. Check a deposit of carbon.	3. Clean the carbon between the nozzle and the electrode and clean the insulator.
				<input type="radio"/>	4. Check a backfire at the ignition.	4. Set an air-fuel ratio in a proper low combustion.
				<input type="radio"/>	5. Check the clearance between the nozzle and the electrode.	5. Adjust an interval suitable.
Firing equipment	16. Electric pilot firing device			<input type="radio"/>	1. Check an electric spark state.	1. Blue color is normal. If reddish, cleaning is necessary. Short spark is a narrow interval.
				<input type="radio"/>	2. When a frequent cleaning is required, inferior electrode setting.	2. If the electrode is set within the jetting angle, the electrode is wetted with oil and don't spark. The electrode should be set to the setting value.
				<input type="radio"/>	3. Transformer insulation defect. Deteriorated lead	3. Check the transformer and clean the insulator. Check any damage of the lead.

**Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (7/14)**

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure	
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day			At any time
Daily inspection Firing equipment	17. Burner			<input type="radio"/>	1. Remove carbon and sludge.	1. Check and repair the burner tile.	
				<input type="radio"/>	2. Check the atomizing cap and the shape of tip bleeding part. Clean contamination.		
					<input type="radio"/>	3. Clean the shaft and the lubricating pipe.	3. Remove sludge and oil.
					<input type="radio"/>	4. Apply grease to the bearing. Check seal leakage.	4. Apply grease and check the bearing.
				<input type="radio"/>	5. Check any damage of the diffuser and carbon deposit.	5. Cleaning and adjustment of the interval.	
					<input type="radio"/>	6. Gun type burner. Check and clean the chip and strainer.	6. Disassembly and cleaning. Check the chip hole.
					<input type="radio"/>	7. Check the gun type electrode insulator.	7. Clean and set the specified dimension.
				<input type="radio"/>	8. Check abnormal sound and overcurrent.	8. Research of its cause and assembly servicing. Replace the bearing.	
					<input type="radio"/>	9. Oil leakage	9. Repair leaking place.
					<input type="radio"/>	10. Burner belt	10. Replace cracked burner.
	18. Fuel cutout valve (main valve)			<input type="radio"/>	1. Check leakage of the cutout valve.	1. A fire is extinguished entirely after cutout.	
				<input type="radio"/>	2. Make sure cutout due to a low level and no ignition.		
				<input type="radio"/>	3. Check the electric wiring.	3. Check damage due to heat.	
	19. Oil pump			<input type="radio"/>	1. Check the oil pressure.	1. Set to a proper oil pressure.	
				<input type="radio"/>	2. Clean the strainer.	2. Drain and remove sludge.	
				<input type="radio"/>	3. Check oil leakage.	3. Repair the leaking place. Replace the oil seal.	
				<input type="radio"/>	4. Check overheat and overcurrent.	4. Replace the bearing.	

**Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (8/14)**

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure	
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day			At any time
Daily inspection	20. Oil preheater			<input type="radio"/>	1. Check a proper oil temperature.	1. Adjustment of the thermostat. Check a gasification by the air chamber.	
					<input type="radio"/>	2. Drain	2. Drain and remove sludge.
					<input type="radio"/>	3. Check oil leakage.	3. Repair the leaking place.
					<input type="radio"/>	4. Check the sheath heater.	4. Sludge removing.
Daily inspection	21. Service tank. Storage tank.			<input type="radio"/>	1. Make sure the oil level control.	1. Make sure the operation of the float switch and other controller.	
					<input type="radio"/>	2. Temperature control. Operation of the control valve and the steam solenoid valve.	2. Check leakage and operation.
					<input type="radio"/>	3. Clean the oil strainer.	
				<input type="radio"/>	4. Check the receiving quantity and the residual quantity.		
					<input type="radio"/>	5. Check a leakage and the piping line.	
					<input type="radio"/>	6. Drain and remove sludge.	
Daily inspection	22. Oil meter		<input type="radio"/>		1. Check the oil meter indication record.	1. Disassemble and clean the meter and replace the parts.	
					<input type="radio"/>	2. Grasp the oil temperature passing through the meter.	2. Since the efficiency calculation is based on the specific gravity at passing through the meter, the oil temperature should be roughly grasped.
Daily inspection	23. Oil quantity controller			<input type="radio"/>	1. Check the link mechanism to the controller.	1. Adjust the link mechanism compared with the air volume, check loosening and play.	
					<input type="radio"/>	2. Check the oil quantity by a meter measurement. (Every load)	2. Check by operation and oil quantity and disassemble and clean it.

Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (9/14)

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure	
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day			At any time
Firing equipment	24. Oil strainer			○	1. In autocleaner, turn the handle. In a change type strainer, a prepared one should be always cleaned.		
					○	2. Remove drain and sludge. Grasp a good rating of cleaning by a differential pressure between the inlet and the outlet.	
Daily inspection	25. Forced draft fan			○	1. Check abnormal sound and overcurrent.	1. If abnormal, disassemble and service it, and replace the bearing.	
					○	2. Check foreign matter in the suction port.	2. Mount a wire gauze not to suck foreign matter.
						3. Check vibration. Check and replace the belt.	3. Loosening of installed bolts. Loosening of the runner. Remove any deposit to the runner. Replace the bearing.
	26. Damper			○	1. Check the link mechanisms of the primary and main dampers.	1. The damper should be adjusted to be opened slowly.	
					○	2. Check the opening of damper.	2. Check distortion or loosening.
					○	3. Adjust the damper draft in the outlet of boiler.	3. $0 \pm 2$ mm Aq in a pressurized combustion of rated operation.
					○		
	27. Internal pressure gage of boiler			○	1. Make sure the indication of internal pressure gage of boiler.	1. Check a clogging in lead pipe. Check the opening and closing of valve cock. Check and repair a leaking point due to corrosion.	

**Table 9.2 Dally Inspection of Boller (10/14)**

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day		
	28. Smoke indicator			○	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Check a difference between the indication and the smoke concentration.</li> <li>2. Adjust the Zero point.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cleaning of glass. Adjust a floodlamp and a light receiver. Blow air from a compressor.</li> <li>2. Set the zero point.</li> </ol>
	29. Exhaust gas analyzer			○	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Make sure the operation of pointer.</li> <li>2. Adjustment.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Check a clogging and leakage in the lead. Cleaning or replacement of the filter and tightness test of the lead.</li> <li>2. Adjustment of the water quantity in aspirator. Comparison of a normal operation through passing air to the transmitter with the Orsat analyzed value.</li> </ol>
	30. Flue and stack			○	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Check leakage and corrosion.</li> <li>2. Remove soot in the flue and the stack.</li> <li>3. Discharge of rain water.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inspection and repairing.</li> </ol>
	31. Water softening equipment			○	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Check of the water pressure. 1.5 to 2 bar</li> <li>2. Check of hardness. Check in the secondary side.</li> <li>3. Leakage from the perforated valve.</li> <li>4. Care must be taken to leak during a stop of the pump operation.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Check from 70 to 80 % of cycle.</li> <li>3. Use care to leak from the fitting part of the packing.</li> </ol>

**Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (11/14)**

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day		
32. Feed water tank			<input type="radio"/>		1. Check of the level gage.	2. Test in an actual level drop or test by an electric wiring. 3. Make sure a manual operation of controller. 4. Check of abnormality of trap. 5. Check, repair and cleaning.
			<input type="radio"/>		2. Make sure the operation of low level alarm lamp.	
			<input type="radio"/>		3. Make sure the level control.	
			<input type="radio"/>		4. Check of temperature.	
			<input type="radio"/>		5. Check the painting on the tank inside and corrosion. Clean the inside.	
33. Chemicals pouring device			<input type="radio"/>		1. Check a proper chemicals pouring.	1. Check contamination in the tank and the flow rate. 2. Check the operation. 3. Inspection and repair.
			<input type="radio"/>		2. Check a linkage to the feed water pump.	
			<input type="radio"/>		3. Check leakage or clogging.	
34. Feed water pump			<input type="radio"/>		1. Check overcurrent.	1. Adjust the valve. 2. Replace and tighten a packing. 3. Apply oil and grease. 4. Repair and replacement.
			<input type="radio"/>		2. Check leakage from the ground.	
			<input type="radio"/>		3. Check an oil servicing.	
			<input type="radio"/>		4. Check play to the coupling.	
35. Injector			<input type="radio"/>		1. Check a normal operation.	1. Impossible to feed when the steam pressure lowers, the feed water temperature rises, air is sucked, the feed water pressure is too much higher. 2. Check, disassemble and clean.
			<input type="radio"/>		2. Check the check valve. Attachment of scale.	
			<input type="radio"/>			
36. Water flow meter strainer			<input type="radio"/>		1. Check the operation.	1. Record, check operation.
				<input type="radio"/>	2. Check clogging in the strainer.	2. Disassemble and clean.
37. Feed water check valve				<input type="radio"/>	1. Check back flow.	1. Water hammer. Hand touch feels hot to the feed water pipe. Overhaul or replacement.

**Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (12/14)**

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day		
38.	Feed water internal pipe				○ 1. Check clogging in the internal pipe.	1. Insufficient feed water quantity. Overhaul.
					○ 2. Inferior or falling of the gasket for installation of the internal pipe.	2. Water hammer. Replace the gasket.
39.	Relief valve				○ 1. Check leakage of steam.	1. Repair the leaked place and overhaul.
					○ 2. Check the popping and blowdown pressures in operation.	
					○ 3. Check the popping volume.	3. When the pressure rising in a rated combustion is 6 % or more, it is not acceptable.
40.	Blow off valve				○ 1. Check leakage. Check heat by hand touch.	1. Overhaul or replacement.
					○ 2. Blow off as a quick opening valve in the body side and as a slow opening valve in the secondary side.	2. For 10 bar or more, two valves.
					○ 3. Check the discharge port.	3. Check the size of pit. Should do arresting measure and water control.
41.	Manhole				○ 1. Check leakage from the manhole.	1. Tightening, replacement of gasket.
					○ 2. Keep a mating surface of the gasket in no contamination.	2. Apply graphite to facilitate a replacement.
42.	Casing for insulation				○ 1. Check gas leakage.	1. Gas leakage should be checked and repaired as soon as possible.
					○ 2. Check discolored place.	2. Find out the cause of over-heat, check and repair.
43.	Refractory material				○ 1. Check damage, falling and abnormality.	1. Repair the refractory materials as soon as possible.
					○ 2. Check gas leakage and short pass.	2. Repairing.

**Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (13/14)**

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day		
	44. Inspection port. Cleaning port. Mounting part of accessory.				<input type="radio"/> 1. Check leakage of steam and water.	1. Repair the leaked place. Tightening, replacement of gasket.
	45. Explosion door		<input type="radio"/>		<input type="radio"/> 1. Check gas leakage. <input type="radio"/> 2. Check the spring.	1. Repair the leaking place. 2. Inferior springs due to leakage or heat should be replaced. Check an impossible opening and closing due to rust.
	46. Magnet switch and contactor			<input type="radio"/>	<input type="radio"/> 1. Check the contact of relay. <input type="radio"/> 2. Check loosening of the terminal. <input type="radio"/>	1. Replace the contact and relay. 2. Tighten the terminal.
	47. Timer. Time limit relay.			<input type="radio"/>	<input type="radio"/> 1. Check the setting of the timer. <input type="radio"/> 2. Check the setting of the cam mechanism.	1. Y-Δ starting. Starting current. Change to Δ after dropping to rated value by Y. 2. Check by sequence.
	48. Actuation lamp Indicator lamp		<input type="radio"/>		<input type="radio"/> 1. Check a disconnection and luminosity. <input type="radio"/> 2. Inferior contact.	1. Replace the lamp. 2. Tightening.
	49. Spare. Fuse lamp			<input type="radio"/>	<input type="radio"/> 1. Check the spare parts.	1. Supplement of fuse and lamp spare.
	50. Protect relay (Timer motor)		<input type="radio"/>		<input type="radio"/> 1. Check the operation. <input type="radio"/> 2. Check the fixing and tightening of relay and the contact. <input type="radio"/> 3. Check voltage drop.	1. Check the sequence. Replace if inferior. 2. Check the operation. 3. Check the voltage in the operating circuit.
	51. Terminal			<input type="radio"/>	<input type="radio"/> 1. Check loosening of the terminal. <input type="radio"/> 2. Cleaning.	1. Tightening. Apply a detent paint if possible. 2. Suck dust by a vacuum cleaner.

Table 9.2 Daily Inspection of Boiler (14/14)

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day		
	52. Insulation resistance				○ 1. Measuring by 500 V megger. Measure in a removing condition of a low voltage equipment.	1. If panel and secondary side has resistance less than 5 MΩ, inspection or repair is required.
	53. Electric wiring				○ 1. Check overheat, damage and discoloration.	1. Check the wiring.
					○ 2. Check damage of coating.	2. Use care to a discolorization of the wiring around the terminal.
					○ 3. Check of phase.	

9.2.3 運転上の注意

(1) 点火操作

炉内にガスや油蒸気が存在する状態で火種を入れると、爆発的に燃焼し災害を発生する。点火に先立ち Cold Start では5分以上、Hot Start では約1分のプレページを行い、燃焼室や煙道内の可燃性ガスを完全に追い出しておく必要がある。また、点火に失敗したときは、ちゅうちゅうすることなく作業を中止し、最初のページからやり直すようにしなければならない。

点火後の加熱は、2時間程度をかけて徐々に昇温し、本体の不同膨張や継手部の漏れ発生を生じないようにする。

## (2) 水位の監視

使用中のボイラの水位を一定の範囲内に保つことはボイラ運転者の最も重要な任務であり、常に監視を怠らないようにしなければならない。

このため、水面計は常に掃除して水位を見やすくするほか、次のような時には、必ず機能テストを行い、正しい水位を示しているかどうかのチェックを行う。

- a. ボイラの使用を始めたとき。
- b. 運転者が交代するとき。
- c. 2個以上の水面計の指示が異なるとき。
- d. 泡立ちがあったとき。

自動給水調節装置を備えている場合も、ブローを行って実際にボイラの水位を低下させ、作動状況を確認する。

## (3) 水処理及びブロー

ボイラ給水に対する水処理の目的は、次の3つに分けられる。

- a. 溶存酸素や腐食性物質による腐食の防止。
- b. 給水中の硬度成分や溶解固形分の析出によるスケール生成の防止。
- c. ボイラ水中の溶解固形分や油脂分の増加に起因する泡立ちの防止。

スケールの熱伝導率は、軟鋼の場合の1/100程度しかないので、スケールの付着によって熱効率が著しく悪化するとともに、伝熱管が局部的に過熱されて機械的強度が低下し、ボイラ圧力に耐えられなくなって破裂事故を起こすことになる。また、スラジに覆われた面は腐食を起こしやすい。

以上のような障害を防ぐため、日本工業規格(JIS)ではTable 9.3及びTable 9.4に示す水質標準値を定めてある。

ボイラの水処理法にはボイラ外処理とボイラ内処理がある。

ボイラ外処理には懸濁固形物質の沈降・ろ過、イオン交換樹脂による塩類除去、脱気がある。20 bar以下の低圧ボイラ用には設備費が廉価で運転管理も容易なCation交換樹脂単純軟化装置が多く用いられる。軟化装置の運転に当たっては再生用食塩の不純物除去、水質分析の結果に基づく流速、再生時期、逆洗量などの標準設定とその遵守、年1回の樹脂補充又は交換等十分な注意を払う必要がある。

コンデンセート回収は軟化装置の負荷を軽減させ、熱量の有効利用を図れる合理的な方法であるが、回収途中においてO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>や腐食生成物である鉄分が混入してくることがある。このような場合はろ過器及び脱気器を通して給水に戻すようにし、

Table 9.3 Quality of Feed Water and Boiler Water for Circulating Boiler

Classification	Cylindrical boiler				Water-tube boiler			
	From 30 to 60	From 60 to 80	From 80 to 100	From 100 to 125	From 75 to 100	From 100 to 125	From 125 to 150	From 150 to 200
Max. servicing pressure (MPa)	Below 10	From 10 to 20	From 20 to 30	From 30 to 50	From 50 to 75	From 75 to 100	From 100 to 125	From 125 to 150
Rate of evaporation of heating surface (bar/h)	Below 30 <sup>(a)</sup>	From 30 to 60	From 60 to 80	From 80 to 100	From 100 to 125	From 125 to 150	From 150 to 175	From 175 to 200
pH (25 °C)	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	8.5-9.5 <sup>(b)</sup>	8.5-9.5 <sup>(b)</sup>
Hardness (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Below 60	Below 2	Below 1	Below 1	Below 1	0	0	0
Oil and oil	Maintain zero as much as possible							
Dissolved oxygen (mgO <sub>2</sub> /l)	Maintain in low level							
Total iron (mgFe/l)	—	—	—	—	—	—	—	—
Total copper (mgCu/l)	—	—	—	—	—	—	—	—
Hydrazine <sup>(c)</sup> (mgNH <sub>2</sub> /l)	—	—	—	—	—	—	—	—
Electrical conductivity (25 °C) (μS/cm)	—	—	—	—	—	—	—	—
Treatment method	Alkali treatment	Alkali treatment	Alkali treatment or phosphating	Alkali treatment or phosphating	Phosphating	Phosphating	Phosphating	Phosphating
pH (25 °C)	11.0-11.8	11.0-11.8	11.0-11.8	10.8-11.3	10.5-11.0	9.4-11.0 <sup>(d)</sup>	9.2-10.3 <sup>(d)</sup>	8.7-9.5
Alkalinity <sup>(e)</sup> (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	100-800	100-800	100-800	100-800	Below 150	—	—	—
Alkalinity <sup>(f)</sup> (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	80-600	80-600	80-600	80-600	Below 120	—	—	—
Total solids (mg/l)	Below 4000	Below 3000	Below 2500	Below 2000	Below 1000	Below 500	Below 300	Below 200
Electrical conductivity (μS/cm)	Below 6000	Below 4500	Below 4000	Below 3000	Below 2000	Below 1000	Below 600	Below 400
Chloride ion (mgCl <sup>-</sup> /l)	Below 600	Below 400	Below 300	Below 200	Below 100	Below 50	Below 30	Below 20
Phosphate ion <sup>(g)</sup> (mgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	20-40	20-40	20-40	20-40	5-15	3-10	1-5	0.5-3
Sulfite ion <sup>(h)</sup> (mgSO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /l)	10-20	10-20	10-20	10-20	5-10	5-10	—	—
Hydrazine <sup>(i)</sup> (mgNH <sub>2</sub> /l)	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	—	—	—
Silica (mgSiO <sub>2</sub> /l)	—	—	—	—	—	—	—	—

Notes (1) Apply it when using live steam and using constantly make-up water in a cast iron boiler.  
 (2) It means hexane extract (see JIS B 8224).  
 (3) Apply it when hydrazine may be poured in the feed water as an oxygen scavenger.  
 (4) It means an acid consumption (pH 4.8).  
 (5) It means an acid consumption (pH 8.3).  
 (6) Apply it when phosphate may be poured in water.  
 (7) Apply it when sulfite may be poured in water as an oxygen scavenger.  
 (8) Apply it when hydrazine may be poured as an oxygen scavenger in a cylindrical boiler or a water-tube boiler in a pressure less than 20 bar (2 MPa) of the maximum servicing pressure.  
 (9) Where the pipe material in the heater for a high pressure feed water is steel pipe, pH is desirable to be adjusted to a higher.  
 (10) It is desirable to maintain below 0.02 mgFe/dil.  
 (11) It is desirable to maintain below 0.01 mgFe/dil.  
 (12) A subject water passed through a hydrogen form strong acid cation exchange resin should be measured.  
 (13) The pH lower limit indicates a lower limit when a phosphating is applied and shall be taken as a pH corresponding to the lower limit of the PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> concentration of boiler water. (See paragraph 1.3.1 of the description).  
 (14) If hardness components and pH lowering components are leaked in the boiler water due to see water leakage from the sample vessel, some type and quantity of phosphate required to the emergency treatment against the leaked components and quantity should be poured.

Remarks  
 1. The concentration unit of mg/l is shall be regarded as the same as ppm.  
 2. For a make-up water to a water-tube boiler of the maximum servicing pressure of 20 bar, deaerated water shall be applied.  
 3. Hydrazine or sulfur as an oxygen scavenger, as a rule, either one of them shall be poured.

これら不純物が蓄積して新たな腐食の原因にならないように注意しなければならない。

Table 9.4 Quality of Feed Water for Once-through Boiler

Classification	Max. servicing pressure	bar	Below 25	From 75 to 100	From 100 to 125	From 125 to 150	From 150 to 200	Over 200
	(MPa)	Below 2.5	From 7.5 to 10	From 10 to 12.5	From 12.5 to 15	From 15 to 20	Over 20	
Feed water	pH (25 °C)	10.5 ~ 11.0	8.5 ~ 9.5 <sup>(3)</sup>	8.5 ~ 9.5 <sup>(3)</sup>	8.5 ~ 9.5 <sup>(3)</sup>	8.5 ~ 9.5 <sup>(3)</sup>	9.0 ~ 9.5	
	Hardness (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Below 1*	0	0	0	0	0	
	Dissolved oxygen (mgO/l)	Below 0.5	Below 0.007	Below 0.007	Below 0.007	Below 0.007	Below 0.007	
	Total iron (mgFe/l)	—	Below 0.03 <sup>(3)</sup>	Below 0.03 <sup>(3)</sup>	Below 0.02 <sup>(4)</sup>	Below 0.02 <sup>(4)</sup>	Below 0.01	
	Total copper (mgCu/l)	—	Below 0.01	Below 0.01	Below 0.005	Below 0.003	Below 0.002	
	Hydrazine(1) (mgN <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /l)	—	Below 0.01	Below 0.01	Below 0.01	Below 0.01	Below 0.01	
	Silica (mgSiO <sub>2</sub> /l)	—	Below 0.04 <sup>(5)</sup> Below 0.02 <sup>(6)</sup>	Below 0.04 <sup>(5)</sup> Below 0.02 <sup>(6)</sup>	Below 0.03 <sup>(5)</sup> Below 0.02 <sup>(6)</sup>	Below 0.02	Below 0.02	
	Total solids (mg/l)	Below 700	—	—	—	—	—	
	Electrical conductivity (25°C) (μS/cm)	Below 1,000	Below 0.3 <sup>(7)</sup>	Below 0.3 <sup>(7)</sup>	Below 0.3 <sup>(7)</sup>	Below 0.3 <sup>(7)</sup>	Below 0.25 <sup>(7)</sup>	
	Phosphate ion (mgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	20 ~ 40	—	—	—	—	—	

Notes

- (1) The concentration of hydrazine shall be limited with a concentration not exceeded the upper limit of pH.
- (2) Where the pipe material in the heater for a high pressure feed water is steel pipe, pH is desirable to be adjusted to a higher.
- (3) It is desirable to maintain below 0.02 mgFe/lit.
- (4) It is desirable to maintain below 0.01 mgFe/lit.
- (5) It is applied to a boiler with separator.
- (6) It is applied to a boiler without separator.
- (7) A subject water passed through a hydrogen form strong acidity cation exchange resin should be measured.

Remarks

1. Since the concentration of the total solids in the feed water for a high pressure once-through boiler is very low and can not be nearly measured, the measured value of electrical conductivity should be used to estimate a concentration of soluble solids in the total solids.
  2. The maximum servicing pressure of 25 bar (2.5 MPa) or less shall be applied to an once-through boiler returned by 30 % of the boiler water into the feed water. Since the water returned from the boiler is added into the feed water is again fed to the boiler with addition of some chemicals, the water quality shall be controlled by the method similar to it for a circulating boiler.
- The mark of \* shall be applied to the feed water prior to addition of a returned water.

ボイラ内処理は、調整剤、軟化剤、スケール防止剤、脱酸素剤、泡立ち防止剤の添加による処理であり、これらを配合したコンパウンドが市販されている。

ボイラ水中の不純分の蓄積を防ぐため、吹き出し（ブロー）は重要な操作である。ブローは給水量と連動させて連続的に行う方が間欠ブローに比べて量の調節が容易で、熱回収もできるので経済的である。ブロー量は給水水質と、Table 9.3, 9.4 に示したボイラ水水質標準から次式で求められる。

y : 吹き出し量

k : 吹き出し率 (%)

x : 蒸発量

a : 給水中の不純物濃度

b : ボイラ水中の不純物濃度標準

$$a(x + y) = by$$

$$\therefore y = \frac{a}{b-a} x$$

$$k = \frac{a}{b-a} \times 100$$

不純物としてMアルカリ度, 全蒸発残留物, 塩化物イオン, シリカを管理の対象とするが実際には分析が簡単でなく, 低圧ボイラでは電気伝導率を目安にすることが多い。予じめ, 塩化物イオン濃度と電気伝導率の関係を測定しておいて管理することが望ましい。

Table 9.5 は, 日本工業規格に参考として示されている水質の測定頻度の基準である。

**Table 9.5 Standard for Water Quality Measuring Frequency**

Sampling location	1	2	3	4	5	6	7	
Check division	Irregular intervals	Periodical intervals						
Item								
Appearance		D	D		D	D		D
pH	n	n	n		D	D	n	D
P-alkalinity						D		
M-alkalinity	n		n			D		
Chloride ion	n				W	D		D
Free chlorine	n	n						
Phosphate ion						D		
Electric conductivity		D			D	D		
Hydrazine					2W			
Sulfite ion					2W			
Total solid	n		n			n	n	n
Silica						M		
Total hardness	n	n		D	D	n		n
Total iron					n			n
Turbidity	n		n		n			n
Organic matter(COD)	n							n

Remarks: D: Once per day, W: Once per week, 2W: Twice per week, M: Once per month, n: According to demand

### 9.3 ボイラ容量の表現

ボイラ容量の表わし方には、定格蒸発量と換算蒸発量の2種類がある。

#### 9.3.1 定格蒸発量

連続運転のできる最大負荷のもとでの単位時間当たり蒸発量を表わすものであり、蒸気圧力、蒸気温度、給水温度も併記しておくことが必要である。

#### 9.3.2 換算蒸発量

前述の条件を一定の基準に換算し、容量比較を容易にしたものであり、給水から所定の蒸気を発生させるのに要した毎時有効熱量を、100℃の飽和蒸気になる時の蒸発熱539kcal/kgで除した値を用いる。

Gを実際蒸発量kg/h、 $h_1$ 、 $h_2$ を給水及び発生蒸気の比エンタルピ(kcal/kg)とすると、換算蒸発量 $G_e$ は次の式で求められる。

$$G_e = \frac{G(h_2 - h_1)}{539} \quad (\text{kg/h})$$

これらの他に、ボイラ容量の表わし方として、燃焼ガス側の伝熱面積( $\text{m}^2$ )で表わすこともある。また、アメリカやイギリスの小型ボイラではボイラ馬力(boiler horse power)で表わすこともある。この表わし方は1876年に定められたもので、ゲージ圧力70 lb/in<sup>2</sup>の飽和蒸気30 lb/h当たり1馬力という値をもとにしており、今日では実状に合わない。換算蒸発量15.65 kg/hで1馬力に相当する。

### 9.4 ボイラの熱勘定

日本では日本工業規格でボイラの熱勘定方式(JIS B8222)が定められているので、その概要を紹介する。

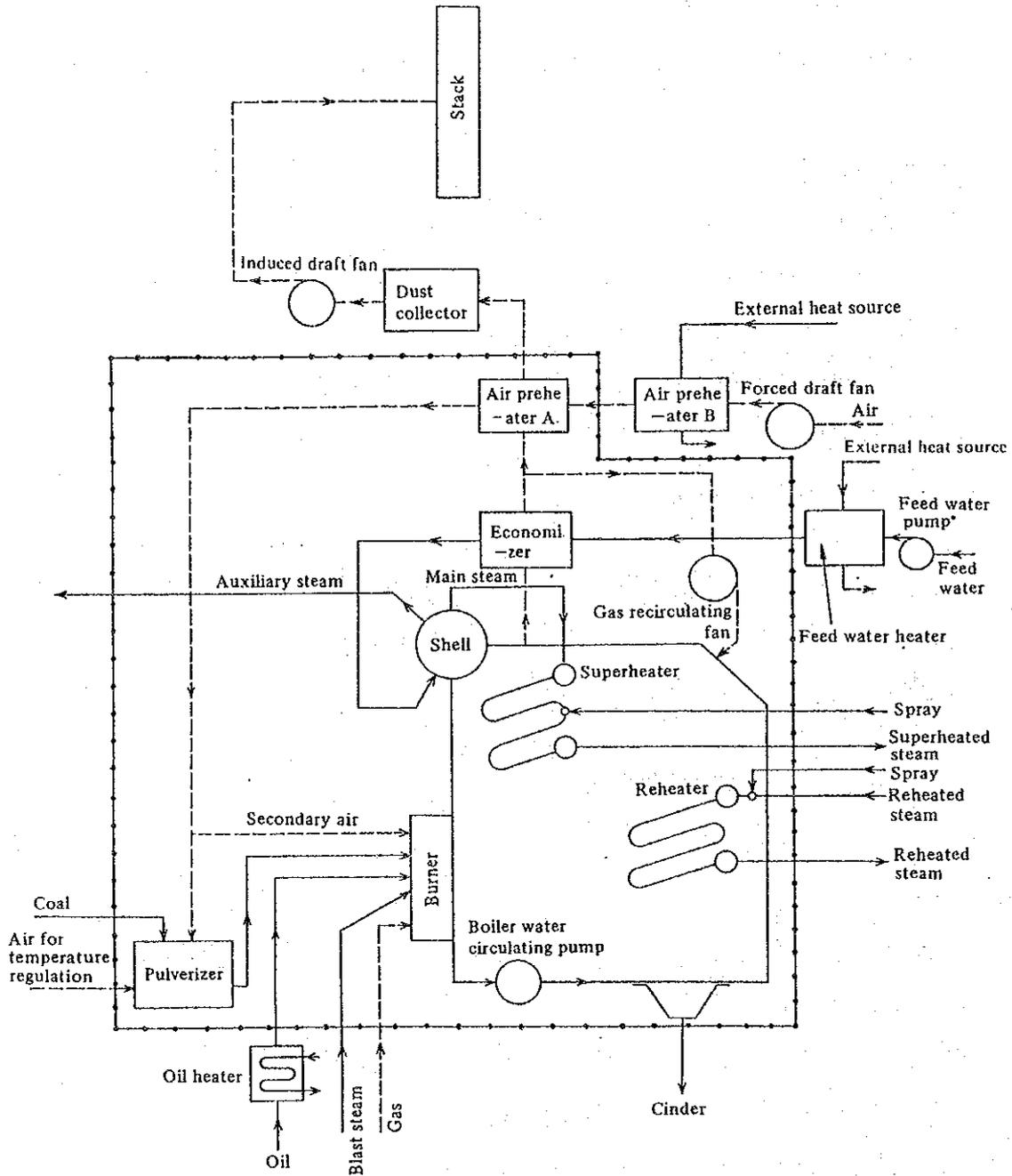
熱勘定は、定常的な状態で1時間以上運転した結果により外気温を基準温度として行う。この間はブローやスートブローは行わない。

最初に、Figure 9.7に示すように熱勘定の範囲を確定する。熱勘定は、この境界線を横切って出入する出熱、入熱について行うことになる。排熱回収設備のある場合は、特に測定点を誤らないように注意する必要がある。

対象ボイラの設備概要は、Table 9.6に示す項目に従って調査し、Table 9.7の事項について運転記録をとる。熱勘定の結果は、Table 9.8の様式にまとめる。

以下に計算のための参考事項を示す。

Figure 9.7 Standard range of boiler heat balance



**Table 9.6 Outline of Equipment**

Outlines of the installation shall be indicated as follows.

Name of plant, Address			
Name of boiler maker			
Number of boiler, date of manufacture			
Boiler proper	Kind • Type		
	Maximum continuous evaporation		t/h
	Maximum working pressure <sup>(1)</sup>		bar
	Normal operating pressure <sup>(1)</sup>		bar
	Superheated (reheated) temperature		°C
Calorific value of standard fuel		kcal/kg(m <sup>3</sup> )	
Heating surface area	Boiler		m <sup>2</sup>
	Water wall		m <sup>2</sup>
	Total		m <sup>2</sup>
Super-heater	Type Heating surface area		m <sup>2</sup>
Reheater	Type Heating surface area		m <sup>2</sup>
Econo-mizer	Type Heating surface area		m <sup>2</sup>
Air pre-heater	Type Heating surface area		m <sup>2</sup>
Firing equip-ment	Type (°) Burner capacity, number and grate area		kg(m <sup>3</sup> )/h, m <sup>2</sup>
Combu-sion chamber	Furnace volume		m <sup>3</sup>
	Standard heat generation		kcal/m <sup>3</sup> h
Control device	Pressure		
	Water level		
	Superheating temp.		
	Others		
Drafting equipment	Drafting		
	Forced fan	Type	
		Capacity Pressure	
	Induced fan	Type	
		Capacity Pressure	
Other fan	Type		
	Capacity Pressure		m <sup>3</sup> /min(°C) mmAq
Chimney	Size (diameter × height) Name and number of common use		m × m
Water feeding equipment	Kind		
	Capacity, number		t/h
	Kind and capacity of feed water treating device		
	Quality of feed water		
	Name and quantity of chemical use		
Preparing condition at test starting			

Note(1) The pressure is a gage pressure.

**Table 9.7 Results of Measurement (1/2)**

The test results shall be indicated as follows.

Date and time of test				
Personnel in charge				
Weather, atmospheric pressure, wind velocity				°C
Ambient temperature, dry bulb and wet bulb temperatures				°C
Duration of test				h
Load factor				%
Brand and characteristic of fuel				
Mixing ratio				
Temperature as used				°C
Total moisture				%
Fuel	Proximate analysis	Analysed value As used	% %	Correct by moisture.
	Ultimate analysis	Analysed value As used	% %	Correct by moisture.
	Lower calorific value of fuel used (high)	Analysed value As used	kcal/kg( $m_3$ ) kcal/kg( $m_3$ )	Measure a high combustion heat by a calorimeter and obtain a low combustion heat by calculation. Correct by moisture.
	Fuel consumption Total		kg( $m_3$ )	
	Fuel consumption per hour		kg( $m_3$ )/h	
	Firing quantity per burner		kg( $m_3$ )/h	
	Combustion chamber heat generation		kcal/ $m^3$ h	
Condition of firing equipment				
Condition of control device				
Condition of drafting equipment				
Condition of water feeding equipment				
Feed water	Quantity of feed water	Total (corrected value)	kg	
		Per hour	kg/h	
		Per unit volume of fuel	kg/kg( $m_3$ )	
	Temperature	Economizer inlet	°C	
		Boiler proper inlet	°C	
Rate of condensate recovery				%
Steam generated	Pressure	Boiler drum	bar	
		Superheater outlet	bar	
		Reheater inlet	bar	
		Reheater outlet	bar	
	Temperature	Superheated outlet	°C	
		Reheater inlet	°C	
		Reheater outlet	°C	
Dryness (in case of no superheater)				% Measuring by a throttling calorimeter or approximate figures (i.e. 98%)
Evaporation	Total (corrected value)	kg		
	Per hour	kg/h		
	Equivalent evaporation per hour	kg/h	Obtain from the feed water quantity. Correct the boiler water level and the steam used in itself.	
Steam jetting into furnace	Source of steam			
	Quantity of steam			kg/h
	Pressure and temperature			bar, °C
Air for combustion	Air quantity per 1 kg of fuel			$m_3$ /kg( $m_3$ ) Calculate from the composition of fuel and combustion gas.
	Temperature and pressure	Air preheater inlet	°C, mmAq	
		Air preheater outlet	°C, mmAq	
		Outlet of forced draft fan	°C, mmAq	
Inlet of chamber		°C, mmAq		

**Table 9.7 Results of Measurement (2/2)**

Air for combustion	Air ratio	Outlet of boiler proper Outlet of economizer Outlet of air preheater
	Exhaust gas quantity per unit volume of fuel $m_a^3/kg(m_a^3)$	
Exhaust (combustion) gas	Temperature and pressure	Furnace inside °C, mmAq
		Outlet of boiler proper °C, mmAq
		Economizer inlet °C, mmAq
		Economizer outlet °C, mmAq
		Air preheater inlet °C, mmAq
		Air preheater outlet °C, mmAq
		Induced fan suction °C, mmAq
		Induced fan delivery °C, mmAq
	Gas analysis	Outlet of boiler proper (CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO) %
		Outlet of economizer (CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO) %
Outlet of air preheater (CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO) %		
Unburned component Refuse quantity per unit volume of fuel		% kg/kg
Calculate from the fuel consumption, ash in fuel, unburned fuel in cinder.		
Condition of smoke		
Auxiliary	Steam consumption	kg
	Electric power consumption	kWh
Remark		

Remarks 1. The values entered to this sheet, such as analysis data of the refuse and exhaust gas, pressures, temperatures and etc. of the steam, air and gas shall be the averages.

2. Load factor shall be as follows.

$$\text{Load factor} = \frac{\text{Actual evaporation}}{\text{Maximum continuous evaporation}} \times 100\%$$

3. Condition of firing equipment means as follows.

- Hand firing method and interval of feeding coal, damper opening
- Stoker firing speed of stoker or coal feeder, thickness of coal layer, damper opening, etc.
- Pulverizer coal firing working number and speed of coal feeders, pulverizers, exhausters and fans, damper opening, working number and condition of burners
- Oil firing oil pressure, and working number and condition of burner
- Gas combustion gas pressure. Number and condition of operating burners

4. Condition of water feeding equipment means as follows.

- Intermittent feeding number of feeding per hour, etc.
- Continuous feeding working number, revolution, valve opening, etc. of pumps

5. Condition of drafting equipment means revolution, regulating valve opening, damper opening, etc. of fans.

**Table 9.8 Heat Balance Table (1/2)**

Heat input		kcal/kg(m <sub>N</sub> <sup>3</sup> )	%
(1)	Calorific value of fuel	H <sub>1</sub> ( <sup>o</sup> )	(2) Mean specific heat of fuel × (Fuel temp. after heating – ambient temp.)
(2) ( <sup>o</sup> )	Sensible heat of fuel	Q <sub>1</sub>	(3) Air quantity (including moisture) per 1 kg (m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ) of fuel × Mean specific heat of air × (Air temp. after heating – ambient temp.)
(3) ( <sup>o</sup> )	Sensible heat of air	Q <sub>2</sub>	(4) Blast steam quantity per 1 kg (Nm <sup>3</sup> ) of fuel × (Enthalpy of steam – Enthalpy of steam in ambient temp.) (Only in case of steam from another source)
(4) ( <sup>o</sup> )	Carrying heat of furnace blast steam	Q <sub>3</sub>	
Total		H <sub>1</sub> ( <sup>o</sup> ) + Q	100

Note (<sup>o</sup>) (2), (3) and (4) are due to the external heat source.  
 (<sup>o</sup>) In case of a high heating value basis, it shall be taken as H<sub>h</sub>(H<sub>h</sub><sup>o</sup>).

Heat input		kcal/kg(m <sub>N</sub> <sup>3</sup> )	%	
Effective heat	(1)	Heat content of generated steam	Q <sub>4</sub>	(1) (a) Feed water quantity per 1 kg (m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ) of fuel × (Enthalpy of steam in outlet of boiler – Enthalpy in outlet of economizer)
	(a)	Heat absorbed at the boiler proper		(b) Feed water quantity per 1 kg (m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ) of fuel × (Enthalpy of feed water in outlet of economizer – Enthalpy of feed water)
	(b)	Heat absorbed by economizer		(c) Feed water quantity per 1 kg (m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ) of fuel × (Enthalpy of steam in outlet of superheater – Enthalpy of steam in outlet of boiler) + Spray quantity per 1 kg (m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ) of fuel × (Enthalpy of steam in outlet of superheater – Enthalpy of spray water).
	(c)	Heat absorbed by superheater		(2) Steam quantity in inlet of reheater per 1 kg (m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ) of fuel × (Enthalpy of steam in outlet of reheater – Enthalpy of steam in inlet of reheater) + Spray quantity per 1 kg (m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ) of fuel × (Enthalpy of steam in outlet of reheater – Enthalpy of spray water)
(2)	Heat absorbed by reheater	Q <sub>5</sub>		
Subtotal		Q <sub>8</sub>		

Heat loss	(1)	Heat loss in exhaust gas	L <sub>1</sub> ( <sup>o</sup> )	L <sub>7</sub>	(1) Actual exhaust gas quantity (including moisture) per 1 kg (m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ) of fuel × mean specific heat of exhaust gas × (Temp. of exhaust gas – ambient temp.)
	(2)	Heat loss due to furnace blast steam	L <sub>2</sub>		See item (f)
	(3)	Heat loss due to incomplete burning exhaust gas	L <sub>3</sub>		See item (g)
	(4)	Heat loss due to combustible in refuse	L <sub>4</sub>		See item (h)
	(5)	Heat loss due to release	L <sub>5</sub>		See item (i)
	(6)	Heat loss due to others	L <sub>6</sub>		See item (j)
Subtotal		L <sub>7</sub> ( <sup>o</sup> )			
Total					100

Note (<sup>o</sup>) In case of a high heating value basis L<sub>1</sub>(L<sub>1</sub><sup>o</sup>) shall be taken as L<sub>1h</sub> (L<sub>1h</sub><sup>o</sup>) and L<sub>7</sub> (L<sub>7</sub><sup>o</sup>) be taken as shall be taken as L<sub>7h</sub> (L<sub>7h</sub><sup>o</sup>).

**Table 9.8 Heat Balance Table (2/2)**

Boiler efficiency		%
(1)	Input-and-output heat method	
$\eta_1 = \frac{Q_8}{H_1 + Q} \times 100,$		
(2)	Heat loss method	
$\eta_2 = \left( 1 - \frac{L_7 - L_6}{H_1 + Q} \right) \times 100,$		

a. 高発熱量から低発熱量を求める方法

固体燃料及び液体燃料： $H\ell = Hh - 5.9(9h + w)$  kcal/kg Fuel

ここで  $h$ ：使用状態での水素含有率（重量％）

$w$ ：使用状態での水分含有率（重量％）

元素分析を行わない場合、 $h$ は次の値とする。

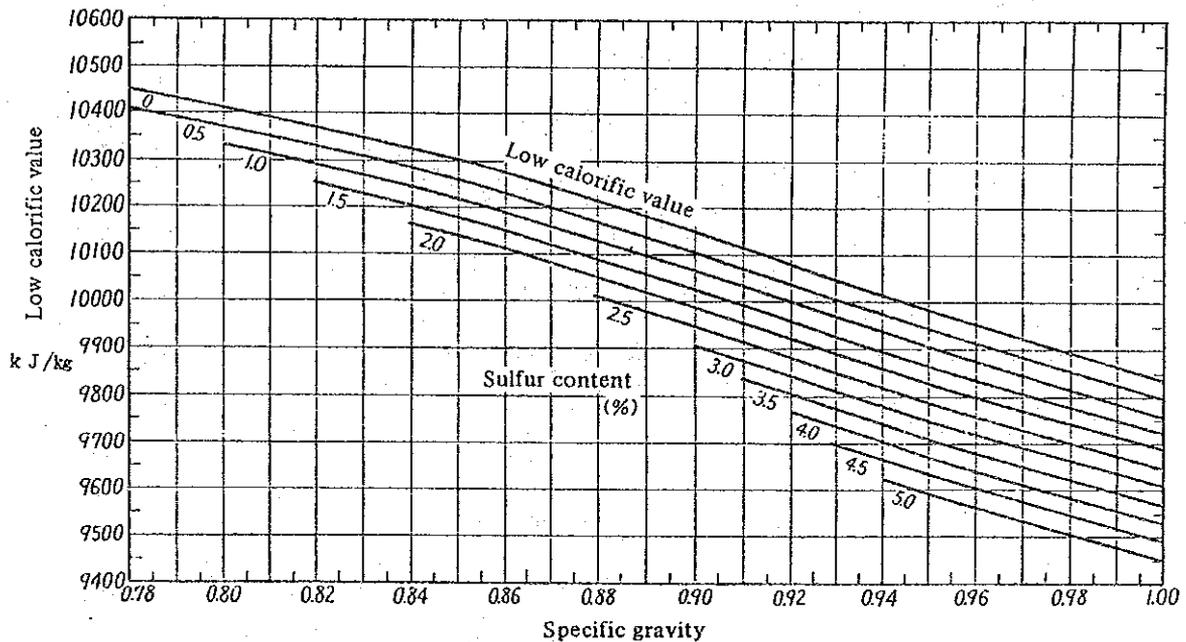
灯油、軽油、原油、A重油  $h = 13\%$

B重油  $h = 12\%$

C重油  $h = 11\%$

これとは別に、石油系燃料については比重と発熱量の関係を示す図表が発表されている。（Figure 9.8 参照）。 $t$ ℃で測定した比重が  $d_t$  のとき、15℃の比重  $d_{15}$  を求めるのは次式による。

Figure 9.8 Relation between calorific value (Low) and specific gravity of petroleum fuel



$$d_{15} = d_t + 0.00065(t - 15)$$

また、次の値（Table 9.9 参照）を使っても大きな誤差はない。

気体燃料： $H\ell = 25.7(H_2) + 30.2(CO) + 85.5(CH_4) + 143(C_2H_6)$   
 $+ 154(C_2H_6) + 211(C_3H_8) + 224(C_3H_8) + 272(C_4H_{10})$   
 $+ 295(C_4H_{10})$  kcal/m<sup>3</sup>-Fuel

ここで（H<sub>2</sub>）等は、各成分の容積％とする。

**Table 9.9 Specific Gravity, Sulfur Content and Mean Calorific Value of Petroleum Fuel**

	Specific gravity	Sulfur content (%)	Mean calorific value (low)
Kerosene	0.79 ~ 0.85	0.5 or Below	kcal/kg 10,400
Light oil	0.82 ~ 0.86	1.2 or Below	10,300
Whole fuel oil			9,850
A fuel oil	0.84 ~ 0.86	0.5 ~ 1.5	10,200
B fuel oil	0.88 ~ 0.92	0.5 ~ 3.0	9,900
C fuel oil	0.90 ~ 0.95	1.5 ~ 3.5 (Over)	9,750

b. 燃料及び空気の比熱

石炭	0.25 kcal/ (kg · °C)
重油	0.45 kcal/ (kg · °C)
天然ガス	0.38~0.42kcal/ (kg · °C)
LPG	0.7~1.0 kcal/ (m <sup>3</sup> · °C)
空気	0.31 kcal/ (m <sup>3</sup> · °C) (空気中の湿度の影響は無視できる)

c. 空気量

理論空気量 (A<sub>0</sub>) は燃料の成分から計算によって求める。固体及び液体燃料の場合は、燃料中の炭素、水素、酸素、硫黄の含有量をそれぞれ c, h, o, s % とすると、A<sub>0</sub> は次式で表わされる。

$$A_0 = \frac{1}{100} [ 8.89 c + 26.7 ( h - \frac{o}{8} ) + 3.33s ] \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{kg-Fuel}$$

燃料の元素分析をしない場合は、その発熱量から近似式を用いて A<sub>0</sub> を算出することができる。この規格では Boie の式を採用している。

・石炭の場合

$$A_0 = 1.01 \frac{H \ell}{1,000} + 0.56 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{kg Fuel}$$

・重油の場合

$$A_0 = 12.38 \frac{H \ell}{10,000} - 1.36 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{kg Fuel}$$

• 気体燃料の場合

$$A_o = 11.20 \frac{H \ell}{10,000} \text{ m}^3_{\text{N}} / \text{m}^3_{\text{N}} \text{ Fuel}$$

(炭化水素混合ガスするとき)

実際投入空気量(A)は、次式によって求める。

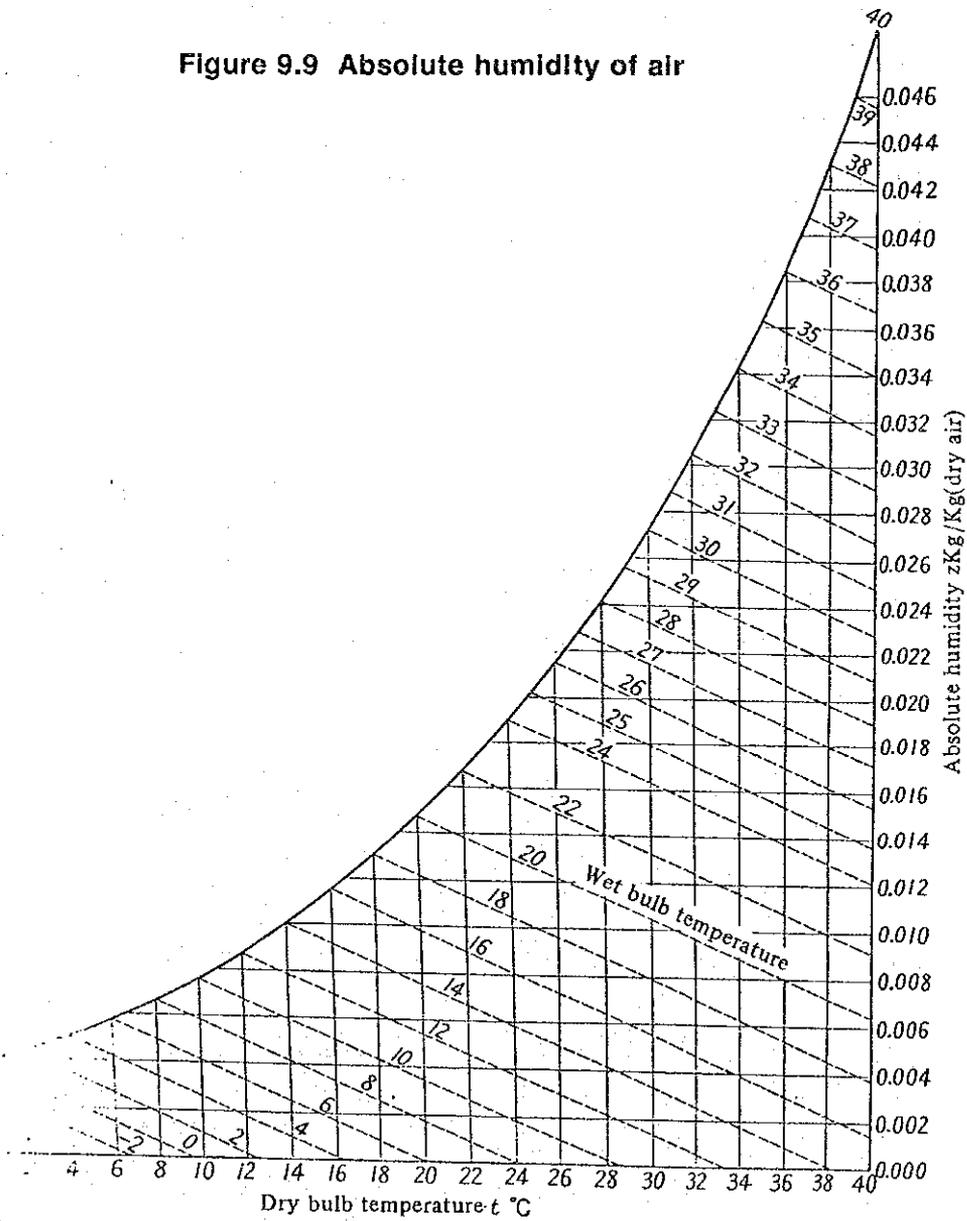
$$A = mA_o (1 + 1.61 z) \text{ m}^3_{\text{N}} / \text{kg} (\text{m}^3_{\text{N}}) \text{ Fuel}$$

m : 空気比

z : 外気の絶対湿度 kg / kg 乾燥空気

z の値は Figure 9.9 から求められる。

Figure 9.9 Absolute humidity of air



空気比は排ガス中の酸素濃度又は CO<sub>2</sub> 濃度を測定し、物質収支を計算して求める。燃料中の窒素分が少なく、乾き燃焼用排ガス中の窒素分が79%とみなすことができ、かつ完全燃焼しているとみなされる場合は、次の式で求めることができる。

$$m = \frac{21}{21 - (\text{O}_2)}$$

(O<sub>2</sub>)          排ガス中酸素濃度%

また燃料中の水素が少い場合は

$$m = \frac{(\text{CO}_2)_{\text{max}}}{(\text{CO}_2)}$$

(CO<sub>2</sub>)          排ガス中炭素ガス濃度%

(CO<sub>2</sub>) max      理論乾き排ガス中の最高炭素ガス濃度

(CO<sub>2</sub>) max の値は、次の値を用いてもよい。石炭18.5%、重油15.7%、天然ガス12%、LPG 14.5%。

d. 発生蒸気の吸収した熱

発生蒸気の吸収した熱は、発生蒸気の保有熱から給水の顕熱を減じたもので示される。過熱器でスプレーしている場合はスプレー水の吸収した熱量を、再熱器のある場合はそこで蒸気やスプレー水が得た熱を加える。蒸気のエンタルピは Table 9.10 及び11による。

e. 排ガス損失

燃焼排ガスの平均比熱は 0 ~ 300 °C、空気比 1.0 ~ 1.3 (固体燃料の場合は 1.5) の範囲で求めた結果では 0.33 kcal/(m<sup>3</sup>°C) となっている。

蒸気を含む理論燃焼排ガス量は理論空気量と同じく、物質収支から計算するか又は Boie の近似式により、燃料発熱量から求めることができる。

・石炭の場合

$$G_1 = \frac{0.904H \ell}{1,000} + 1.67 \text{ m}^3_{\text{N}} / \text{kg-Fuel}$$

・重油の場合

$$G_1 = \frac{15.75H \ell}{10,000} - 3.91 \text{ m}^3_{\text{N}} / \text{kg-Fuel}$$

・気体燃料の場合

$$G_1 = \frac{12.25H \ell}{10,000} \text{ m}^3_{\text{N}} / \text{m}^3_{\text{N}}\text{-Fuel}$$

(炭化水素混合ガスのとき)

実際排ガス量は次式のようなになる。

$$G = G_1 + (m-1) A_o + \text{空気中の湿分による水蒸気量}$$

このうち、空気中の湿分による水蒸気量は通常無視してもよい。

Table 9.10 Thermodynamic properties of saturated water and saturated steam  
(Temperature reference)

Temperature		Saturation pressure	Specific volume (m <sup>3</sup> /kg)		Specific enthalpy (kJ/kg)			Specific entropy (KJ/(kg·K))	
t (°C)	T (K)	P <sub>s</sub> (MPa)	v'	v''	h'	h''	r=h''-h'	s'	s''
0.00	273.15	0.0006108	0.0010002	206.3	-0.04	2501.6	2501.6	-0.0002	9.1577
0.01	273.16	0.0006112	0.0010002	206.2	0.00	2501.6	2501.6	0.0000	9.1575
2	275.15	0.0007055	0.0010001	179.9	8.39	2505.2	2496.8	0.0306	9.1047
4	277.15	0.0008129	0.0010000	157.3	16.80	2508.9	2492.1	0.0611	9.0526
6	279.15	0.0009345	0.0010000	137.8	25.21	2512.6	2487.4	0.0913	9.0015
8	281.15	0.0010720	0.0010001	121.0	33.60	2516.2	2482.6	0.1213	8.9513
10	283.15	0.0012270	0.0010003	106.4	41.99	2519.9	2477.9	0.1510	8.9020
12	285.15	0.0014014	0.0010004	93.84	50.38	2523.6	2473.2	0.1805	8.8536
14	287.15	0.0015973	0.0010007	82.90	58.75	2527.2	2468.5	0.2098	8.8060
16	289.15	0.0018168	0.0010010	73.38	67.13	2530.9	2463.8	0.2388	8.7593
18	291.15	0.002062	0.0010013	65.09	75.50	2534.5	2459.0	0.2677	8.7135
20	293.15	0.002337	0.0010017	57.84	83.86	2538.2	2454.3	0.2963	8.6684
22	295.15	0.002642	0.0010022	51.49	92.23	2541.8	2449.6	0.3247	8.6241
24	297.15	0.002982	0.0010026	45.93	100.59	2545.5	2444.9	0.3530	8.5806
26	299.15	0.003360	0.0010032	41.03	108.95	2549.1	2440.2	0.3810	8.5379
28	301.15	0.003778	0.0010037	36.73	117.31	2552.7	2435.4	0.4088	8.4959
30	303.15	0.004241	0.0010043	32.93	125.66	2556.4	2430.7	0.4365	8.4546
32	305.15	0.004753	0.0010049	29.57	134.02	2560.0	2425.9	0.4640	8.4140
34	307.15	0.005318	0.0010056	26.60	142.38	2563.6	2421.2	0.4913	8.3740
36	309.15	0.005940	0.0010063	23.97	150.74	2567.2	2416.4	0.5184	8.3348
38	311.15	0.006624	0.0010070	21.63	159.09	2570.8	2411.7	0.5453	8.2962
40	313.15	0.007375	0.0010078	19.55	167.45	2574.4	2406.9	0.5721	8.2583
42	315.15	0.008198	0.0010086	17.69	175.81	2577.9	2402.1	0.5987	8.2209
44	317.15	0.009100	0.0010094	16.04	184.17	2581.5	2397.3	0.6252	8.1842
46	319.15	0.010086	0.0010103	14.56	192.53	2585.1	2392.5	0.6514	8.1481
48	321.15	0.011162	0.0010112	13.23	200.89	2588.6	2387.7	0.6776	8.1125
50	323.15	0.012335	0.0010121	12.05	209.26	2592.2	2382.9	0.7035	8.0776
55	328.15	0.015741	0.0010145	9.579	230.17	2601.0	2370.8	0.7677	7.9926
60	333.15	0.019920	0.0010171	7.679	251.09	2609.7	2358.6	0.8310	7.9108
65	338.15	0.02501	0.0010199	6.202	272.02	2618.4	2346.3	0.8933	7.8322
70	343.15	0.03116	0.0010228	5.046	292.97	2626.9	2334.0	0.9548	7.7565
75	348.15	0.03855	0.0010259	4.134	313.94	2635.4	2321.5	1.0154	7.6835
80	353.15	0.04736	0.0010292	3.409	334.92	2643.8	2308.8	1.0753	7.6132
85	358.15	0.05780	0.0010326	2.829	355.92	2652.0	2296.5	1.1343	7.5454
90	363.15	0.07011	0.0010361	2.361	376.94	2660.1	2283.2	1.1925	7.4799
95	368.15	0.08453	0.0010399	1.982	397.99	2668.1	2270.2	1.2501	7.4166
100	373.15	0.10133	0.0010437	1.673	419.06	2676.0	2256.9	1.3069	7.3554
110	383.15	0.14327	0.0010519	1.210	461.32	2691.3	2230.0	1.4185	7.2388
120	393.15	0.19854	0.0010506	0.8915	503.72	2706.0	2202.2	1.5276	7.1293
130	403.15	0.27013	0.0010700	0.6681	546.31	2719.9	2173.6	1.6344	7.0261
140	413.15	0.3614	0.0010801	0.5085	589.10	2733.1	2144.0	1.7390	6.9284
150	423.15	0.4760	0.0010908	0.3924	632.15	2745.4	2113.2	1.8416	6.8358
160	433.15	0.6181	0.0011022	0.3068	675.47	2756.7	2081.3	1.9425	6.7476
170	443.15	0.7920	0.0011145	0.2426	719.12	2767.1	2047.9	2.0416	6.6630
180	453.15	1.0027	0.0011275	0.1938	763.12	2776.3	2013.1	2.1393	6.5819
190	463.15	1.2551	0.0011415	0.1563	807.52	2784.3	1976.7	2.2356	6.5036
200	473.15	1.5549	0.0011565	0.1272	852.37	2790.9	1938.6	2.3307	6.4278
210	483.15	1.9077	0.0011726	0.1042	897.74	2796.2	1898.5	2.4247	6.3539
220	493.15	2.3198	0.0011900	0.08604	943.67	2799.9	1856.2	2.5178	6.2817
230	503.15	2.7976	0.0012087	0.07145	990.26	2802.0	1811.7	2.6102	6.2107
240	513.15	3.3478	0.0012291	0.05965	1037.6	2802.2	1764.6	2.7020	6.1406
250	523.15	3.9776	0.0012513	0.05004	1085.8	2800.4	1714.6	2.7935	6.0708
260	533.15	4.6943	0.0012756	0.04213	1134.9	2796.4	1661.5	2.8848	6.0010
270	543.15	5.5058	0.0013025	0.03559	1185.2	2789.9	1604.6	2.9763	5.9304
280	553.15	6.4202	0.0013324	0.03013	1236.8	2780.4	1543.6	3.0683	5.8586
290	563.15	7.4461	0.0013659	0.02554	1290.0	2767.6	1477.6	3.1611	5.7848
300	573.15	8.5927	0.0014041	0.02165	1345.0	2751.0	1406.0	3.2552	5.7081
310	583.15	9.8700	0.0014480	0.01833	1402.4	2730.0	1327.6	3.3512	5.6278
320	593.15	11.289	0.0014995	0.01548	1462.6	2703.7	1241.1	3.4500	5.5423
330	603.15	12.863	0.0015615	0.01299	1526.5	2670.2	1143.6	3.5528	5.4490
340	613.15	14.605	0.0016387	0.01078	1595.5	2626.2	1030.7	3.6616	5.3427
350	623.15	16.535	0.0017411	0.008799	1671.9	2567.7	895.7	3.7800	5.2177
360	633.15	18.675	0.0018959	0.006940	1764.2	2485.4	721.3	3.9210	5.0600
370	643.15	21.054	0.0022136	0.004973	1890.2	2342.8	452.6	4.1108	4.8144
374.15	647.30	22.120		0.00317		2107.4	0.0		4.429

1 [Mpa] = 10.197 kg/cm<sup>2</sup>

1 kJ = 0.2389 kcal

Table 9.11 Thermodynamic properties of saturated water and saturated steam  
(Pressure reference)

Pressure <i>P</i> (MPa)	Saturation temperature		Specific volume ( $m^3/kg$ )		Specific enthalpy (kJ/kg)			Specific entropy (kJ/(kg·K))	
	$t_s$ (°C)	$t_s$ (K)	$v'$	$v''$	$h'$	$h''$	$h''-h'$	$s'$	$s''$
0.001	6.0828	280.1328	0.0010001	129.20	29.34	2514.4	2485.0	0.1060	8.9767
0.002	17.513	290.663	0.0010012	67.01	73.46	2533.6	2460.2	0.2607	8.7246
0.003	24.100	297.250	0.0010027	45.67	101.00	2545.6	2444.6	0.3544	8.5785
0.004	28.983	302.133	0.0010040	34.80	121.41	2554.5	2433.1	0.4225	8.4755
0.005	32.898	306.048	0.0010052	28.19	137.77	2561.6	2423.8	0.4763	8.3960
0.006	36.183	309.333	0.0010064	23.74	151.50	2567.5	2416.0	0.5209	8.3312
0.007	39.025	312.175	0.0010074	20.53	163.38	2572.6	2409.2	0.5591	8.2767
0.008	41.534	314.684	0.0010084	18.10	173.86	2577.1	2403.2	0.5925	8.2296
0.009	43.787	316.937	0.0010094	16.20	183.28	2581.1	2397.9	0.6224	8.1881
0.010	45.833	318.983	0.0010102	14.67	191.83	2584.8	2392.9	0.6493	8.1511
0.02	60.086	333.236	0.0010172	7.650	251.45	2609.9	2358.4	0.8321	7.9994
0.03	69.124	342.274	0.0010223	5.229	289.30	2625.4	2336.1	0.9441	7.7695
0.04	75.886	349.036	0.0010265	3.993	317.65	2636.9	2319.2	1.0261	7.6709
0.05	81.345	354.495	0.0010301	3.240	340.56	2646.0	2305.4	1.0912	7.5947
0.06	85.954	359.104	0.0010333	2.732	359.93	2653.6	2293.6	1.1454	7.5327
0.08	93.512	366.662	0.0010387	2.087	391.72	2665.8	2274.0	1.2330	7.4352
0.10	99.632	372.782	0.0010434	1.694	417.51	2675.4	2257.9	1.3027	7.3598
0.101325	100.00	373.15	0.0010437	1.673	419.06	2676.0	2256.9	1.3069	7.3554
0.12	104.81	377.96	0.0010476	1.428	439.36	2683.4	2244.1	1.3609	7.2984
0.14	109.32	382.47	0.0010513	1.236	458.42	2690.3	2231.9	1.4109	7.2465
0.16	113.32	386.47	0.0010547	1.091	475.38	2696.2	2220.9	1.4550	7.2017
0.18	116.93	390.08	0.0010579	0.9772	490.70	2701.5	2210.8	1.4944	7.1622
0.2	120.23	393.38	0.0010608	0.8854	504.70	2706.3	2201.6	1.5301	7.1268
0.3	133.54	406.69	0.0010735	0.6056	561.43	2724.7	2163.2	1.6716	6.9909
0.4	143.62	416.77	0.0010839	0.4622	604.67	2737.6	2133.0	1.7764	6.8943
0.5	151.84	424.99	0.0010928	0.3747	640.12	2747.5	2107.4	1.8604	6.8192
0.6	158.84	431.99	0.0011009	0.3155	670.42	2755.5	2085.0	1.9308	6.7575
0.7	164.96	438.11	0.0011082	0.2727	697.06	2762.0	2064.9	1.9918	6.7052
0.8	170.41	443.56	0.0011150	0.2403	720.94	2767.5	2046.5	2.0457	6.6596
0.9	175.36	448.51	0.0011213	0.2148	724.64	2772.1	2029.5	2.0941	6.6192
1.0	179.88	453.03	0.0011274	0.1943	762.61	2776.2	2013.6	2.1382	6.5828
1.2	187.96	461.11	0.0011386	0.1632	798.43	2782.7	1984.3	2.2161	6.5194
1.4	195.04	468.19	0.0011489	0.1407	830.08	2787.8	1957.7	2.2837	6.4651
1.5	198.29	471.44	0.0011539	0.1317	844.67	2789.9	1945.2	2.3145	6.4406
1.6	201.37	474.52	0.0011586	0.1237	858.56	2791.7	1933.2	2.3436	6.4175
1.8	207.11	480.26	0.0011678	0.1103	884.58	2794.8	1910.3	2.3976	6.3751
2.0	212.37	485.52	0.0011766	0.09954	908.59	2797.2	1888.6	2.4469	6.3367
2.2	217.24	490.39	0.0011850	0.09065	930.95	2799.1	1868.1	2.4922	6.3015
2.4	221.78	494.93	0.0011932	0.08320	951.93	2800.4	1848.5	2.5343	6.2690
2.5	223.94	497.09	0.0011972	0.07991	961.96	2800.9	1839.0	2.5543	6.2536
2.6	226.04	499.19	0.0012011	0.07686	971.72	2801.6	1825.0	2.5831	6.2315
2.8	230.05	503.20	0.0012088	0.07139	990.48	2802.0	1811.5	2.6106	6.2104
3.0	233.84	506.99	0.0012163	0.06663	1008.4	2802.3	1793.9	2.6455	6.1837
3.5	242.54	515.69	0.0012345	0.05703	1049.8	2802.0	1752.2	2.7253	6.1228
4.0	250.33	523.48	0.0012521	0.04975	1087.4	2800.3	1712.9	2.7965	6.0685
4.5	257.41	530.56	0.0012691	0.04409	1122.1	2797.7	1675.6	2.8612	6.0191
5.0	263.91	537.06	0.0012858	0.03943	1154.5	2794.2	1639.7	2.9206	5.9735
5.5	269.93	543.08	0.0013023	0.03563	1184.9	2789.9	1605.0	2.9757	5.9309
6.0	275.55	548.70	0.0013187	0.03244	1213.7	2785.0	1571.3	3.0273	5.8908
6.5	280.82	553.97	0.0013350	0.02972	1241.1	2779.5	1538.4	3.0759	5.8527
7.0	285.79	558.94	0.0013513	0.02737	1267.4	2773.5	1506.0	3.1219	5.8162
7.5	290.50	563.65	0.0013677	0.02533	1292.7	2766.9	1474.2	3.1657	5.7811
8.0	294.97	568.12	0.0013842	0.02353	1317.1	2759.9	1442.8	3.2076	5.7471
9	303.31	576.46	0.0014179	0.02050	1363.7	2744.6	1380.9	3.2867	5.6820
10	310.96	584.11	0.0014526	0.01804	1408.0	2727.7	1319.7	3.3605	5.6198
11	318.05	591.20	0.0014887	0.01601	1450.6	2709.3	1258.7	3.4304	5.5595
12	324.65	597.80	0.0015268	0.01428	1491.8	2689.2	1197.4	3.4972	5.5002
13	330.83	603.98	0.0015672	0.01280	1532.0	2667.0	1135.0	3.5616	5.4408
14	336.64	609.79	0.0016106	0.01150	1571.6	2642.4	1070.7	3.6242	5.3803
15	342.13	615.28	0.0016579	0.01034	1611.0	2615.0	1004.0	3.6859	5.3178
16	347.33	620.48	0.0017103	0.009308	1650.5	2584.9	934.3	3.7471	5.2531
17	352.26	625.41	0.0017696	0.008371	1691.7	2551.6	859.9	3.8107	5.1855
18	356.96	630.11	0.0018399	0.007498	1734.8	2513.9	779.1	3.8765	5.1128
19	361.43	634.58	0.0019260	0.006678	1778.7	2470.6	692.0	3.9429	5.0332
20	365.70	638.85	0.0020370	0.005877	1826.5	2418.4	591.9	4.0149	4.9412
21	369.78	642.93	0.0022015	0.005023	1886.3	2347.6	461.3	4.1048	4.8223
22	373.69	646.84	0.0026714	0.003728	2011.1	2195.6	184.5	4.2947	4.5799
22.12	374.15	647.30	0.00317		2107.4		0.0	4.4429	

f. 炉内吹き込み蒸気

燃料噴霧に使用する蒸気であり、当該ボイラの発生水蒸気を用いる場合は次式による。

$$\text{吹き込み蒸気による熱損失} = \text{燃料 1 kg 当たりの吹き込み蒸気量} \times \{ (\text{排ガス温度における蒸気のエンタルピ}) - (\text{給水のエンタルピ}) \}$$

別系統の水蒸気を用いる場合は、基準として外気温度における蒸気のエンタルピをとり、入熱及び出熱にそれぞれの状態のエンタルピで計上する。

g. 不完全燃焼ガスによる熱損失

次式による。

$$\text{熱損失} = 30.5 [G_0 + (m - 1) A_0] (\text{CO}) \text{ kcal/kg (m}^3\text{) - Fuel}$$

ただし (CO) は、乾き排ガス中の一酸化炭素含有量%、 $G_0$  は理論乾き排ガス量

h. 燃えがら中の未燃分による熱損失

未燃炭素分(c)%は、次式により求める。

$$c = au / (100 - u)$$

ここで、a : 使用燃料中の灰分%

u : 燃えがら中の平均未燃炭素分%

熱損失は 81 kcal/kg Fuel となる。

i. 放散熱による熱損失

各部の放散熱を実測して求めてもよいが、日本工業規格では燃料発熱量に放散熱損失%を乗じて熱損失としている。

熱損失率の目安としては、次の数字が示されている。

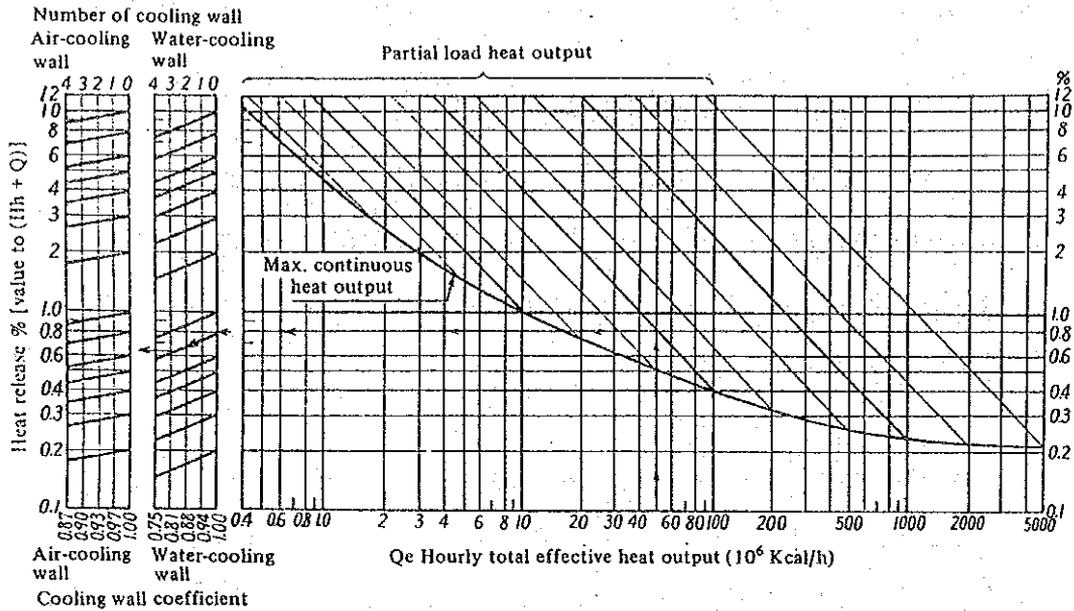
**Table 9.12 Radiant Heat Loss**

Boiler capacity t/h	5	10	50	100	500	1000
Radiant heat loss%	2.0	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2

参考までに ASME (American Society of Mechanical Engineering)

Power Test Code に示されている線図を Figure 9.10 に示す。この図は熱放散面と外気温との差が 28℃で、その面上の空気速度が 0.5 m/s のときの図であり、他の条件のときは Figure 9.11 の倍数により補正する。また、この図は高発熱量に対するものなので、低発熱量に対しては  $H_h / H_l$  倍しなければならない。

**Figure 9.10 Heat loss chart (From ABMA chart in power test code of ASME)**

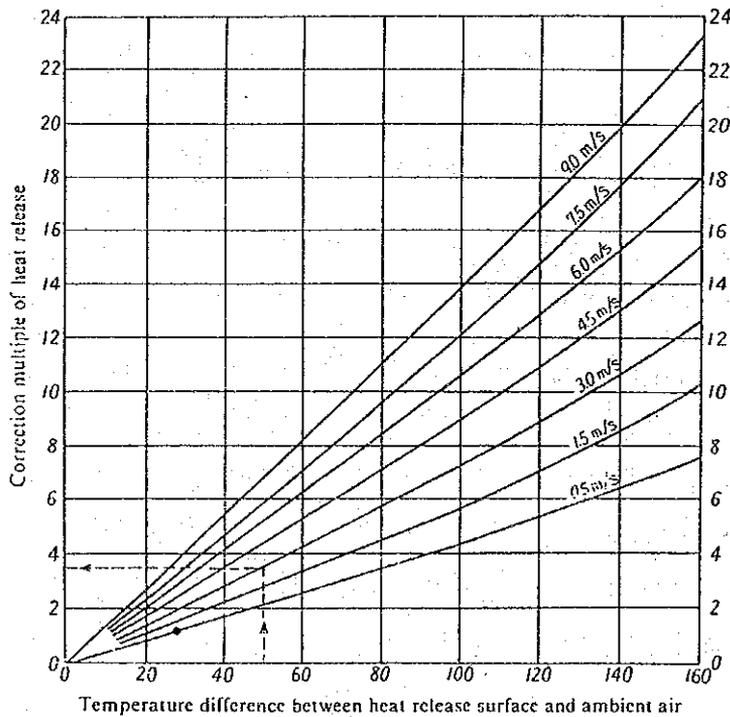


(The figure shows the case that the temperature difference between the heat release surface and the ambient air is 28°C and the wind velocity on the heat release surface is 0.5 m/s. Correction multiples in other condition are based on it of Fig. III-7-11.)

Note: So far as a water-cooling wall occupies 1/3 or more of the projected area in a combustion chamber, reduction of heat loss is permitted to be done. For an air-cooling wall, the reduction of heat loss should be restricted to a case of utilization to combustion of the cooling air.

Example: In a boiler having the maximum continuous load of  $100 \times 10^6$  Kcal/h, when the partial load is  $5 \times 10^6$  Kcal/h and the number of water-cooling wall is 3, the heat loss rate results in 0.65%.

**Figure 9.11 Correction multiple of temperature difference and air velocity to Figure 9.10**



j. その他の熱損失

誤差項である。

## 9.5 ボイラの性能表示

ボイラ効率の表わし方は、Table 9.8のように有効出熱の全入熱に対する割合で示す入出熱法と、熱損失率を差し引く熱損失法がある。

ボイラ性能を示すものとして、換算蒸発倍数がよく使われる。

$$\text{換算蒸発倍数} = \frac{\text{換算蒸発量}}{\text{燃料使用量}} \text{ kg蒸気 / kg (m}^3\text{N)-Fuel}$$

同一ボイラで、蒸気圧やその他の条件がほぼ一定の時には、実際蒸発量のままで換算せずに蒸発倍数を求め、日常管理の目安として用いることが多い。

その他、換算蒸発量を伝熱面積（エコノマイザー、過熱器を除く）で除した伝熱面蒸発率（kg / m<sup>2</sup>h）、又は全入熱量を燃焼室容積で除した燃焼室熱発生率（kcal/m<sup>3</sup>h）で性能を示す場合もある。

## 9.6 設備段階での配慮

### 9.6.1 コージェネレーション

蒸気を加熱に利用する場合、加熱温度はほとんどが200℃以下であり、蒸気の温度もその程度である。一方、燃料を燃焼させたときの火炎温度は千数百度に達するが、その温度と蒸気温度の間の温度差は有効に利用されていない。

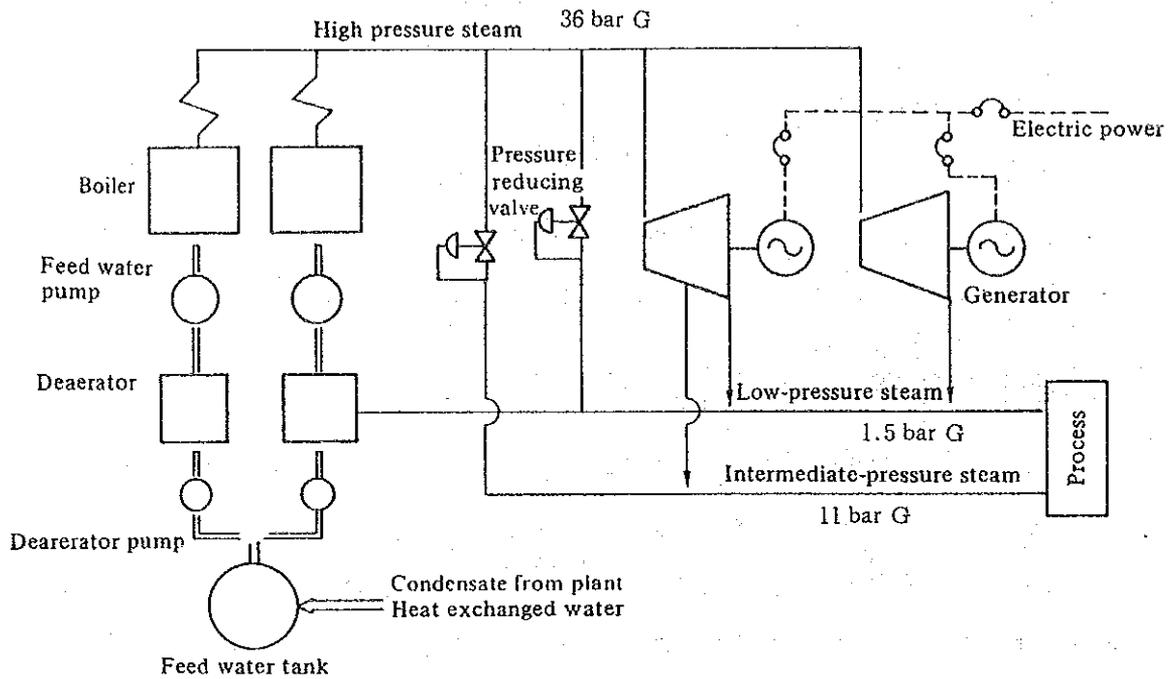
熱を仕事に交換する熱機関の基本はカルノーサイクルである。作動流体が高温熱源から温度 $T_1$  Kで熱を受け、低温熱源に温度 $T_2$  Kで熱を捨てることによってサイクルを完結し有効仕事を発生するとき、カルノーサイクルの理論効率は次の式で表わされる。

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

従って、 $T_1$ を高くとるほど効率が高くなる。

コージェネレーションは、燃料を燃焼させたときの高温を利用して仕事(電力)をとり、その後の排熱を熱として利用しようとするものであり(Figure 9.12参照)、次のようないろいろな方式が考えられる。

Figure 9.12 An example of cogeneration system



- (1) (ガスタービン発電) + (スチームタービン発電)
- (2) (ディーゼル又はガスエンジン発電) + (温水供給)
- (3) (高圧スチームタービン発電) + (加熱用スチーム供給)

蒸気消費型の工場においては、最後の型のものが多く、石油精製工場、紙・パルプ工場、化学工場等において広く用いられている。蒸気圧は効率の点から 30 bar 以上が望ましく、100 bar 級がほとんどであり、容量も 50 t/h 以上のものが多い。しかし、エネルギー価格の高騰に伴って、より低圧低容量のものでも経済性が向上し減圧弁の代りに発電機を挿入する例が増えている。

### 9.6.2 蒸気需要変動への対処

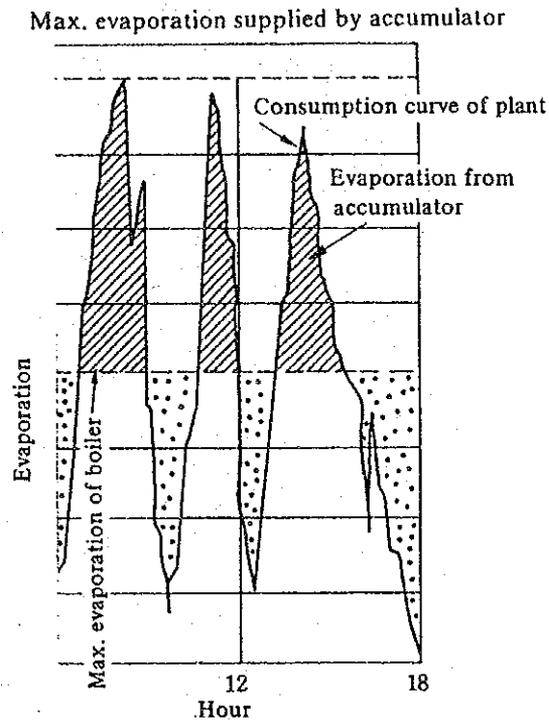
短時間に蒸気需要が大きく変動する場合や昼夜間の蒸気需要の差が大きいときは、平均負荷に比べて過大なボイラを設置しなければならず、また負荷変動時の黒煙発生を防ぐため、空気比も高目に保たなければならなくなる。

これらによるボイラ効率の低下を防ぐには、製造工程の調整を行って、できるだけ需要の平滑化を図るとともに、設備的には次のような対策をとる。

その一つは、スチームアキュムレーターを設置し、余剰蒸気を蓄積し、不足時に使用する方法である (Figure 9.13 参照)。ボイラ設置時からアキュムレータ

と組み合わせれば、ボイラは平均負荷に近い容量のものを設置すれば足りることになる。

Figure 9.13 Effect of steam accumulator



もう一つの方法は、起動の早い小型の貫流ボイラを複数基設置し、負荷に応じて自動的に台数制御を行う方法である (Figure 9.14 参照)。単独の場合に比べて低負荷時の効率が向上するので (Figure 9.15 参照)、起動停止による損失増をカバーして全体としての省エネルギーを図ることができる。

Figure 9.14 Operation number control

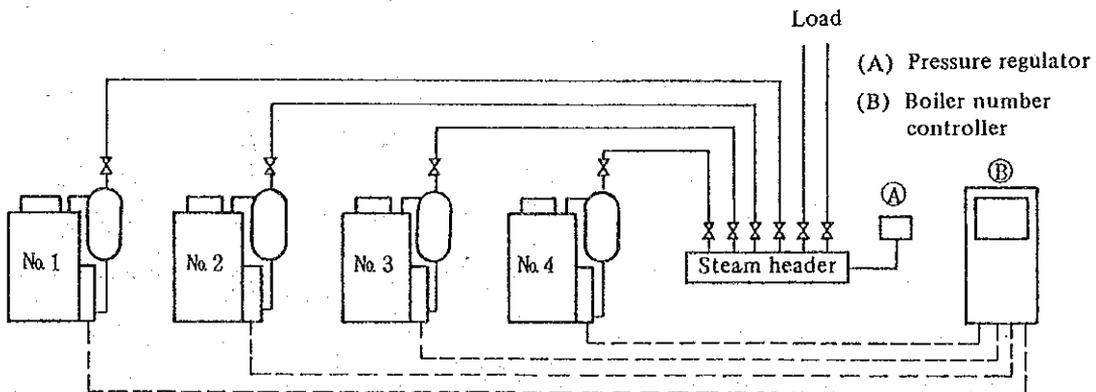
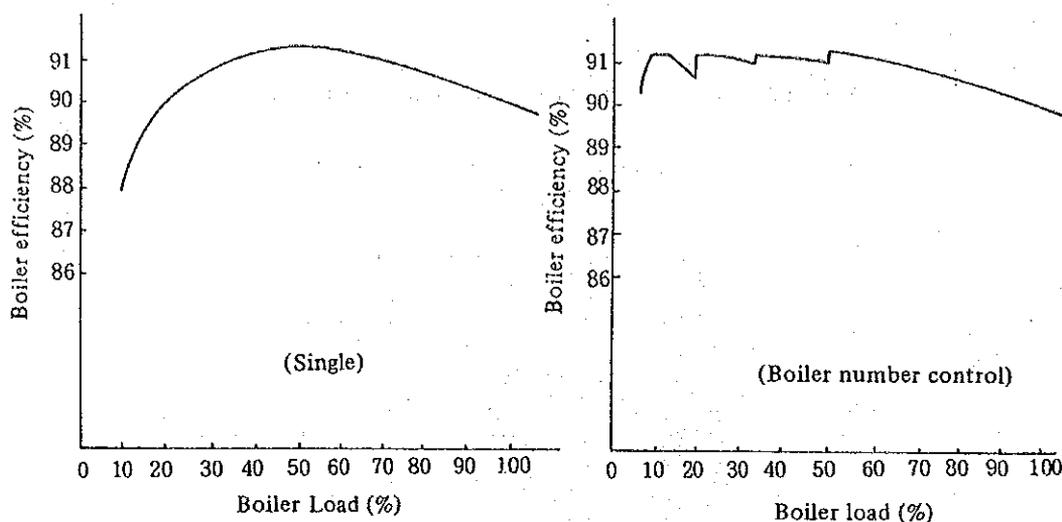


Figure 9.15 Boiler efficiency improvement by operation number control



### 9.6.3 適正な容量のボイラ設置

過大なボイラを設置することは単に設備費が高くなるだけでなく、使用量に比べて相対的に起動時間が長く、放熱量も多いことになる。更にON-OFFの回数が多くなると、その際のパーズによる排ガス損失が多くなる。高・低燃焼切り替え式の場合も高燃焼時に適正空気比となっても低燃焼時には空気比が高目になることが多い。

ボイラを設置する際は、できるだけ蒸気使用の節減と変動の抑制を図った上で、適正容量のボイラを設置するようにしなければならない。

また、現有ボイラの容量が過大になり、低燃焼の時間が長い場合はバーナを小容量のものに交換した方がよい。

## 9.7 ボイラの省エネルギー対策

ボイラの省エネルギー項目は、Figure 9.16 に示す特性要因図のように多岐にわたるが、この中で重要な点について以下に述べる。

### 9.7.1 空気比

ボイラの熱損失の中で最も大きいのは排ガス損失である。(Figure 9.17 参照)。その排ガス損失は排ガス量と排ガス温度で決まるが、排ガス量を最小にするためには適正な空気比に保つ必要がある。

空気比を適正化するために留意すべき点は以下のとおりである。

Figure 9.16 Energy conservation Items of boiler

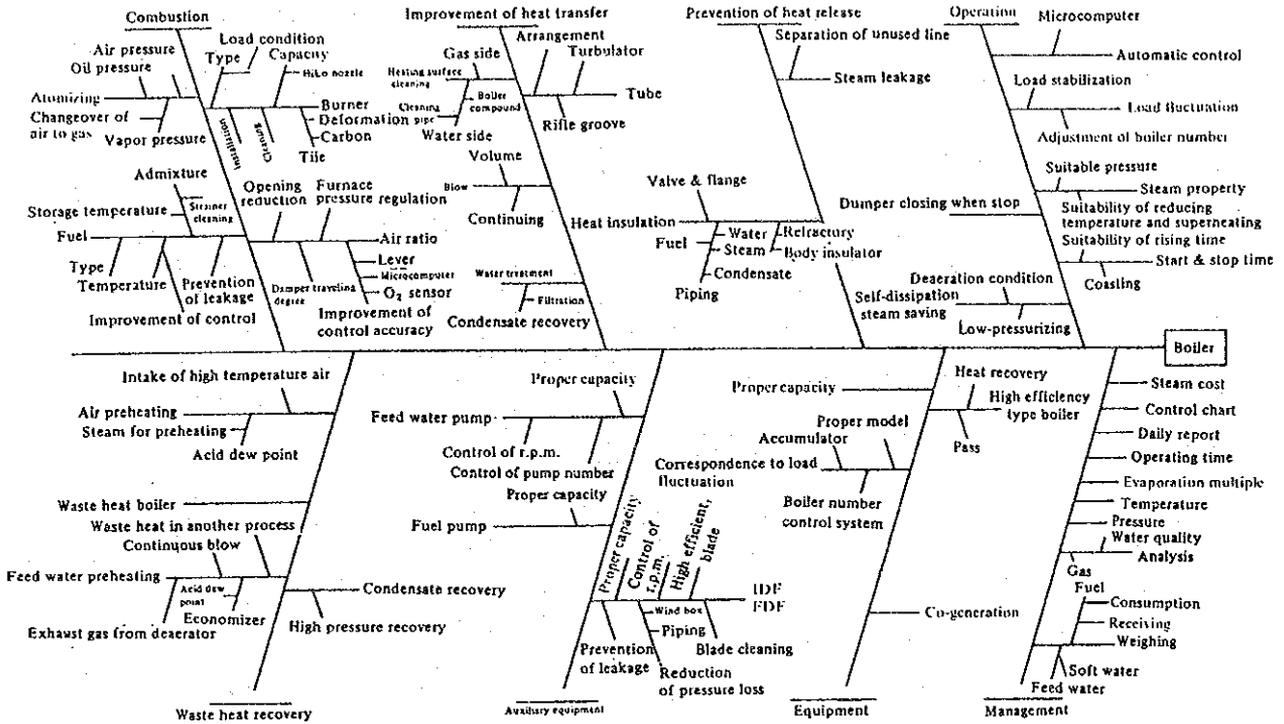
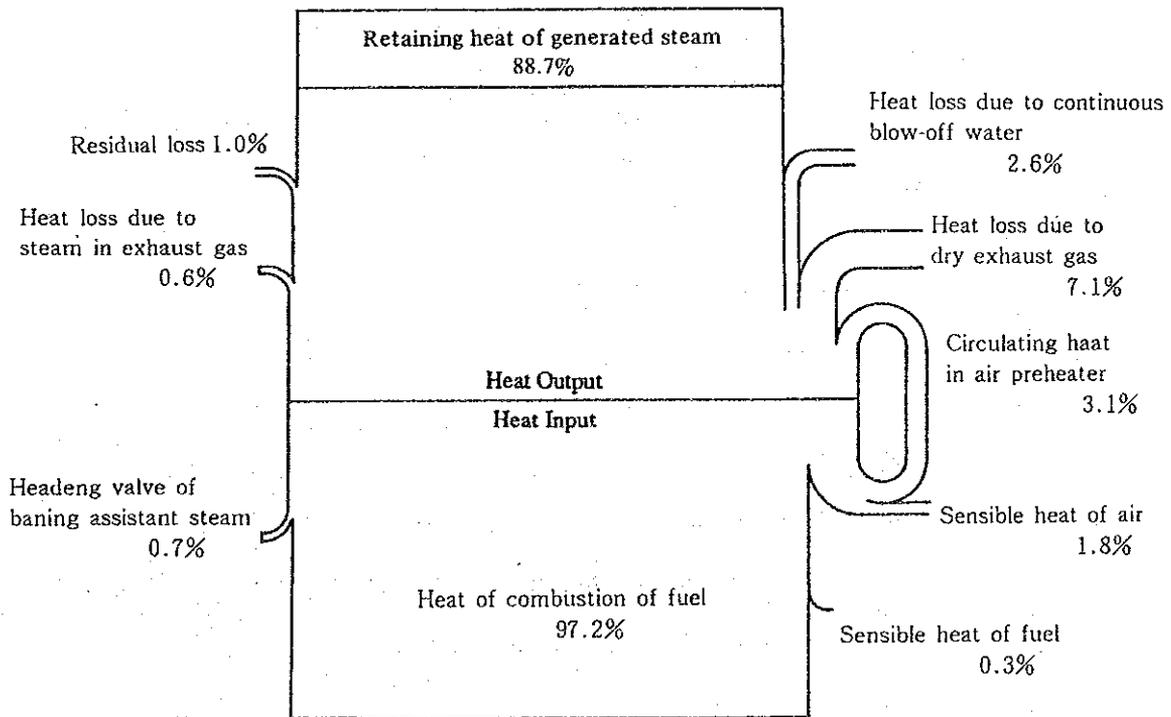


Figure 9.17 Example of 20 T/H boiler heat balance

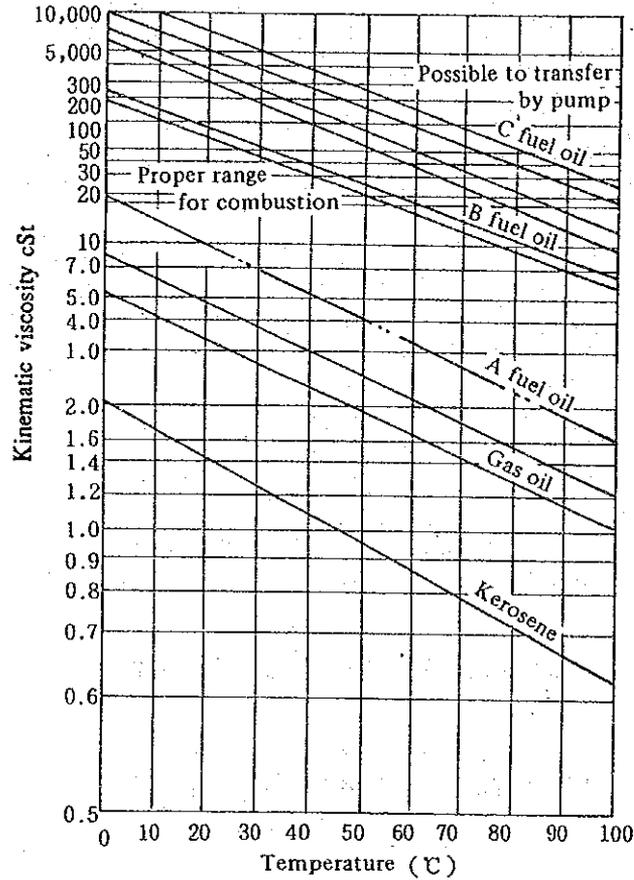


$$\text{Evaporation multiple} = \frac{13.67 \text{ kg}}{1 \text{ kg} \times 0.93 \text{ kg/lit.}} \times 1000 = 14.7 \text{ ton/k.}$$

(1) 燃料油温度の適正維持

燃料油の粘度が 20 ~ 45 cSt の範囲に入るよう、重油では 80 - 100 °C に予熱する (Figure 9. 18 参照)。

Figure 9.18 Viscosity of fuel oil



(2) バーナの点検・整備

- オイルストレーナの詰まり
- バーナチップの詰まり、摩耗、装着状況
- バーナの取り付け方向、バーナタイルとの距離
- バーナタイルの損傷、カーボン付着
- 油バルブ、配管接続部からの油漏洩

(3) アトマイズ用蒸気圧等の維持

良好なアトマイズが行われるよう、蒸気圧、空気圧又は油圧をメーカー指示値に維持する。オイルバーナの特性は Table 9. 13 を参考にするとよい。

(4) 侵入空気の防止

炉内圧を適正に維持し、開口部面積を小さくし空気侵入を防ぐ。

Table 9.13 Characteristics and application of oil burner

		Low pressure air system		High pressure atomizing system		Oil pressure system		Rotary burner
		Interlocking type	Non-interlocking type	Internal mixing type	External mixing type	Return oil type	Non-return oil type	
Fuel oil amount	t/h	1.5 - 120	4 - 180	10 - 5,000	10 - 600	50 - 10,000	50 - 10,000	10 - 300
Oil pressure	bar	0.4 - 1	0.1 - 0.3	2 - 9	0.2 - 1	5 - 40	5 - 70	0.5 - 10
Atomizing pressure		mm H <sub>2</sub> O (400 - 2,000)	mm H <sub>2</sub> O (400 - 2,000)	3 - 10 bar	2 - 8 bar	—	—	1 - 3 bar
Atomizing medium amount		A 2 - 3 m <sup>3</sup> /kg S kg/kg	A 1 - 3 m <sup>3</sup> /kg	A 0.2 m <sup>3</sup> /kg S 0.25 kg/kg	A 0.26 m <sup>3</sup> /kg S 0.33 kg/kg	—	—	
Atomizing medium		Air	Air	Air or steam	Air or steam			Air, rotation of cup
Combustion air pressure	mm H <sub>2</sub> O	400 - 2,000	100 - 2,000	0 - 250	0 - 50	100	100	0 - 100
Combustion regulation range		4 - 6 : 1	4 - 8 : 1	8 : 1	6 : 1	3 : 1	3 : 1	2 - 10 : 1
Flame characteristic		Short flame	Slightly short flame, Long flame	Short flame, Long flame	Slightly long flame	Short flame	Short flame	Short flame
Merit		Possible for proportional control by one lever. Low cost of installation and operation	Easy handling. Same as left.	Good atomizing. Small clogging	Same as left	Low combustion noise. Low cost of operation	Same as left	Low cost, Easy handling
Weakness		Blower required	Same as left	Power cost required	Power cost required	Not respond to load fluctuation High pressure pump required	Same as left	Result in large size
Boiler application	Flue smoke tube	○	○	○	○	○	○	○
	One-through			○	○	○	○	
	Vertical	○	○		○			○
	Water-tube	○		○	○	○	○	○

(5) 空気量調節

空気比が適正であるかどうかは排ガス中の酸素分析により確認できるが、日常管理では、炎や煙の状況を観察して調節しなければならない。煙突から出る煙を観察しながら空気量を調節し、かすかな黒煙を発生する状態より少し多目に空気を入れるようにする。

重油や灯油を燃焼している場合、正面のノゾキ窓から炎をみると、炎の中心はやや黒っぽく、そのまわりにまぶしく輝く炎が安定した形で存在するときは適正空気比に近い。

空気量が適正值より少なめになると、炎の先端付近が黒みを帯び、ススが発生するようになる。

一方、空気が過剰のときは火炎が極端に短くなり、枝状の炎が激しく動揺する。炎の色も白色に近い黄色になる。

(6) 自動制御

最も簡単な方法は、燃料調節弁と空気ダンパとを機械的に連結し、このレバーを自動燃焼装置のコントロールモータによって駆動する方法である。しかし、この方法では運転中に空気比の設定変更を行うことが困難であり、低負荷時でも黒煙を發

Figure 9.19 Boiler air ratio controller (1)

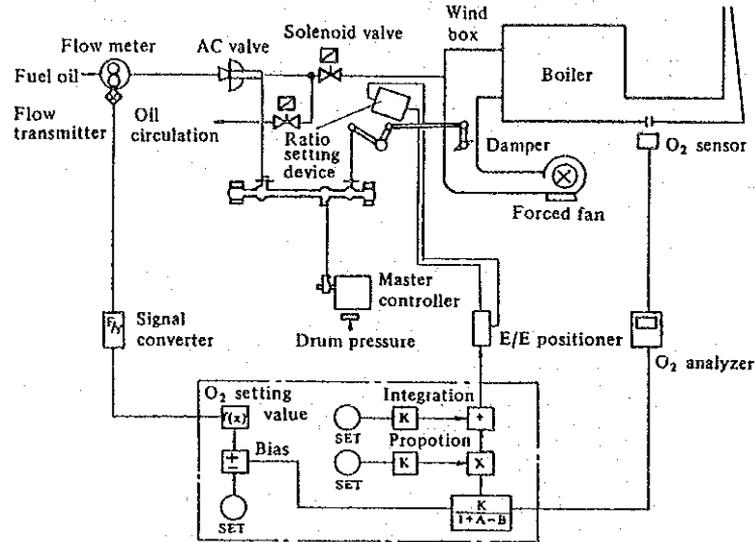
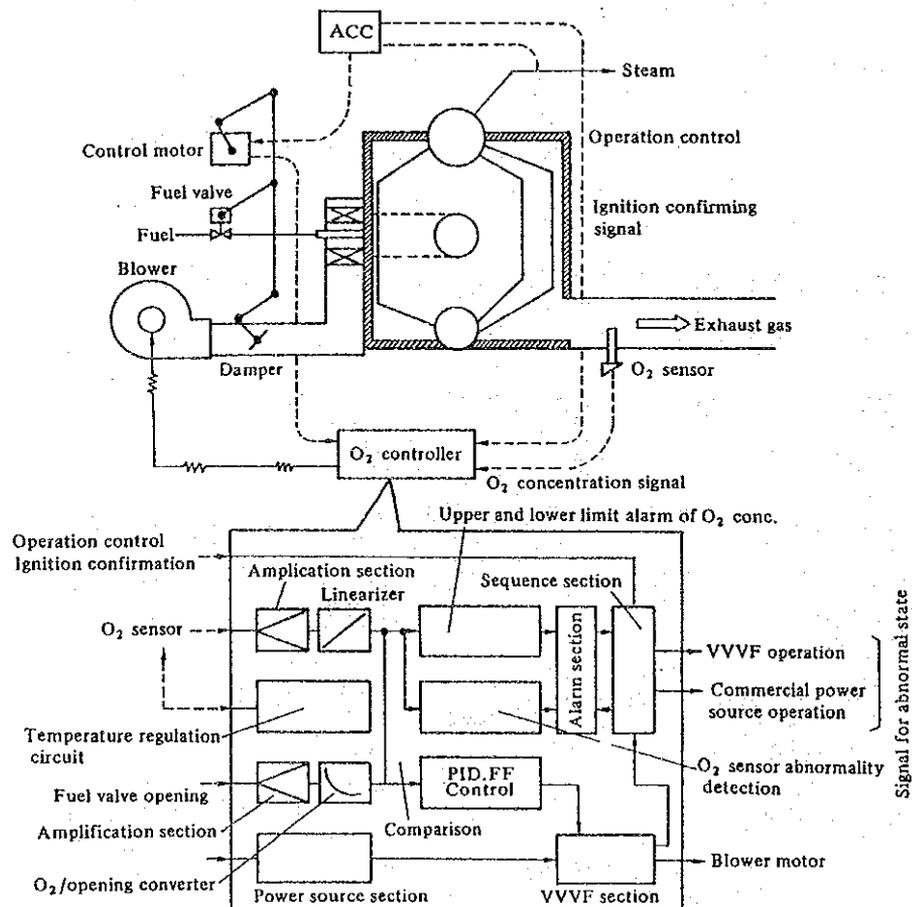


Figure 9.20 Boiler air ratio controller (2)



生しないよう空気比を高目に設定しがちである。

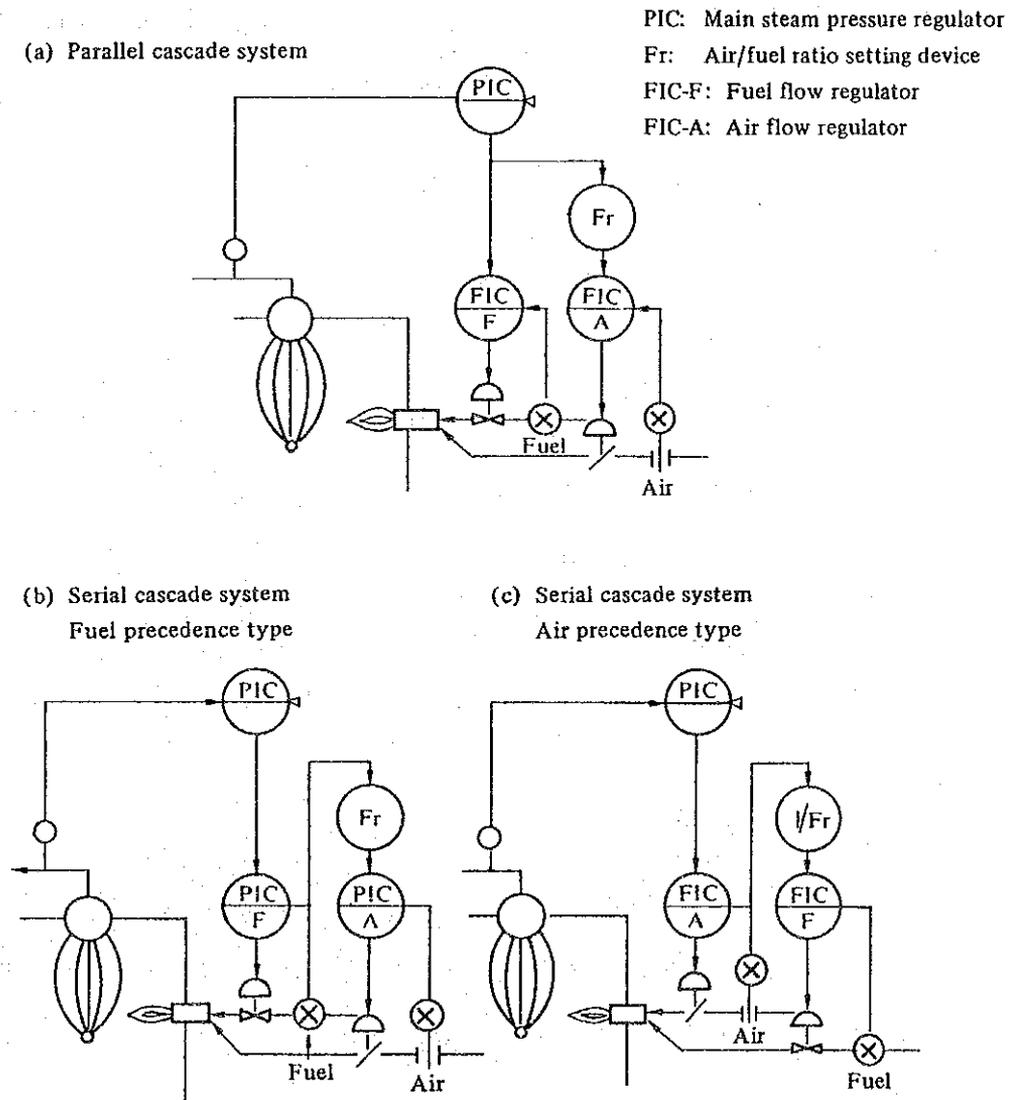
このため、この方式に一部改良を加えたものがある。

Figure 9. 19に示す例は、リンク機構の中に比率設定器を組み込み、排ガスの $O_2$ 分析値をフィードバックし、空気ダンパを微調整して $O_2$ 設定値に合わせるようにしている。

Figure 9. 20に示す例は、リンク機構の働らきはそのまま残し、それに送風機の回転数制御を付け加えて、排ガス中の $O_2$ 濃度を負荷に応じた設定値に合わせるようにしたものである。

ボイラ容量が大きいものでは、燃料及び空気のそれぞれに流量調節計を取り付け蒸気圧力信号により Figure 9. 21に示すように並列、又は直列カスケード制御を行う。

Figure 9.21 Basic combustion control system



これらの制御は安定負荷時には問題がないが、負荷増加時には空気先行で、負荷減少時には燃料先行で、燃料、空気を増減することによって黒煙発生を防止するような機能を持っていない。従って、負荷変動時にも黒煙を発生しないよう高目の空気比に設定しておかなければならない問題点がある。

Figure 9.22 Block diagram of single cross limit combustion control system

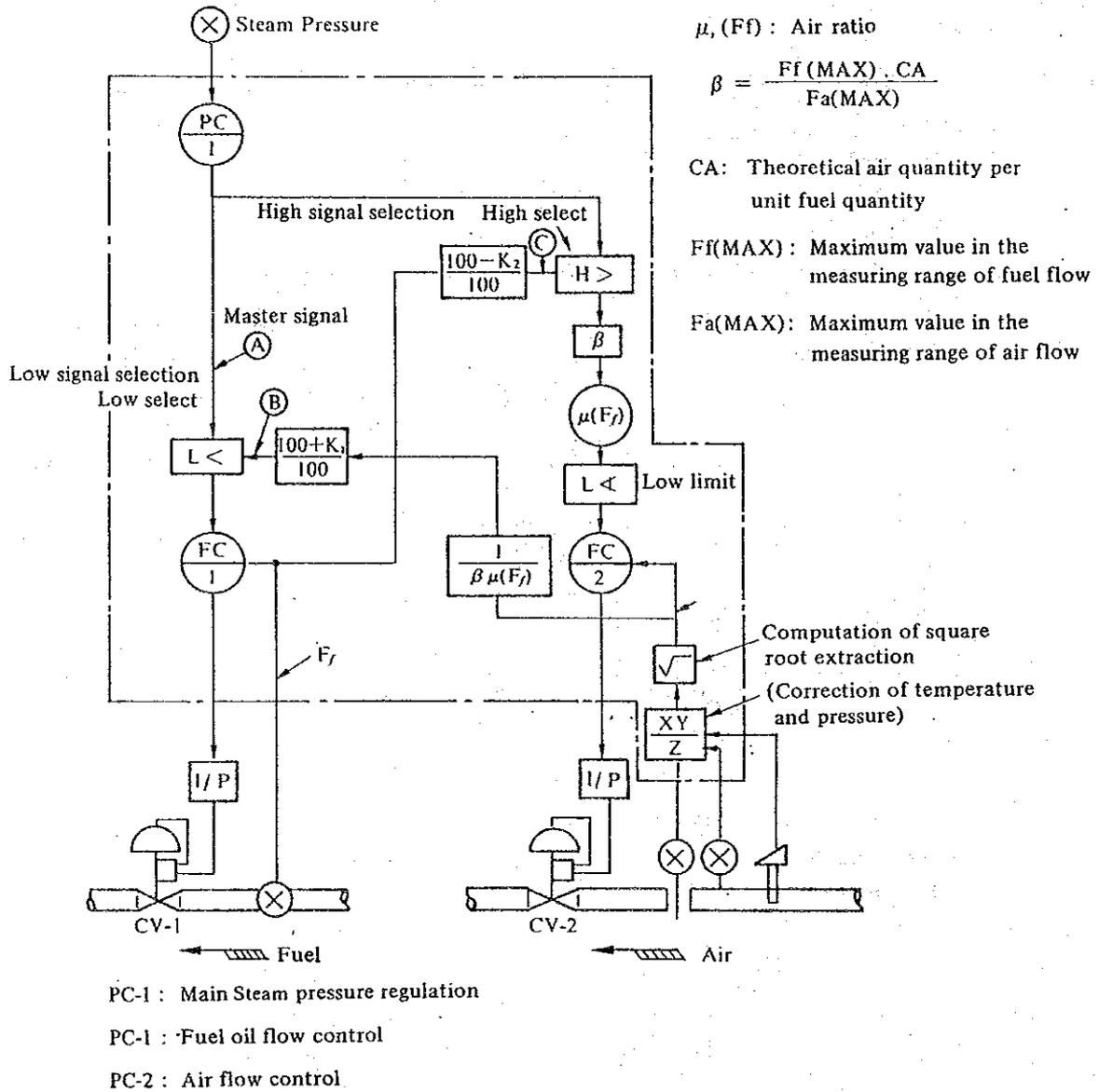


Figure 9.22はこの欠点を解消するため、燃料及び空気の流量設定をする際に、互に他の実際流量と適合するかをチェックするようにクロスリミットをかけたものである。すなわち、燃料については蒸気圧力計からくるマスター信号と、実際

空気流量から演算により求めた発煙限界燃料量信号とを比較し、その小さい方の値に燃料値を設定する。空気側はこの逆に、マスター信号と燃料流量から求まる発煙限界空気量信号との大きい方の値に空気量を設定する。このようにして負荷増加時は空気先行型、負荷減少時には燃料先行型の制御を行うので、空気比の余裕を大きくとらなくてもすむことになる。

しかし、この方法でも、負荷急減時には空気比が一時的に高くなるので、空気比の上・下制限機構を組み込んだものもある。

更に、燃料組成が変動するような場合には、排ガス中のO<sub>2</sub>を分析し、その信号を空気流量調節計に入れて補正するようにして、より厳密な制御を行う例もある。

#### (7) 空気比判断基準

空気比は燃料種別、負荷率、制御装置の構成などによって左右されるので、標準の設定に当たっては、その点を考慮しなければならない。参考までに日本の判断基準の値を Table 9.14 に示す。

**Table 9.14 Standard Air Ratio of Boiler**

Classification of evaporation	Solid fuel		Liquid fuel	Gas fuel	By-product gas
	Fixed bed	Fluidized bed			
Large-sized boiler for electric utilities	—	—	1.05 - 1.2	1.05 - 1.1	1.2
Other boilers					
30 t/h or more	1.3 - 1.45	1.2 - 1.45	1.1 - 1.25	1.1 - 1.2	1.2 - 1.3
10 to 30 t/h	1.3 - 1.45	1.2 - 1.45	1.2 - 1.3	1.2 - 1.3	—
5 to 10 t/h	—	—	1.3	1.3	—
< 10 t/h	—	—	1.3	1.3	—

この値は、表の負荷率の範囲で定常操作を行っているときの測定値について定めたものである。また、固体燃料については  $Hl \geq 5,000$  kcal/kg の微粉炭の場合としている。

## 9.7.2 排ガス温度

### (1) 伝熱改善

ススやスケールの熱伝導率は組成や、付着状態によっても異なるが、Table 9-15 に示すように軟鋼の場合の 1/100 ないし 1/1,000 に過ぎない。従って、これらが付着することは伝熱面に断熱を施したのと同様で著しくボイラの熱効率を低下せしめる (Figure 9. 23 及び Figure 9. 24 参照)。

**Table 9.15 Thermal Conductivity of Scale and Other Substance**

Scale and other substance	Thermal conductivity (kcal/mh°C)
Soot	0.06 ~ 0.1
Oily matter	0.1
Scale as main component of silicate	0.2 ~ 0.4
Scale as main component of carbonate	0.4 ~ 0.6
Scale as main component of sulfate	0.6 ~ 2
Mild steel	40 ~ 60

スケールによる障害を避けるためには、9.2.3の(3)で述べたように、水処理及びブローを正しく実施すること、及び定期的な掃除が必要である。

水側伝熱面の掃除は、水処理の程度にもよるが通常年に1回、ブラシ等による手掃除かインヒビターを加えた酸による化学洗浄により行う。

ガス側伝熱面については、煙管ボイラでは1~3カ月毎にブラシにより掃除を行う。その期間内であっても、排ガス温度が掃除直後に比べて30℃程度高くなったときは掃除を行う必要がある。水管ボイラでは定期的にスートブローを行う。

能力に余裕のある炉筒煙管ボイラでは煙管内に特殊鋼製の曲板(タブレット)を挿入し、ガス流れに乱流を起こして境膜の熱伝達を改善することも行われる(9.7.7(3)参照)。

Figure 9.23 Example of fuel loss due to soot on heating surface

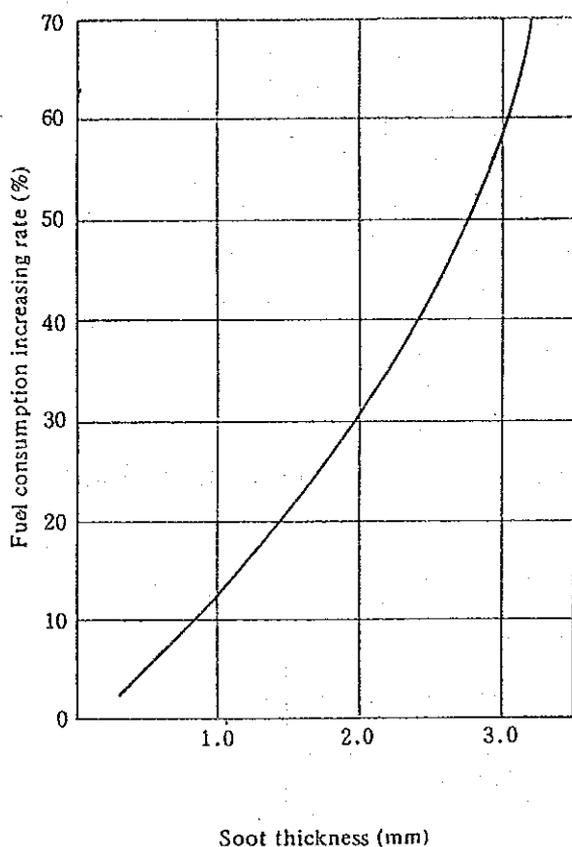
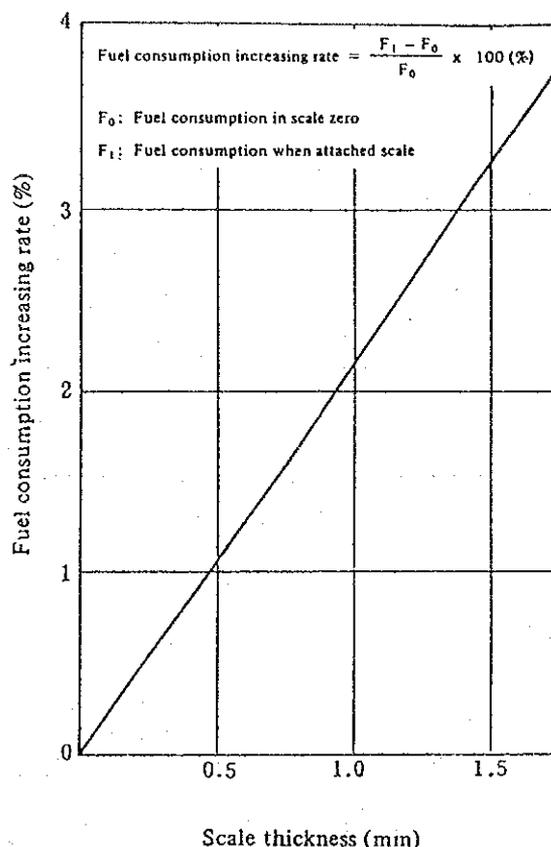


Figure 9.24 Example of relation between scale thickness and fuel loss



(2) 排ガス排熱回収

ボイラにおいては空気比を適正に保ち、伝熱面の汚れを少なくして、排ガス温度が上昇しないようにすることが基本であるが、なお排ガス温度が高い場合は、排ガスの排熱を回収して、給水や燃焼用空気を予熱し、全体としての熱効率を高めるようにする。一般的に大型のボイラでは、空気予熱器と給水予熱器の両方を備えている場合が多く、中小型ボイラではそのいずれかを備えている場合が多い。

排ガス排熱回収に当たって留意しなければならないのは、排ガス中の硫酸ミストによる低温腐食である。

硫黄を含む燃料を燃焼すると  $\text{SO}_2$  が生成し、その一部は  $\text{SO}_3$  に転化する。従って、燃焼排ガスが熱交換器等の低温壁に接触して露点以下になると、この  $\text{SO}_3$  と水とが反応して高濃度の硫酸 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) を生成し、熱交換器やダクトを腐食する

よくなる。

Figure 9.25 Relation between sulfur content in fuel and SO<sub>2</sub> content in fuel gas

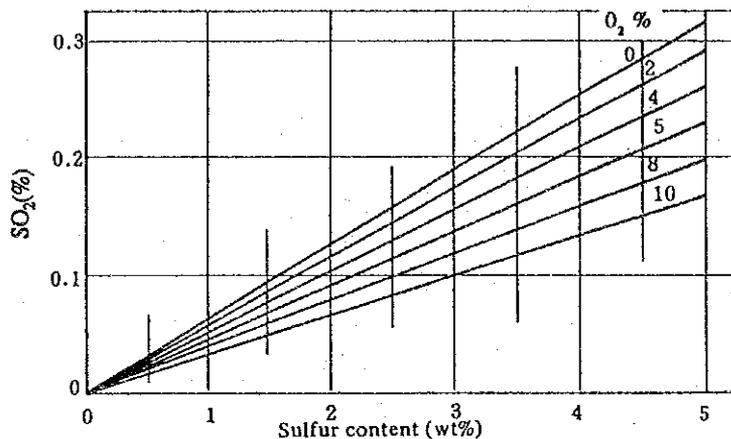


Figure 9.26 Relation between sulfur content in fuel and conversion ratio from SO<sub>2</sub> to SO<sub>3</sub>

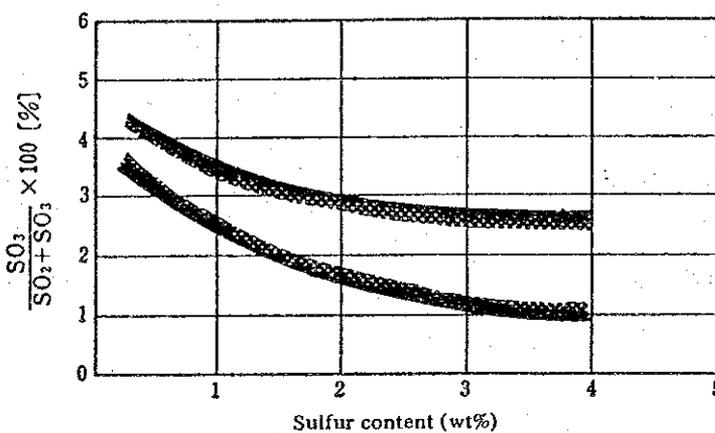


Figure 9.27 Relation between SO<sub>3</sub> concentration in exhaust gas and dew point temperature

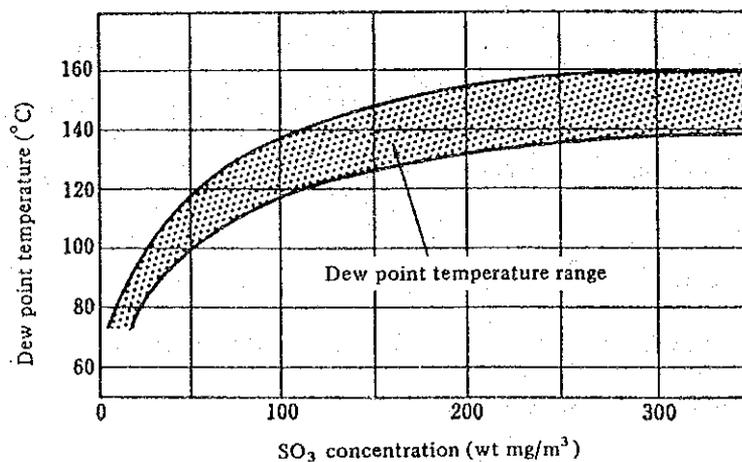


Figure 9. 25 に燃料中硫黄含有量と排ガス中 SO<sub>2</sub> % の関係を、Figure 9. 26 に、この SO<sub>2</sub> から SO<sub>3</sub> へ転化する割合を、Figure 9. 27 に SO<sub>3</sub> 濃度と酸露点の関係を示す。熱交換器の低温流体入口付近では、部分的に温度の低い個所を生ずるので、図の酸露点温度より高目にガス温度を保つ必要がある。

この障害を避けるため熱交換器の材料としてガラス管や、鉛被覆管を使う例も出ている。また、熱勘定の項の Figure 9. 7 に見られるように、空気予熱器に入る空気を予め外部熱源で予熱し、ガス側伝熱面温度が余り下り過ぎないように対策をとる場合もある。

排熱回収によって給水温度が上がることは直接入熱の増加になるほか、ドラム内のボイラ水との温度差が小さくなって、ドラムに発生する熱応力が小さくなる利点もある。

空気予熱による燃料の節減率は次のようになる

Q : 燃焼ガスの持ち去る熱量	kcal/kg Fuel
P : 予熱空気の持ち込む熱量	kcal/kg Fuel
F : 燃料の発熱量	kcal/kg Fuel
H : 有効熱および固定的に必要な熱量 = F - Q	kcal/kg Fuel

とすると、空気を予熱しないときは、

$$H_A = F - Q$$

空気を予熱するときは、

$$H_B = F - Q + P = H_A + P$$

炉の所要熱量を X kJ/h とすれば、燃料消費量は空気を予熱しないとき、

$$\frac{X}{H_A} \quad \text{kg Fuel/h}$$

空気を予熱するとき、

$$\frac{X}{H_B} = \frac{X}{H_A + P} \quad \text{kg Fuel/h}$$

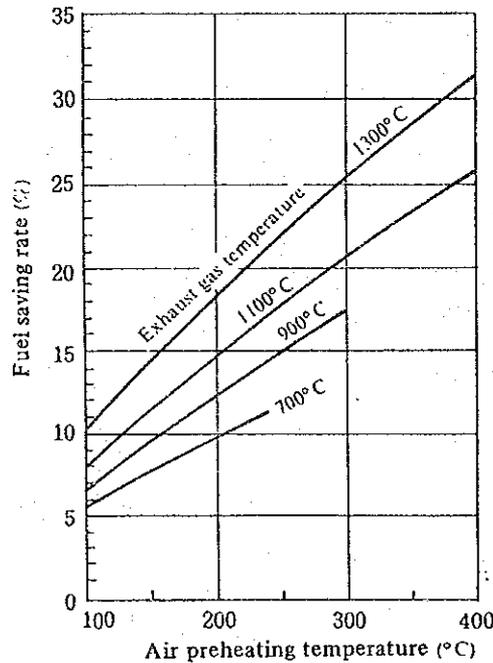
従って燃料節約率は、次のようになる。

$$\frac{\frac{X}{H_A} - \frac{X}{H_A + P}}{\frac{X}{H_A}} = \frac{P}{H_A + P}$$

空気比 1.2 の場合の燃料節約率を Figure 9. 28 に示す。

空気を予熱すると、持ち込む熱の増加による省エネルギー効果に加えて、着火性や保炎性の向上、燃焼速度の上昇等の効果により空気比の低減が図れ、更に火炎温度も上昇するので、これらによる省エネルギー効果も期待できる。

Figure 9.28 Fuel saving rate due to air preheating



一方、空気予熱を行う場合は火炎温度の上昇によるNO<sub>x</sub>発生の増加、バーナの耐熱性に注意しなければならない。

また、エコマイザの設置を計画する際は、コンデンサート回収、連続ブローからの熱回収、太陽熱や他のプロセスの排熱利用などによる給水予熱効果と総合的に比較検討することを忘れてはならない。他の熱源により、すでに給水温度がある程度上昇している場合は、エコマイザの経済性が低くなる場合もあり得る。

### (3) 排ガス温度判断基準

ボイラの熱効率に工業炉に比べて一般的に高く、排ガス温度も相対的に低い。その中でも、大型ボイラについては経済的にも排熱回収設備を取り付けやすい条件にあり、排ガス温度が低い。また、気体燃料の場合は一般的に低硫黄であり、排ガス温度の低い点までの熱回収が可能である。

日本の排ガス温度判断基準では、これらの点を勘案して Table 9. 16 に示すように能力別、燃料別に排ガス温度の標準を定めている。

**Table 9.16 Standard Exhaust Gas Temperature of Boiler**

Classification of evaporation	Solid fuel		Liquid fuel	Gas fuel	By-product gas
	Fixed bed	Fluidized bed			
Large-sized boiler for electric utilities	—	—	145	110	200
Other boilers					
30 t/h or more	200	200	200	170	200
10 to 30 t/h	250	200	200	170	—
5 to 10 t/h	—	—	220	200	—
< 10 t/h	—	—	250	220	—

この標準値は、定期整備後、外気温度 20℃、負荷率 100% の条件での温度である。

### 9.7.3 放熱防止

ボイラでは放熱面の大部分を水又は蒸気部分として、放熱量をできるだけ抑えるように設計されており、保温も一般的によく行われている。

しかし、ボイラまわりの給水管、バルブ、フランジ等については保温されていないことが多い。

また、給水タンクにコンデンセートなど温水を回収している場合に、液面調節の方法が悪くせつかく回収した温水をいたずらにオーバーフローさせている例もよく見られる。オーバーフローさせる必要のある場合は、底部の低温水をオーバーフローさせるような配管にしておくべきである。

日本の判断基準においては、ボイラの断熱の基準として具体的な数字を示さず、日本工業規格（JIS A 9501）に従うこととしている。このJISでは、保温後の表面からの熱損失に相当する燃料費と保温工事に要した費用の年間償却費の合計額が最小になるような厚さの保温をするよう決められている。すなわち、その時々燃料価格や保温の施工費に応じて、最経済になるように保温厚さを選べばよいことになっている。（スチームの章参照のこと）

### 9.7.4 補機の省エネルギー

規模の大きいボイラについては、ブロワや給水ポンプの容量の適正化を図る。また低負荷運転の機会が多い場合は回転数制御を行い、バルブ、ダンパでの絞り損失を軽減するようにする。

空気予熱器やファンに付着するダストは定期的に掃除し、圧損の増加や効率の低下を防ぐ。

### 9.7.5 運 転

蒸気消費が昼間のみの場合、立上りの早い貫流式のボイラが望ましいが、炉筒煙管型のときは立上げ時間を早過ぎないように、また残圧を利用できる時間を見計らって作業終了前に早目に止めるなどの工夫が必要である。ボイラ停止時は煙道ダンパを閉ざし、炉の冷えるのを防ぐ。

### 9.7.6 日常管理

ボイラの省エネルギーを進めるためには、必要な計器を備え日々の運転状態を把握

することが先決である。特に蒸発量と燃料量の関係、すなわち蒸発倍数(9.1.5項参照)を監視し、性能低下が認められれば原因を調べて直ちに適切な処置を取らなければならない。

Table 9.17 は、運転日誌の見本であるが、ボイラ管理のためにはこれらの事項を記録し、蒸発倍数、給水温度、排ガス温度、排ガス中 $O_2$ %などについては、長期傾向の分るようなグラフを作り、異常の早期発見に役立つ。このように成績を表示することは、ボイラ運転者の省エネルギーに対する関心を高めるのにも役立つ。



### 9.7.7 事 例

#### (1) 他のプロセスの排熱による給水予熱（石油化学会社）

エチレン製造の工程で、プロセス流体の冷却に使われた水が 63℃ で 1,500 t/h 排出されている。この水は、クーリングタワーで 35℃ に冷して再び冷却用に用いていた。

一方、隣接する他の工場のボイラでは、空気予熱器の低温腐食を防ぐため、蒸気による予熱器で空気を 60℃ まで予熱していた。

両方の会社の担当者が、この点に注目し、両工場間に配管を敷設し、温水式空気予熱器を設置し、蒸気式予熱器を廃止することにした。

この結果、予熱用蒸気 13 t/h を節減することができた。設備投資 70 百万円、燃料節減額 330 百万円/年。資金回収 3 カ月。

#### (2) ボイラ空気比の改善（建築材料製造業）

重油を燃料とするボイラ（30 t/h）について熱勘定を行った結果は、次のようであった。

・ボイラ効率	90 %
・排ガス損失	5 %
・アトマイズ用蒸気損失	1 %
・放熱損失その他	4 %

この排ガス損失の減少を図るため、空気比自動制御装置を手動にして、種々テストをした。その結果、従来 O<sub>2</sub>% の限界が 2.5 % だったのが 0.6 % まで低下させられる可能性のあることが分った。このため、

- a. 負荷変動に対応できるマイクロコンピュータ制御装置への取り替え
- b. 時間遅れの少ないジルコニア式 O<sub>2</sub> 分析計の採用

を行い、O<sub>2</sub> を 1.0 % まで低下せしめた。

また、押し込み通風機のダンパの開度が 10 ~ 20 % と低いため、インバータによる回転数制御を実施した。

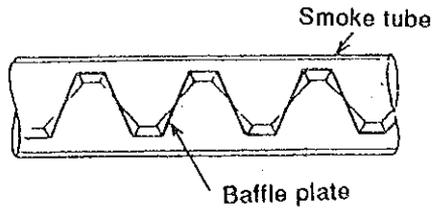
以上の結果、重油 37.5 kl/年減、電力 145 × 10<sup>3</sup> kWh/年減となり、メリットは 515 万円/年、設備費は約 1 年で回収できた。

#### (3) 煙管の伝熱改善（Figure 9.29 参照）

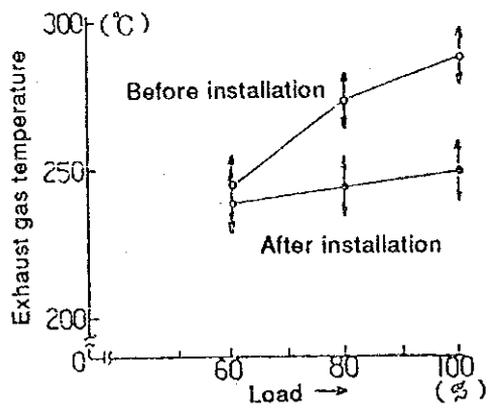
重油を燃料とする炉筒煙管式ボイラ（6 bar、7 t/h）の煙管内に特殊鋼製の曲板（タブレット）を挿入し、煙管内のガス流れに乱流を与えて熱伝達を良くした。

この結果、ボイラ効率が87.5%から89.7%に向上した。

Figure 9.29 Turbulator Insertion effect



(a) Load - exhaust gas temperature



(b) Load - efficiency

