

御目的に適応した計測器と制御装置の設置が不可欠で、これらの計装のない加熱炉で、高水準の加熱品質と最小の燃料コストを期待することは出来ない。

Figure 8.23 に一般的な計装設備の例を示す。

また、最近の加熱炉は圧延工場の全自動化を目指した計測制御の一環として、計算機による制御が導入されていて、各ゾーンの炉温、燃料、空気比等を制御している。炉温制御は鋼片表面温度、均熱度等の加熱制約を満足させ、かつ燃料が最小となるヒートパターンを計算して設定値としている。また、すべての監視、操作はCRT画面から行なえるパネルレスシステムを採用している。

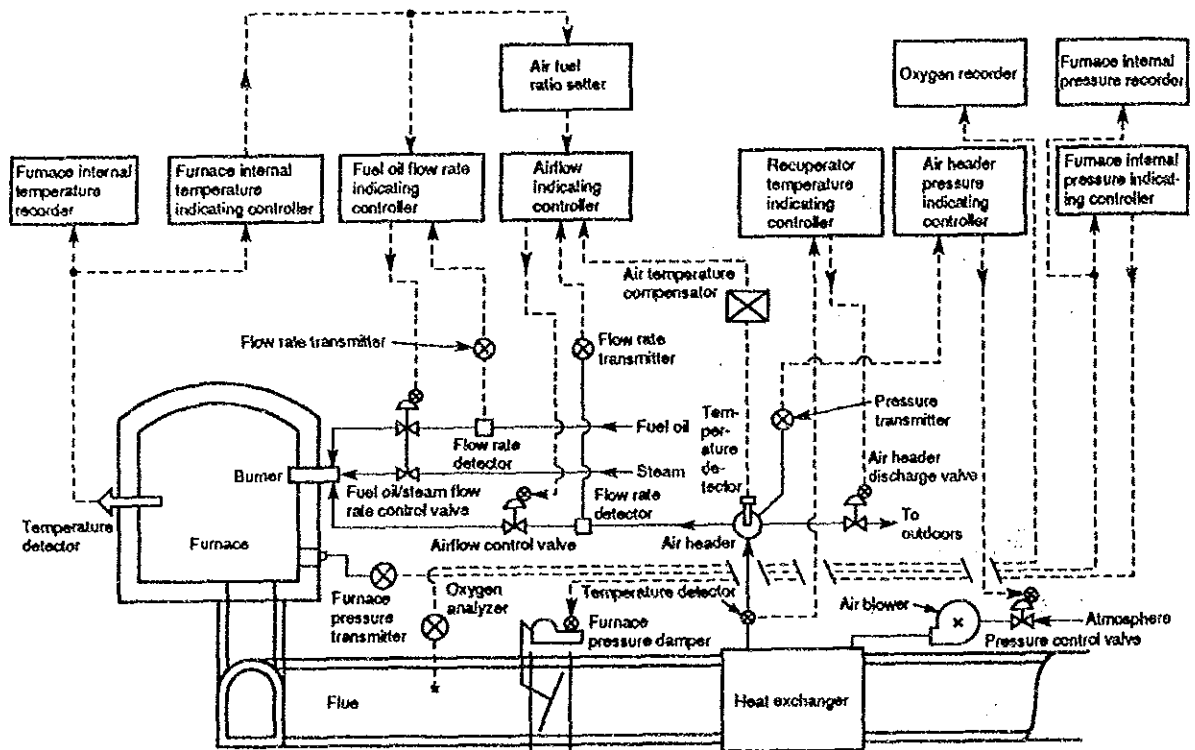


Figure 8.23 Example of furnace instrumentation

8.5.9 省エネルギー対策効果の推定

対策の効果については各項目で概略値を示したが、この数値は対策単独の効果であり、対策実施時の波及効果については考慮されていない。排熱回収設備を包含した場合や複数の対策を組み合わせ実施した時の効果を、項目ごとの効果の累積値により評価することは判断を誤る場合がある。

総合的な効果推定の方法は幾つかあるが、熱バランス式による方法を次に紹介する。

- a. 炉本体の熱収支より、加熱に必要な燃料量； $V_F(\text{Nm}^3/\text{h})$ は式（8-55）で与えられる。

$$V_F = (Q_c \times W_c + L(1) + L(2)) / (H + UV_A \times T_A(3) \times C_A(3) - UV_G \times T_G(2) \times C_G(2)) \quad (8-55)$$

$$Q_c = (1 - [\text{焼き減り Fe 量}]) \times ([\text{抽出温度における含熱量}] - [\text{装入温度における含熱量}]) + [\text{焼き減り Fe 量}] \times 100/75.5 \times [\text{スケールの平均比熱}] \times ([\text{抽出温度}] - [\text{装入温度}]) - [\text{焼き減り Fe 量}] \times [\text{スケール生成熱}]$$

$$UV_A = m \times A_0$$

$$UV_G = G + (m - 1) \times A_0 \text{ [Nm}^3/\text{Nm}^3]$$

ただし、

V_F ; 燃料量 [Nm³/h]

Q_c ; 鋼片受熱量 [kJ/kg]

W_c ; 加熱鋼片量 [kg/h]

$L(1)$; 冷却水損失 [kJ/h]

$L(2)$; 炉体放散熱損失 [kJ/h]

H ; 燃料ガス低発熱量 [kJ/Nm³]

UV_A ; 単位燃料量あたり空気量 [Nm³/Nm³]

m ; 空気比

A_0 ; 単位燃料量あたり理論空気量 [Nm³/Nm³]

$T_A(3)$; バーナ前予熱空気温度 [°C]

$C_A(3)$; バーナ前予熱空気の比熱 [kJ/(Nm³·°C)]

UV_G ; 単位燃料量あたり排ガス量 [Nm³/Nm³]

G ; 単位燃料量あたり理論湿り燃焼ガス量 [Nm³/Nm³]

$T_G(2)$; 炉じり排ガス温度 [°C]

$C_G(2)$; 炉じり排ガスの比熱 [kJ/(Nm³·°C)]

b. 炉内で鋼片、スキッド及び炉壁が燃焼ガスより受ける熱量； Q [kJ/h]は式(8-56)で与えられる。

燃焼ガスより鋼片、スキッドおよび炉壁への総括熱伝達係数、鋼片、スキッドおよび炉壁の受熱面積はそれぞれ異なるが、伝熱計算を簡単に行なうため鋼片を代表に選んだ。したがって、 ϕ は代表面積に対応する見かけの数値である。

$$Q = \phi \times S(1) \times 4.88 \{ [(T_{cM} + 273)/100]^4 - (T_{cM} + 273)/100 \}^4 \quad (8-56)$$

$$T_{cM} = \{ T_G(1) + T_G(2) \} / 2$$

$$T_G(1) = \{ H + UV_A \times T_A(3) \times C_A(3) \} / \{ UV_G \times C_G(1) \} \quad (8-57)$$

$$T_{cM} = \{T_c(2) + T_c(1)\} / 2$$

ただし、

Q ; 炉内で鋼片、スキッド及び炉壁が燃焼ガスより受ける熱量 [kJ/h]

ϕ ; 総括熱伝達係数 [kJ/(m²・℃・h)]

$S(1)$; 鋼片の表面積 [m²]

T_{GM} ; 燃焼ガス平均温度 [℃]

$T_G(1)$; 高温側燃焼ガス温度 [℃]、ここでは理論燃焼ガス温度を使用した。

T_{cM} ; 鋼片平均温度

$T_c(2)$; 鋼片抽出温度 [℃]

$T_c(1)$; 鋼片装入温度 [℃]

$C_G(1)$; 理論燃焼ガスの比熱 [kJ/Nm³・℃]

- c. 空気予熱器入口の排ガス温度； $T_G(3)$ [℃] は、炉装入口よりの吸込み空気による温度降下と煙道放散熱損失を考慮した式（8-58）で決められる。

$$T_G(3) = \frac{(V_F \times UV_G \times T_G(2) \times C_G(2) + V_{AL} \times T_A(1) \times C_A(1) - L(3))}{((V_F \times UV_G + V_{AL}) \times C_G(3))} \quad \text{----- (8-58)}$$

ただし、

V_{AL} ; 装入口よりの侵入空気量 [Nm³/h]

$T_A(1)$; 外気温度 [℃]

$C_A(1)$; 外気の比熱 [kJ/(Nm³・℃)]

$L(3)$; 炉じり～レキュペレータ間の放散熱損失 [kJ/h]

$C_G(3)$; 空気予熱器入口の排ガス比熱 [kJ/(Nm³・℃)]

- d. 空気予熱器についても、炉本体と同様に熱収支及び伝熱量より次式が成立する。

$$V_F \times UV_G \times (T_G(3) - T_G(4)) \times C_G(3) = V_F \times UV_A \times (T_A(2) - T_A(1)) \times C_A(2) + L(4) \quad \text{----- (8-59)}$$

(並流の場合)

$$V_F \times UV_A \times (T_A(2) - T_A(1)) \times C_A(2) = (\alpha \times S(2)) \times ((T_G(3) - T_A(1)) - (T_G(4) - T_A(2))) / \text{LN}((T_G(3) - T_A(1)) / (T_G(4) - T_A(2))) \quad \text{----- (8-60)}$$

(向流の場合)

$$V_F \times UV_A \times (T_A(2) - T_A(1)) \times C_A(2) = (\alpha \times S(2)) \times ((T_G(3) - T_A(2))$$

$$-(T_G(4) - T_A(1)) / \text{LN}((T_G(3) - T_A(2)) / (T_G(4) - T_A(1))) \quad \text{-----}(8-61)$$

今回対象の空気予熱器は、外気が空気予熱器の排ガス高温側と低温側の両端から入り、中央から予熱された空気が流出する構造になっているので次式を採用した。

$$V_F \times UV_A \times (T_A(2) - T_A(1)) \times C_A(2) = (\alpha \times S(2)) \times 1/2 \times ((T_G(3) + T_G(4)) - (T_A(2) + T_A(1))) \quad \text{-----}(8-62)$$

ただし、

α ; 空気予熱器の熱貫流率 [kJ/(m²・h・℃)]

S(2) ; 伝熱面積 [m²]

T_G(4) ; 空気予熱器出口の排ガス温度 [℃]

T_A(2) ; 空気予熱器出口の空気温度 [℃]

C_A(2) ; 空気予熱器出口の空気比熱 [kJ/(Nm³・℃)]

L(4) ; レキュ本体の放散熱損失 [kJ/h]

以上の式を用いて、省エネルギー対策の予想効果を算出する為のフローチャートを Figure 8.25 に示す。

Table 8.11 Mean isoplestic specific heat of gas

Temperature °C	H ₂	N ₂	N ₂ in the air	O ₂	CO	H ₂ O	H ₂ S	CO ₂	SO ₂	Air	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆
0	0.305 (1.277)	0.311 (1.302)	0.309 (1.293)	0.312 (1.306)	0.311 (1.302)	0.341 (1.427)	0.366 (1.532)	0.387 (1.620)	0.424 (1.775)	0.310 (1.298)	0.370 (1.549)	0.450 (1.884)	0.457 (1.913)
100	0.307 (1.285)	0.311 (1.302)	0.310 (1.298)	0.315 (1.319)	0.312 (1.306)	0.344 (1.440)	0.373 (1.561)	0.412 (1.725)	0.445 (1.863)	0.311 (1.302)	0.396 (1.670)	0.507 (2.122)	0.496 (2.076)
200	0.309 (1.293)	0.312 (1.306)	0.311 (1.302)	0.320 (1.340)	0.313 (1.310)	0.347 (1.457)	0.381 (1.595)	0.432 (1.808)	0.464 (1.942)	0.312 (1.306)	0.423 (1.771)	0.560 (2.344)	0.527 (2.206)
300	0.309 (1.293)	0.313 (1.310)	0.312 (1.306)	0.325 (1.360)	0.315 (1.319)	0.352 (1.473)	0.389 (1.628)	0.450 (1.884)	0.481 (2.013)	0.315 (1.319)	0.453 (1.886)	0.609 (2.549)	0.553 (2.315)
400	0.310 (1.298)	0.316 (1.323)	0.315 (1.319)	0.330 (1.381)	0.318 (1.331)	0.357 (1.494)	0.398 (1.666)	0.466 (1.951)	0.494 (2.068)	0.318 (1.331)	0.483 (2.022)	0.655 (2.742)	0.573 (2.399)
500	0.311 (1.302)	0.319 (1.335)	0.317 (1.327)	0.334 (1.398)	0.321 (1.344)	0.363 (1.520)	0.406 (1.700)	0.480 (2.009)	0.507 (2.122)	0.321 (1.344)	0.513 (2.147)	0.696 (2.913)	0.591 (2.474)
600	0.312 (1.306)	0.321 (1.344)	0.320 (1.330)	0.339 (1.419)	0.325 (1.360)	0.369 (1.545)	0.416 (1.741)	0.493 (2.064)	0.518 (2.168)	0.324 (1.356)	0.542 (2.269)	0.734 (3.073)	0.608 (2.545)
700	0.313 (1.310)	0.325 (1.360)	0.324 (1.356)	0.343 (1.436)	0.329 (1.377)	0.375 (1.570)	0.425 (1.779)	0.504 (2.110)	0.527 (2.206)	0.328 (1.373)	0.570 (2.386)	0.768 (3.215)	0.623 (2.608)
800	0.314 (1.314)	0.329 (1.377)	0.327 (1.369)	0.347 (1.453)	0.332 (1.390)	0.381 (1.595)	0.434 (1.817)	0.515 (2.156)	0.535 (2.240)	0.331 (1.386)	0.596 (2.495)	0.805 (3.370)	0.637 (2.667)
900	0.316 (1.323)	0.331 (1.386)	0.330 (1.381)	0.351 (1.469)	0.335 (1.402)	0.387 (1.620)	0.442 (1.850)	0.523 (2.189)	0.542 (2.269)	0.334 (1.398)	0.620 (2.595)	0.830 (3.474)	0.650 (2.721)
1000	0.317 (1.327)	0.334 (1.398)	0.333 (1.394)	0.354 (1.482)	0.338 (1.415)	0.393 (1.645)	0.450 (1.884)	0.532 (2.227)	0.548 (2.290)	0.338 (1.415)	0.644 (2.696)	0.858 (3.592)	0.662 (2.771)
1100	0.319 (1.335)	0.338 (1.415)	0.336 (1.400)	0.356 (1.490)	0.341 (1.427)	0.400 (1.674)	0.457 (1.913)	0.540 (2.260)	0.554 (2.319)	0.340 (1.420)	0.666 (2.788)		
1200	0.321 (1.344)	0.340 (1.420)	0.338 (1.415)	0.359 (1.503)	0.344 (1.440)	0.406 (1.700)	0.464 (1.942)	0.547 (2.290)	0.559 (2.340)	0.343 (1.436)	0.686 (2.872)		
1300	0.323 (1.352)	0.342 (1.432)	0.341 (1.427)	0.362 (1.515)	0.346 (1.448)	0.411 (1.720)	0.471 (1.972)	0.553 (2.315)	0.563 (2.357)	0.345 (1.444)			
1400	0.325 (1.360)	0.345 (1.444)	0.344 (1.440)	0.364 (1.524)	0.348 (1.457)	0.418 (1.750)	0.476 (1.993)	0.559 (2.340)	0.567 (2.373)	0.348 (1.457)			
1500	0.326 (1.365)	0.347 (1.453)	0.346 (1.440)	0.366 (1.532)	0.351 (1.469)	0.423 (1.771)	0.482 (2.018)	0.565 (2.365)	0.570 (2.386)	0.350 (1.465)			
1600	0.328 (1.373)	0.350 (1.465)	0.348 (1.457)	0.368 (1.540)	0.353 (1.478)	0.428 (1.792)	0.488 (2.043)	0.570 (2.386)	0.573 (2.399)	0.353 (1.478)			
1700	0.330 (1.381)	0.351 (1.469)	0.350 (1.465)	0.370 (1.549)	0.355 (1.486)	0.433 (1.813)	0.493 (2.064)	0.575 (2.407)	0.576 (2.415)	0.354 (1.482)			
1800	0.332 (1.390)	0.353 (1.478)	0.352 (1.473)	0.372 (1.557)	0.357 (1.494)	0.439 (1.838)	0.498 (2.085)	0.579 (2.424)	0.579 (2.424)	0.356 (1.490)			
1900	0.334 (1.398)	0.354 (1.482)	0.354 (1.482)	0.374 (1.566)	0.358 (1.499)	0.443 (1.854)	0.502 (2.101)	0.583 (2.440)	0.581 (2.432)	0.358 (1.499)			
2000	0.336 (1.407)	0.356 (1.490)	0.355 (1.486)	0.376 (1.574)	0.360 (1.507)	0.448 (1.875)	0.506 (2.118)	0.587 (2.457)	0.583 (2.440)	0.359 (1.503)			

Remarks: The figures in this table are what were obtained by conversion from mean isoplestic specific heat (kcal/kmol deg) in E. Schmidt; Einführung in der Technische Thermodynamik (1953).
The values of molecular volume (m³/kmol) are from the Chemical Handbook (1952)

9. ボイラ運転の省エネルギー

9. ボイラ

9.1.1 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.

9.1.1.1 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

Fig 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し難い。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。

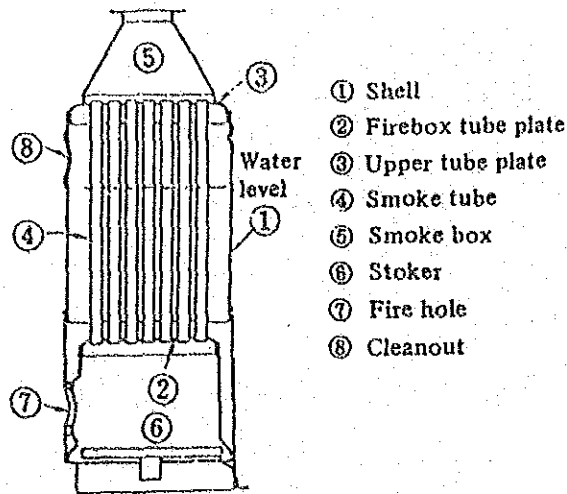


Figure 9.1 Vertical boiler (multitubular type)

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本のものゝコルニッシュボイラ、2本のものゝ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、最近はほとんど作られていない。

c. 煙管ボイラ

Fig 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。

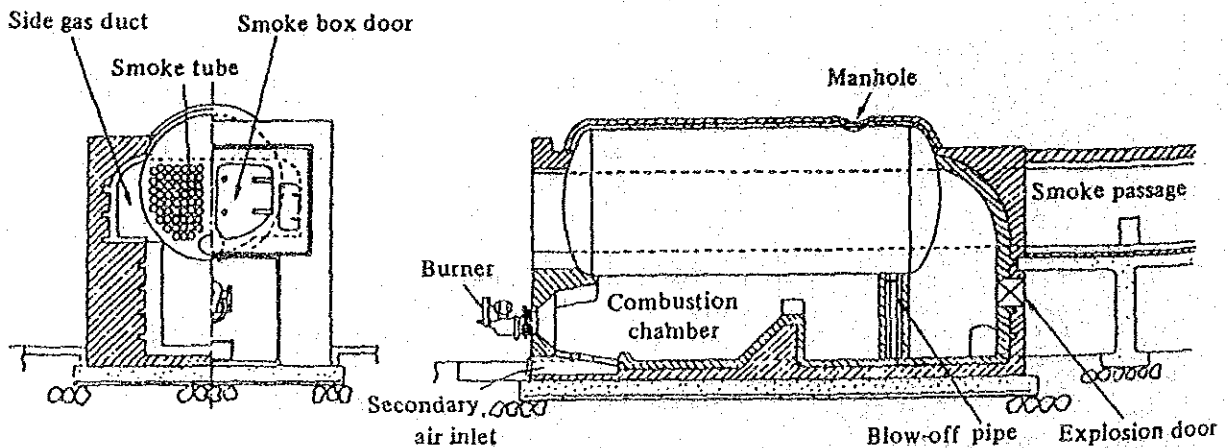


Figure 9.2 Externally fired horizontal smoke tube boiler

d. 炉筒煙管ボイラ

Fig 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る。

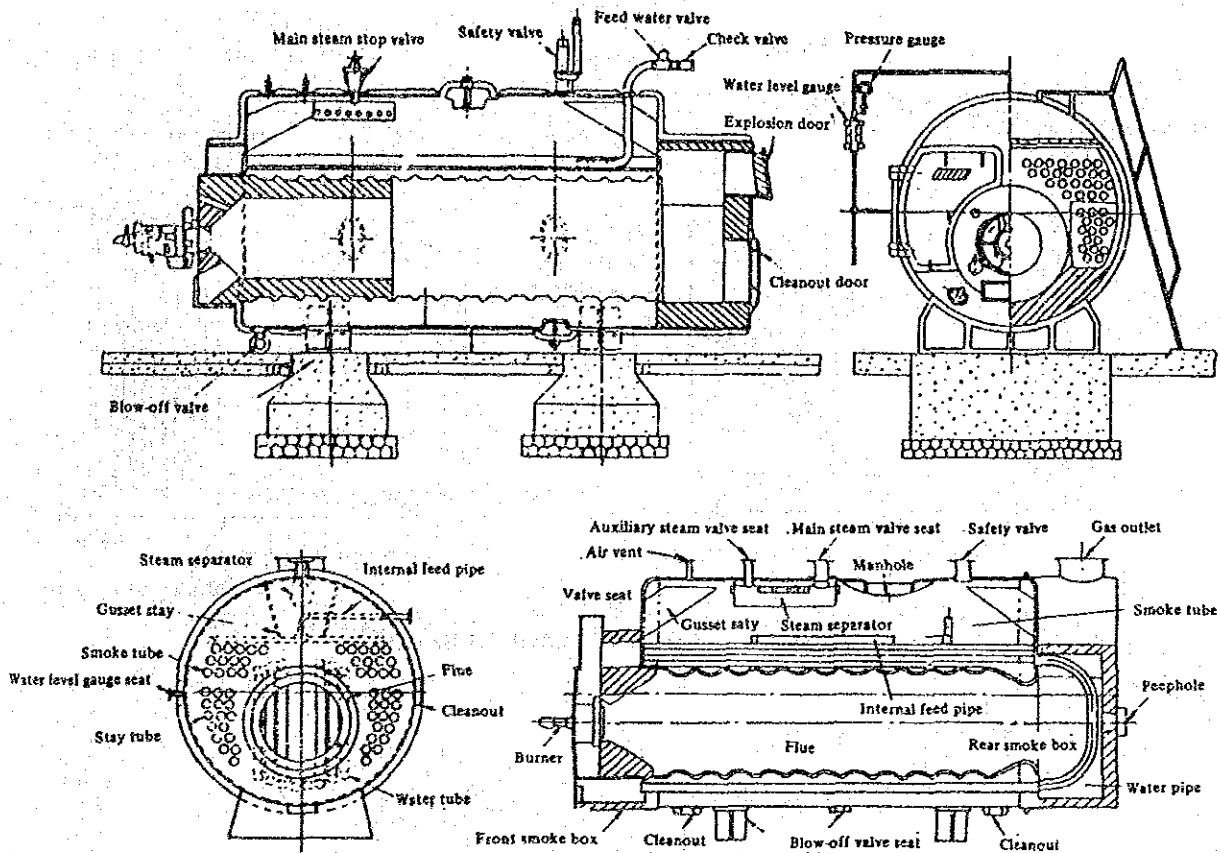


Figure 9.3 Flue smoke tube boiler

9.1.1.2 水管ボイラ

Fig 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 (Fig 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。

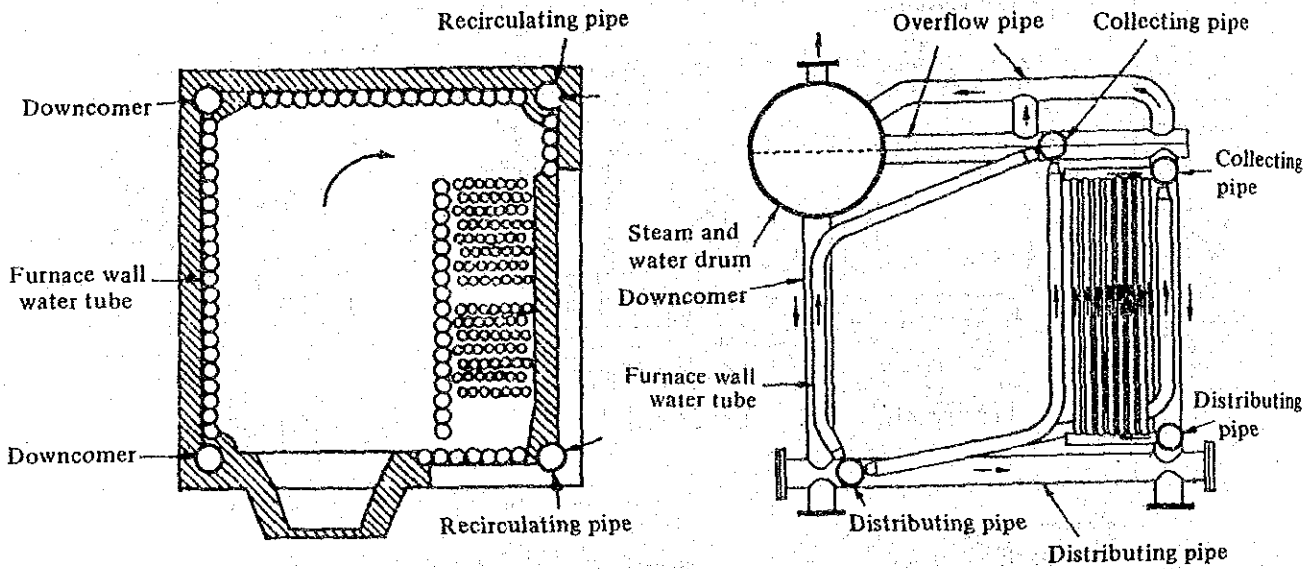


Figure 9.4 Bending water tube boiler

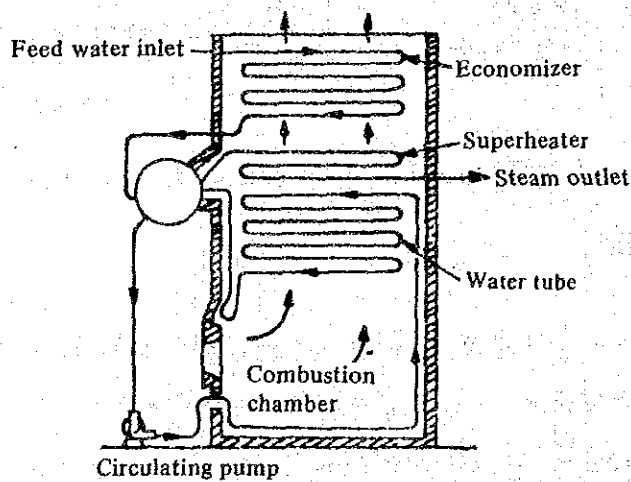


Figure 9.5 Forced circulation boiler

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（Fig 9 - 6 参照）

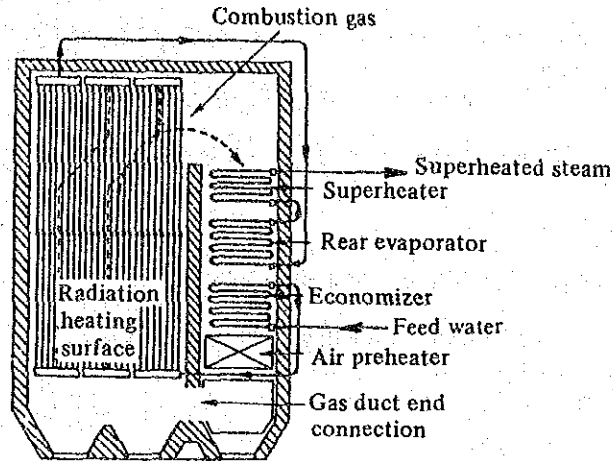


Figure 9.6 Schematic flow diagram of Benson boiler

この貫流ボイラの特徴は、次のとおりである。

- 汽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。

9.1.1.3 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。

9.1.2 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。

9.1.1.1 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。

9.1.2.2 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 (1/8)

点検の種類	点検箇所	周 期				点 検 項 目	要 領
		常時 監視	1 時間	1週 又は 1日	随 時		
常 時 点 検	1. ボイラの圧力	○		○	○	1. 圧力計の指度 指針の動き 2. 圧力計は手で触ってあつかないか、洩れはないか。 3. 圧力制限器の発停圧力は正常か 4. 安全弁吹き出し圧力	1. ひっきりなくスムーズに動いているか。 3. 狂いはないか、9の項参照 4. 3ヶ以上の圧力計と比較し指示に狂いがなければ点検
	2. ボイラの水位	○	○		○	1. 水面計の水位の動き 2. 給水ポンプ発停時のレベルは正常か 3. 低水、高水作動時特に注意	1. 水位は少し動いているのが正常、穴がつまると動きがにぶる。高さ変わる2ヶの水面計の水位を比較すること。 2. ベロー検出は圧力の高低によりレベル、動作巾は少し異なる。圧力高くなるとレベルは下がり巾は広がる。平均圧力で作動レベル、巾の点検 3. 作動原因の究明と対策をたてる。(5、6項参照)
	3. 燃 焼 状 態	○	○			1. 燃焼音の変化 2. 火炎の形状、火炎の色 3. ばい煙の発生	1. たき始め、低一高移行中異音に注意 2. 炉壁にあたっていないか、粒子があらくないか。 3. 炉内圧、排ガス分析、空気、油量の点検 長期間運転したとき、低負荷が長く続いたときは注意
日 常 点 検	4. ガラス水面計	○	○		○	水面計の点検 ドレンコックを開き、蒸気コックを閉じ缶水を充分に吹かす。次にウォーターコックを閉じ蒸気コックを開け、蒸気側を点検しドレンコックを閉めウォーターコックを開き水位が勢よく立ちあがるを見る。	1. 各コックの開閉状態、洩れ 2. ガラス上下よりの洩れ、上下コック取付芯狂い、ガラス長さ 3. ガラス掃除又は取替え、取替には片締めしないよう。先ずドレンコックを開き、蒸気で暖めてからドレンコックを閉めウォーターコックを開き、蒸気コックを全開する。少し使用後増締めを行う。

Table 9.2 Daily inspection of boiler (1/8)

点検の種類	点検箇所	周 期				点 検 項 目	要 領
		常時 監視	1 時 間	1 週 又 は 1 日	随 時		
日 常 点 附 属 機	5.水柱管		○			1. コラム内の排水、スラッジスケール除去 2. 水位検出器 電気配線ターミナルの点検、電極保持器絶縁汚れ点検、電極の汚れ点検、割れ点検	1. 連絡通路の開閉状態の確認と内部掃除 2. 電気配線の点検(耐熱電線)絶縁抵抗の測定—電極保持器配線ははずして電極とアース間100 MΩ以上 電極の掃除 電極保持器の汚れ、割れ、点検、取替
	6.自動給水加減器 低水位遮断器 高低水位警報器		○			1. チャンバー内連絡配管内のスケール、スラッジの排出 2. ボイラ水の水位を、実際に下げて作動の確認 3. 内部水銀スイッチ、ペローズの点検。 4. 電気配線の点検 5. 振動による誤動作がないか。 6. 電極保持器、汚れ、割れ、洩れ、点検。	1. 連絡通路の開閉状態の確認と内部掃除。なるべく圧力が低いときに行う。 2. ブローしながら作動確認。 3. 水銀の飛散、バランスの点検。ペローズよりの洩れ点検。 4. 熱による損傷点検。耐熱電線の使用。 5. ステイ取付 6. 磚子割れ、洩れ修理、電極棒の掃除、絶縁100 MΩ以上。
	7.自動給水加減器(単要素式)			○		1. サーモスタット連絡配管内のスケールスラッジの排出 2. 各連結箇所の確認 3. ボイラ負荷による水位調整	1. 連絡管のバルブ開閉状態と内部掃除。 2. スライド・スプロケット・ウェイトの規定位置確認。 3. 弁レバーが大体水平になるまでサーモスタットのヒールピースの調整。
	8.火炎検出装置				○	1. 不着火、バーナカットの確認。 2. 検出器の疲労度点検 3. 配線の不良 動力の誘導電流の影響	1. パイロット検出のときは点火燃料をとめて、メインに移行しないことの確認。 メイン検出のときは、キャップ或は検出器をとりはずして不着火の確認をする。 火炎応答2~4秒遅れ。 2. マイクロアンメーター等による電流測定、擬似火炎によるテスト。 3. シールド配線、単独配線に変更

Table 9.2 Daily Inspection of boiler (1/8)

点検の種類	点検箇所	周 期				点 検 項 目	要 領
		常時 監視	1 時間	1週 又は 1日	随 時		
日 常 機 器 （ 本 体 附 属 ） 点 検				○	<ul style="list-style-type: none"> ○ 4. 擬似火災の検出 自己放電がないか ページばかりで点検、着火に 移らない。 ○ 5. レンズ、ガラスチューブの汚 れ、取付位置 ○ 6. 電気配線⊕⊖相の違い、結線 のゆるみ ○ 7. 増巾器。フレームリレーの点 検。 	<ul style="list-style-type: none"> 4. 赤熱した耐火材をみていない か チューブ不良、取替 5. 掃除 6. 配線の入替え、増締 7. 不良品取替 電流正常だが不着火になると きは増巾器かフレームリレーの 不良。 	
	9. 圧力制限器				<ul style="list-style-type: none"> ○ 1. 運転停止圧力に狂いはないか 動作隙間設定は適正か ○ 2. 検出部ベローズに凹み、洩れ がないか。 取付位置、取付方向が適正か ○ 3. ハイローオフ制御のとき二段 設定値適正か。 ○ 4. 電気配線の損傷はないか。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. サイフォンパイプ、メートル コック、ベローズ検出部の掃除 点検 動作隙間の設定変更 4. 点検、取替 	
	10. 圧力調節器				<ul style="list-style-type: none"> ○ 1. 比例帯巾は適正か。 ○ 2. ポテンシオメーターの接触不 良、汚れ、抵抗断線 ○ 3. 検出部のつまり 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 比例帯巾の変更 2. 点検掃除、取替 	
	11. 風圧スイッチ				<ul style="list-style-type: none"> ○ 1. 設定値との狂い ○ 2. 導管のつまり、洩れ 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 適正値に設定 2. 分解、点検、掃除 	
	12. 油温スイッチ				<ul style="list-style-type: none"> ○ 1. 設定値との狂い ○ 2. 感熱筒、検出部の汚れ、取付 寸法 ○ 3. 検出部の損傷 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 適正油温に設定 2. 汚れ掃除 長さの検討、取替 取付場所の検討 	
	13. ラッチスイッチ インターロック				<ul style="list-style-type: none"> ○ 1. 各ラッチスイッチの設定 ○ 2. 取付位置、設定のゆるみ ○ 3. インターロック作動 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 適正位置に設定 2. 点検、調整 3. 作動チェック、点検修理 	
	14. コントロール モーター			○	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1. 動きは正常か ○ 2. バランシングリレーの接触不 良 ○ 3. ポテンシオメーターの汚れ接 触不良 	<ul style="list-style-type: none"> 2. アークがでていないか 振動の影響をうけないよう取 付位置の検討 3. 点検、掃除 	

Table 9.2 Daily Inspection of boiler (1/8)

点検の種類	点検箇所	周 期				点 検 項 目	要 領
		常時 監視	1 時間	1週 又は 1日	随 時		
日 燃 常 焼 点 装 置	15. 点火バーナー			○	○ ○ ○ ○	1. ガス圧力 2. イグニッショントランスの劣化 3. カーボンの附着 4. 着火時のバックファイヤ 5. ノズルと電極の間隔	2. 電極とアース間のスパークの点検、大気中で7~8mm 3. ノズルと電極間カーボン掃除、絶縁碍子の掃除 4. 適正な低燃焼の空燃比の設定 5. 調整
	16. 電気点火装置				○ ○ ○	1. 電気スパーク良好か 2. 頻繁に掃除必要 電極設定不良 3. トランス絶縁不良 リード線不良	1. 青色が正常、赤色があったときは掃除必要 スパーク短かいときは間隔が狭い 2. 電極が噴射角内に設定すると油でぬれ、スパークしない。 規定値に設定 3. トランスの点検、取替、絶縁碍子の掃除
	17. バーナー			○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	1. カーボン、スラッジの除去 2. アトマイジングカップの点検 先端流出部の形状点検、汚れ掃除 3. シャフト、注油管の掃除 4. 軸受、グリス注油 シール洩れ点検 5. デフューザーの損傷、カーボン点検 6. ガンタイプバーナー チップストレーナーの点検掃除 7. ガイタイプ電極絶縁碍子点検 8. 異音、過電流、点検 9. オイル洩れ 10. バーナーベルト	1. バーナタイトルの点検補修 3. スラッジ、オイルの除去 4. グリス注入 5. 掃除、補修隙間調整 6. 分解掃除 チップ孔大きくなっていないか 7. 掃除、規定寸法に設定 8. 原因調査、分解整備 ベアリング取替 9. 洩れ修理 10. ヒビ割れ交換
	18. 燃料遮断弁 (メインバルブ)			○ ○	○ ○	1. 遮断弁洩れ点検 2. 低水位、不着火による遮断確認 3. 電気配線の点検	1. 遮断後完全に消火するか 3. 熱による損傷点検
	19. 噴燃ポンプ			○	○ ○ ○	1. 油圧の点検 2. ストレーナーの掃除 3. オイル洩れ点検 4. 過熱、過電流点検	1. 適正油圧に設定 2. ドレン抜き、スラッジ除去 3. 洩れ修理 オイルシール取替 4. ベアリング取替

Table 9.2 Daily inspection of boiler (1/8)

点検の種類	点検箇所	周 期				点 検 項 目	要 領
		常時 監視	1 時間	1週 又は 1日	随 時		
	20. オイル プレヒーター			○	○ ○ ○	1. 油温 2. ドレン抜き 3. オイル洩れ点検 4. シースヒータの点検	1. サーモスタットの調整 エアーチャンバーによるガス 化点検 2. ドレン、スラッジの除去 3. 洩れ修理 4. スラッジ除去
	21. サービス タンク ストレージ タンク			○	○ ○ ○ ○	1. 油面制御の確認 2. 温度制御 調節弁、蒸気電磁弁の作動 3. オイルストレーナーの掃除 4. 受入量、残量の点検、記録 5. 洩れ、配管ラインの点検 6. ドレン、スラッジの除去	1. フロートスイッチ、その他 制御器の作動確認 2. 洩れ、作動点検
	22. 油メーター		○		○	1. オイルメーター指示記録点検 2. メーター通過時油温の把握	1. 分解掃除、部品交換、取替 2. 効率計算はメーター通過時の 比重による。
	23. 油量調節器			○	○	1. 調節器リンク機構の点検 2. 各負荷毎油量の点検	1. リンク機構の調整、ゆるみ、 ガタの点検 2. 動作、油量チェックにより補 修、分解掃除
	24. オイル ストレーナー			○	○	1. オートクリーナーはハンドル を廻す 切換式ストレーナーの予備分 は必ず掃除しておく。 2. ドレン・スラッジ除去、一次 二次の差圧による掃除の目安を 把握	
	25. 押込送風機			○	○ ○	1. 異音、過電流点検 2. 吸込口点検 3. 振動点検 ベルトの点検、取替	1. 異常あれば分解整備 ベアリング取替 2. 金網を張り異物を吸込まない ように検討 3. 取付ボルトのゆるみ ランナーのゆるみ ランナー附着物の除去 ベアリング取替
	26. ダ ン バ			○	○ ○ ○	1. 主ダンパ、一次ダンパのリン ク機構の点検 2. ダンパ開度の点検 3. ボイラ出口ドラフト調整 4. ダンパの洩れ、作動不良	1. スローに開くよう調整 2. 狂い、ゆるみがないか点検 3. 加圧燃焼で0±2mm A q
	27. 炉 内 圧 計			○		1. 炉内圧指針の確認	1. 導圧管内つまり点検 バルブコック 開閉点検 腐蝕による洩れ点検修理

Table 9.2 Daily inspection of boiler (1/8)

点検の種類	点検箇所	周 期				点 検 項 目	要 領
		常時 監視	1 時間	1週 又は 1日	随 時		
	28. 煤煙濃度計			○		1. 指示と煙の濃度の狂い 2. 零点調整	1. ガラスの掃除 投光、受光器の調整 コンプレッサーエアーの吹き こみ 2. 零点を合わせる
	29. 排ガス分析器			○	○	1. 指針の作動確認 2. 調整	1. 導管つまり、洩れの点検、戸 過器の掃除、導管の気密試験 2. 吸引器水量の調整 空気によるチェック オルザット分析と比較
	30. 煙 道 煙 突				○ ○ ○	1. 洩れ腐蝕点検 2. 煙道、煙突内の煤除去 3. 雨水の排出	1. 点検修理
	31. 硬水軟化装置			○	○ ○ ○ ○	1. 軟化装置水圧は適正か 1.5 ~ 2 kg/cm ² 2. 硬度チェック 二次側で適宜点検 3. 弁よりの洩れ 4. ポンプ停止中のリーク	2. サイクルの70~80%位から点 検を怠らないように点検 3. パッキン摺合せ部よりの洩れ に注意
	32. 給水タンク		○ ○ ○ ○		○	1. 水位計の点検 2. 低水警報ランプの作動確認 3. レベル制御の確認 4. 温度点検 5. タンク内塗装、腐蝕点検、内 部掃除	2. 実際に水位を下げてテスト或 は電気配線によるテスト 3. 制御器の人為的作動確認 4. 高温トラップの作動不良点検 5. 点検、補修、掃除
	33. 薬 注 装 置			○ ○	○	1. 薬液の注入は適正か 2. 給水ポンプとの連動は良いか 3. 洩れ、つまりはないか	1. 槽内の汚れ、液量の点検 2. 作動点検 3. 点検補修
	34. 給水ポンプ			○	○ ○ ○ ○	1. 過電流になっていないか 2. グランドよりの洩れ 3. 注油点検 4. カップリングにガタがないか	1. バルブ調整 2. パッキンの入替、増締 3. 注油、グリスの充填 4. 補修、交換
	35. インゼクター				○ ○	1. 正常に作動するか 2. 逆止弁作動、スケール附着	1. 蒸気圧低下、給水温度上昇、 エアー吸込、給水圧高すぎ 2. 点検分解掃除
	36. 水メーター ストレーナー		○		○	1. 動きが正常か 2. ストレーナーにつまりはないか	1. 記録、点検 2. 分解掃除
	37. 給水逆止弁				○	1. 逆流はないか	1. ウォーターハンマーあり 給水配管が手で触ってあつい。 分解整備。取替

Table 9.2 Daily Inspection of boiler (1/8)

点検の種類	点検箇所	周 期				点 検 項 目	要 領
		常時 監視	1 時間	1週 又は 1日	随 時		
	38. 給 水 内 管				○ ○	1. 内管につまりはないか 2. 内管取付ガスケット不良脱落	1. 給水量不足となる分解掃除 2. ウォーターハンマーあり、ガスケット取替
	39. 安 全 弁			○	○ ○	1. 蒸気洩れはないか 2. 作動時吹出し圧力、吹き止り圧力適正か 3. 吹き出し容量良好か	1. 洩れの修理、分解整備 3. 定格燃焼で作動させ圧力上昇6%以上は不可
	40. 吹 出 弁			○ ○		1. 洩れはないか 2. 操作は本体側を急開弁、二次側を漸開弁として吹出す 3. 排出口の点検	1. 分解整備、取替 2. 10kg/cd以上は2個 3. ピットの大きさ適正か 消音対策、水管理
	41. マンホール			○	○	1. マンホールより洩れ 2. ガスケットあたり面をきれいに	1. 増締、ガスケット取替 2. グラファイトをぬり取替やすくする
	42. 保 温					1. ガス洩れの点検 2. 変色箇所の点検	1. 早期に点検修理 2. 過熱原因究明修理
	43. 耐 火 材				○ ○	1. 損傷脱落、異常の点検 2. ガス洩れ、ショートバスの点検	1. 耐火材の早期補修 2. 補修
	44. 検査孔・掃除孔 附属品取付部				○	1. 蒸気もれ、水洩れの点検	1. 洩れ修理 増締、ガスケット取替修理
	45. 爆 発 扉			○	○	1. ガス洩れの点検 2. スプリングの点検	1. 洩れ修理 2. 洩れ、熱によるスプリングの不良は取替 錆つきによる開閉不能点検
	46. 電 磁 開 閉 器 接 触 器				○ ○	1. リレー接点接触不良点検 2. ターミナルのゆるみ点検	1. 接点の取替、リレーの取替 2. ターミナル増締
	47. タイマー 限時継電器				○ ○	1. タイマーの設定適正か 2. カム機構の設定の狂い点検	1. Y-△起動、起動電流 Yで定格におちてから△に切替 2. シーケンスにもとづき点検
	48. 作 動 灯 表 示 灯			○	○	1. 断線していないか、暗くないか 2. 接触不良	1. ランプの取替 2. 増締
	49. 予 備 ヒューズランプ				○	1. 予備品はあるか	1. ヒューズ・ランプ予備の補充

Table 9.2 Daily Inspection of boiler (1/8)

点検の種類	点検箇所	周 期				点 検 項 目	要 領
		常時 監視	1 時間	1 週 又 1 日	随 時		
	50. プロテクト リレー			○	○ ○	1. 作動は正常か 2. リレーの固定、締付は充分か、 接触不良はないか 3. 電圧ドロップはないか	1. シーケンスチェックを行う 不良のときは取替 2. 正常な作動はしない 3. 操作回路電圧チェック
	51. 端子 ターミナル				○ ○	1. ターミナルにゆるみはないか 2. ゴミの清掃	1. 増締 できれば廻り止めペンキ 2. 掃除機で吸いとる
	52. 絶 縁 抵 抗				○	1. 500 Vメガーにて測定 測定時低圧機器はとりはずし て点検	1. 二次側を入れて 5 MΩ以下なれば、点検補修 必要
	53. 電 気 配 線				○ ○ ○	1. 過熱してないか 焼損変色していないか 2. 被覆に損傷がないか 3. 相の点検	1. 配線チェック ターミナル附近配線変色に注 意 2. 損傷チェック

9.1.2.3 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分のプレバージを行い、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、ちゅうちょすることなく作業を中止し、最初のバ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O₂、CO₂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、

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

区分	最高使用圧力 kg/cm ² (MPa)	25 以下	75 を超え 100 以下	100 を超え 125 以下	125 を超え 150 以下	150 を超え 200 以下	200 を超えるもの
		2.5以下	7.5 を超え 10 以下	10 を超え 12.5 以下	12.5 を超え 15 以下	15 を超え 20 以下	20 を超えるもの
給 水	pH (25°C)	10.5~11.0	8.5~9.5 ⁽¹⁾	8.5~9.5 ⁽¹⁾	8.5~9.5 ⁽¹⁾	8.5~9.5 ⁽¹⁾	9.0~9.5
	硬度 (mgCaCO ₃ /l)	1 以下*	0	0	0	0	0
	溶存酸素 (mgO ₂ /l)	0.5 以下	0.007 以下	0.007 以下	0.007 以下	0.007 以下	0.007 以下
	全鉄 (mgFe/l)	—	0.03 以下 ⁽¹⁾	0.03 以下 ⁽¹⁾	0.02 以下 ⁽¹⁾	0.02 以下 ⁽¹⁾	0.01 以下
	全銅 (mgCu/l)	—	0.01 以下	0.01 以下	0.005 以下	0.003 以下	0.002 以下
	ヒドラジン ⁽¹⁾ (mgN ₂ H ₄ /l)	—	0.01 以上	0.01 以上	0.01 以上	0.01 以上	0.01 以上
	シリカ (mgSiO ₂ /l)	—	0.04 以下 ⁽²⁾ 0.02 以下 ⁽³⁾	0.04 以下 ⁽²⁾ 0.02 以下 ⁽³⁾	0.03 以下 ⁽²⁾ 0.02 以下 ⁽³⁾	0.02 以下	0.02 以下
	全蒸発残留物 (mg/l)	700 以下	—	—	—	—	—
	電気伝導率 (25°C) (μS/cm)	1000 以下	0.3 以下 ⁽¹⁾	0.3 以下 ⁽¹⁾	0.3 以下 ⁽¹⁾	0.3 以下 ⁽¹⁾	0.25 以下 ⁽¹⁾
	りん酸イオン (mgPO ₄ ³⁻ /l)	20 ~ 40	—	—	—	—	—

注 (1) ヒドラジンの濃度は、pHがその上限を超えない限度とする。

(2) 高圧給水加熱器の管材が銅管の場合は、pHを高めに調整することが望ましい。

(3) 0.02 mg Fe/l 以下に保つことが望ましい。

(4) 0.01 mg Fe/l 以下に保つことが望ましい。

(5) セパレータを持つボイラに適用する。

(6) セパレータを持たないボイラに適用する。

(7) 試料を水素形強酸性陽イオン交換樹脂層に通して測定する。

備考 1. 高圧貫流ボイラの給水の全蒸発残留物の濃度は極めて低く、その測定が不可能に近いので、電気伝導率の測定値を全蒸発残留物中の溶解性蒸発残留物の濃度の推定に用いる。

2. 最高使用圧力 25 bar (2.5 MPa) 以下は、給水へのもどり量が30%近辺の貫流ボイラを対象とし、給水にボイラからのもどりが加わり、これに薬品を添加してボイラに送るため、循環ボイラに似た水質管理を行う。

なお、*印は、もどりの加わる前の給水に適用する。

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

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

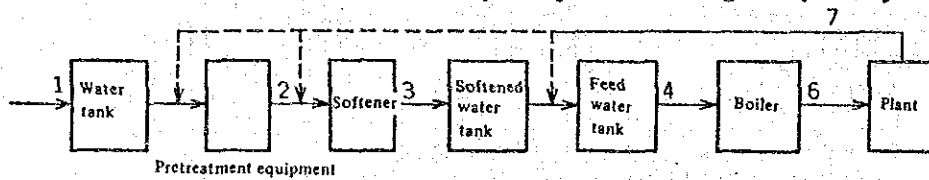
$$\therefore y = \frac{a}{b-a} x$$

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

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



Item	1		2		3		4		5		6		7	
	Irregular intervals	Periodical intervals	Irregular intervals	Periodical intervals	Irregular intervals	Periodical intervals	Irregular intervals	Periodical intervals	Irregular intervals	Periodical intervals	Irregular intervals	Periodical intervals	Irregular intervals	Periodical intervals
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					
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

9.1.3 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。

9.1.3.1 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。

9.1.3.2 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 2257 kJ/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 (kJ/kg) とすると、換算蒸発量 G_e は次の式で求められる。

$$G_e = \frac{G(h_2 - h_1)}{2257} \quad (\text{kg/h})$$

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 (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/in² 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。

9.1.4 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トブローは行わない。

最初に、Fig 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。

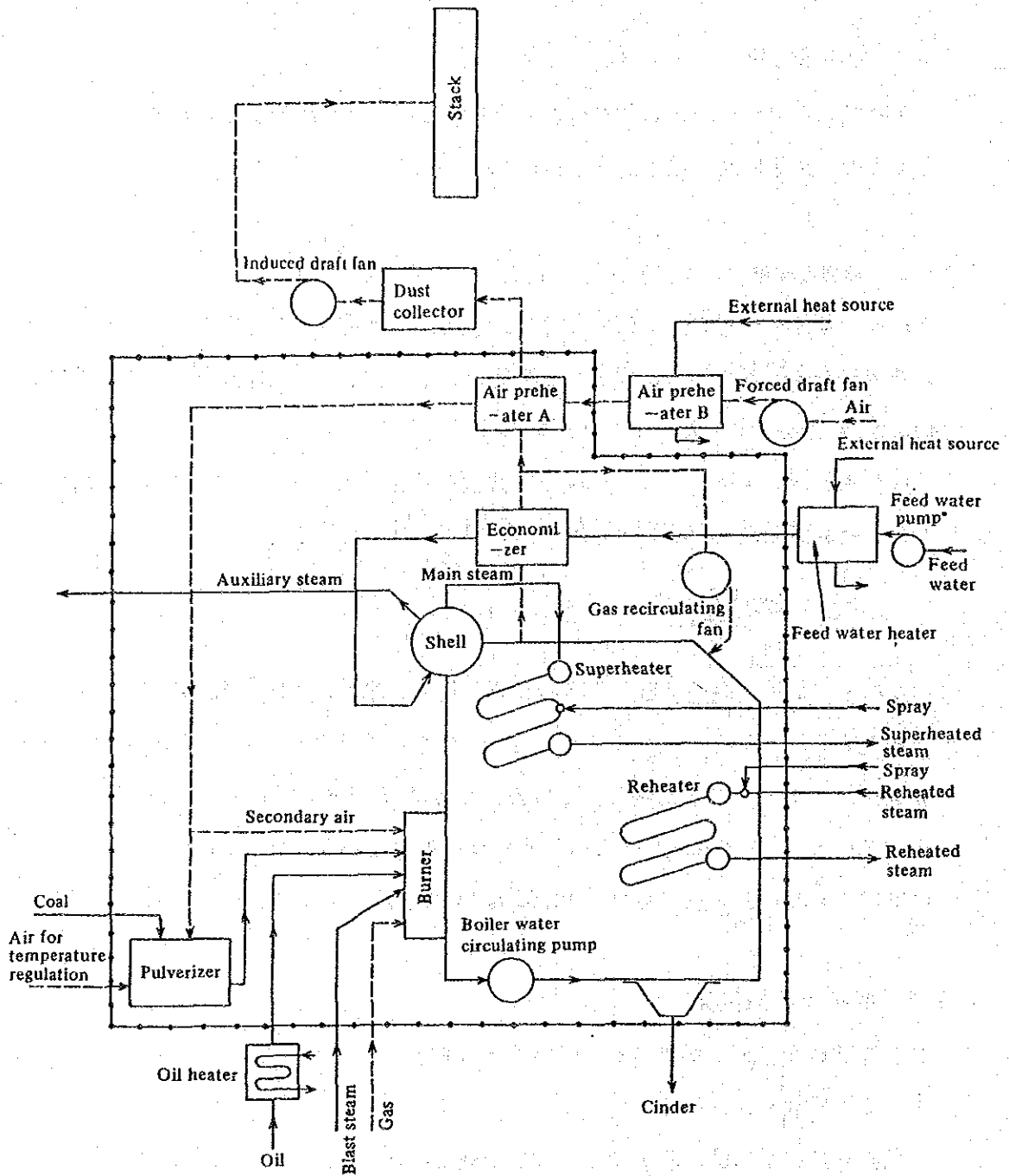


Figure 9.7 Standard range of boiler heat balance

Table 9.6 Outline of equipment

設備の概要は、次によって表示する。

工場名, 所在地		
ボイラ製造業者名		
ボイラ記号番号, 製造年月日		
ボ イ ラ 本 体	種類・形式	
	最大連続蒸発量	t/h
	最高使用圧力(1)	bar
	常用圧力(1)	bar
	過熱(再熱)温度	°C
	標準燃料の発熱量	kJ/kg(m ³)
伝熱面積	ボイラ	m ²
	水冷壁	m ²
	計	m ²
過熱器	形式 伝熱面積	m ²
再熱器	形式 伝熱面積	m ²
節炭器	形式 伝熱面積	m ²
空予熱器	形式 伝熱面積	m ²
燃燒装置	形式 バーナ容量, 個数, 火格子面積	kg(m ³)/h, m ²
燃燒室	燃燒室容積	m ³
	燃燒室標準熱発生率	kJ/m ³ h
制御装置	圧力 水位 過熱温度 その他	
通 風 装 置	通風方式	
	押込ファン 形式 容量 風圧	m ³ /min(°C) mmAq
	吸出ファン 形式 容量 風圧	m ³ /min(°C) mmAq
	その他のファン 形式 容量 風圧	m ³ /min(°C) mmAq
	煙突 大きさ(径×高さ) 共用設備の名称・基数	m×m
給水装置	形式 容量・個数 給水処理装置の種類, 容量 給水の性状 使用清浄剤及び使用量	t/h
試験前の準備状況		

注(1) 圧力はゲージ圧力

Table 9.7 Results of measurement (1/2)

測定結果は、次によって表示する。

試験実施年月日時刻				
担当者				
天候, 気圧, 風速, 外気温度		°C		
外気乾球温度, 湿球温度		°C		
試験時間		h		
負荷率		%		
燃 料	燃料種類, 銘柄			
	混合比			
	使用温度		°C	
	水分又は全水分		%	
	工分	分析値	%	水分による補正を行う。
		使用時	%	
	元分	分析値	%	水分による補正を行う。
		使用時	%	
低発熱 高品位	試験値	kJ/m ³	熱量計によって高発熱量を実測し, 計算により低発熱量を求める。水分による補正を行う。	
	使用時	kJ/m ³		
使用全量		kg(m ³)		
1時間当たり使用量		kg(m ³)/h		
バーナ当たり燃焼量		kg(m ³)/h		
燃焼室熱発生率		kJ/m ³		
燃焼装置の状態				
制御装置の状態				
通風装置の状態				
給水装置の状態				
給 水	給水全量(補正值)		kg	
	1時間当たり給水量		kg/h	
	燃料単位量当たり給水量		kg/kg(m ³)	
	節炭器入口温度		°C	
	ボイラ本体入口温度 (ドレン回収率 %)		°C	
発 生 蒸 気	圧 力	ボイラ胴	bar	
		過熱器出口	bar	
		再熱器入口	bar	
		再熱器出口	bar	
	温 度	過熱器出口	°C	
		再熱器入口	°C	
		再熱器出口	°C	
	飽和蒸気乾き度(過熱器のない場合)		%	絞り熱量計により実測するか, 又は概算値(例えば98%)による。
蒸 発 量	全量(補正值)	kg	給水量から求める。ボイラ水面の変化, 炉内吹込量等の補正を行う。	
	1時間当たり 毎時換算	kg/h kg/h		
炉 吹 込 蒸 気 内 気	蒸気源			
	蒸気量		kg/h	
	圧力, 温度		bar, °C	
燃 焼 用 空 気	燃料単位量当たり空気量		m ³ /kg(m ³)	
	温 度 及 び 力	空気予熱器入口	°C, mmAq	
		空気予熱器出口	°C, mmAq	
		押込ファン出口	°C, mmAq	
		火炉入口	°C, mmAq	
燃料及び燃焼ガスの組成から算出する。				

Table 9.7 Results of measurement (2/2)

燃空 焼 用気	空気 比	ボイラ本体出口 節炭器出口 空気予熱器出口		
排 (燃 焼) ガ ス	燃料単位量当たり排ガス量 $m_n^3/kg(m_n^3)$			
	温度 及 び 圧 力	炉内	°C, mmAq	
		ボイラ本体出口	°C, mmAq	
		節炭器入口	°C, mmAq	
		節炭器出口	°C, mmAq	
空気予熱器入口		°C, mmAq		
空気予熱器出口		°C, mmAq		
吸出しファン入口		°C, mmAq		
吸出しファン出口		°C, mmAq		
ガス 分 析	ボイラ本体出口 (CO ₂ , O ₂ , CO)	%		
	節炭器出口 (CO ₂ , O ₂ , CO)	%		
	空気予熱器出口 (CO ₂ , O ₂ , CO)	%		
未燃分	%	燃料使用量, 燃料中灰分, 燃えがら中, 未燃分 から単出する		
燃料単位量当たり燃えがら量	kg/kg			
煙の状況				
補 機	蒸気消費量	kg		
	電力消費量	kWh		
備 考				

備 考 1. 本表に記入する燃料, 燃えがら及び排ガスの分析値並びに蒸気, 空気及びガスの温度, 圧力などの数値は各測定値の平均値とする。

2. 負荷率とは次による。

$$\text{負荷率} = \frac{\text{実際蒸発量}}{\text{最大連続蒸発量}} \times 100\%$$

3. 燃焼装置の状態とは次のようなものをいう。

手 だ き—投炭方式, 投炭時隔, ダンバ開度など

機 械 だ き—ストーカー又は給炭装置の速度, 炭層の厚さ, ダンバ開度など

微粉炭だき—給炭機, 微粉機, エキゾースタ, 送風機の運転台数及び速度, ダンバ開度, パーナ稼動
個数及び状態など

重 油 だ き—油圧及びパーナ稼動個数及び状態など

ガ ス だ き—ガス圧及びパーナ稼動個数及び状態など

4. 給水装置の状態とは次のものをいう。

間 け つ 給 水—毎時送水回数など

連 続 給 水—ポンプの稼動台数, 回転数, 弁開度など

5. 通風装置の状態とは通風機の回転数, 調節弁の開度及びダンバ開度などをいう。

Table 9.8 Heat balance table

入	熱	k J / kg (m ³)	%
(1)	燃料の発熱量 $H_i (^{\circ})$		
(2) ^(*)	燃料の顕熱 Q_1		
(3) ^(*)	空気の顕熱 Q_2		
(4) ^(*)	炉内吹込蒸気の持込熱 Q_3		
	合計 $H_i (^{\circ}) + Q$		100

注^(*) (2),(3),(4)は共に外部熱源によるもの。

(*) 高発熱量基準の場合は H_h [H_h']とする。

出	熱	k J / kg (m ³)	%
有効 出 熱	(1) 発生蒸気の吸収した熱		
	(a) ボイラ本体で吸収された熱 Q_b		
	(b) 節炭器で吸収された熱 Q_{cc}		
	(c) 過熱器で吸収された熱 Q_{sh}		
	(2) 再熱器で吸収された熱 Q_{rh}		
	小 計 Q_e		
熱 損 失	(1) 排ガス(水蒸気を含む)の保有熱損失 $L_{11} (^{\circ})$		
	(2) 炉内吹込蒸気による熱損失 L_1		
	(3) 不完全燃焼ガスによる熱損失 L_2		
	(4) 燃えながら中の未燃分による熱損失 L_3		
	(5) 放散熱損失 L_4		
	(6) その他の熱損失 L_5		
	小 計 $L_t (^{\circ})$		
	合 計		100

注^(*) 高発熱量基準の場合は L_{11} [L_{11}']は L_{1h} [L_{1h}'], L_1 [L_1']は L_h [L_h']とする。

ボイラ効率	%
(1) 入出熱法 $\eta_1 = \frac{Q_e}{H_i + Q} \times 100,$	
(2) 熱損失法 $\eta_2 = \left(1 - \frac{L_t - L_5}{H_i + Q} \right) \times 100,$	

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 : $H_l = H_h - 25.12 (9h + w)$ kJ/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。(Fig 9-8 参照)。 t °C で測定した比重が d_t のとき, 15 °C の比重 d_{15} を求めるのは次式による。

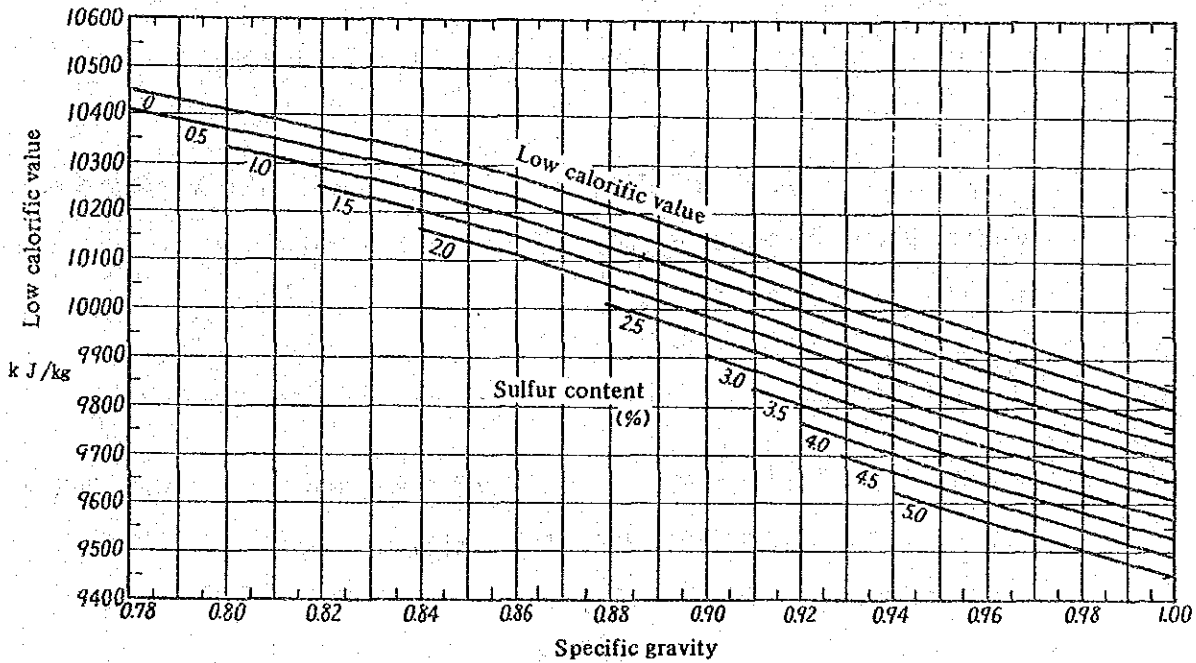


Figure 9.8 Relation between calorific value (Low) and specific gravity of petroleum fuel

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

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 : $H_l = 107.6 (H_2) + 126.4 (CO) + 357.9 (CH_4) + 598.6 (C_2H_4)$
 $+ 644.6 (C_2H_6) + 883.2 (C_3H_8) + 937.7 (C_3H_6) + 1138.6 (C_4H_{10})$
 $+ 1234.9 (C_4H_8)$ kJ/m³-Fuel

ここで (H₂) 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 Below	kcal/kg 10400
Light oil	0.82 ~ 0.86	1.2 以下	10300
Whole fuel oil			9850
A fuel oil	0.84 ~ 0.86	0.5 ~ 1.5	10200
B fuel oil	0.88 ~ 0.92	0.5 ~ 3.0	9900
C fuel oil	0.90 ~ 0.95	1.5 ~ 3.5 (Over)	9750

b. 燃料及び空気の比熱

石炭 1.05 kJ/(kg·°C)

重油 1.88 kJ/(kg·°C)

天然ガス 1.56~1.76 kJ/(kg·°C)

LPG 2.93~4.19 kJ/(m³·°C)

空気 1.30 kJ/(kg·°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 (A₀) 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、A₀ は次式で表わされる。

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

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 A₀ 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

$$A_0 = 0.241 \frac{H \ell + 2302}{1,000} m^3_N / \text{kg Fuel}$$

・重油の場合

$$A_0 = 2.957 \frac{H \ell - 4,605}{10,000} m^3_N / \text{kg Fuel}$$

・気体燃料の場合

$$A_0 = 2.676 \frac{H \ell}{10,000} m^3_N / \text{kg Fuel}$$

(炭化水素混合ガスのとき)

実際投入空気量(A)は、次式によって求める。

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

m : 空気比

z : 外気の絶対湿度 kg / kg乾燥空気

z の値は Fig 9-9 から求められる。

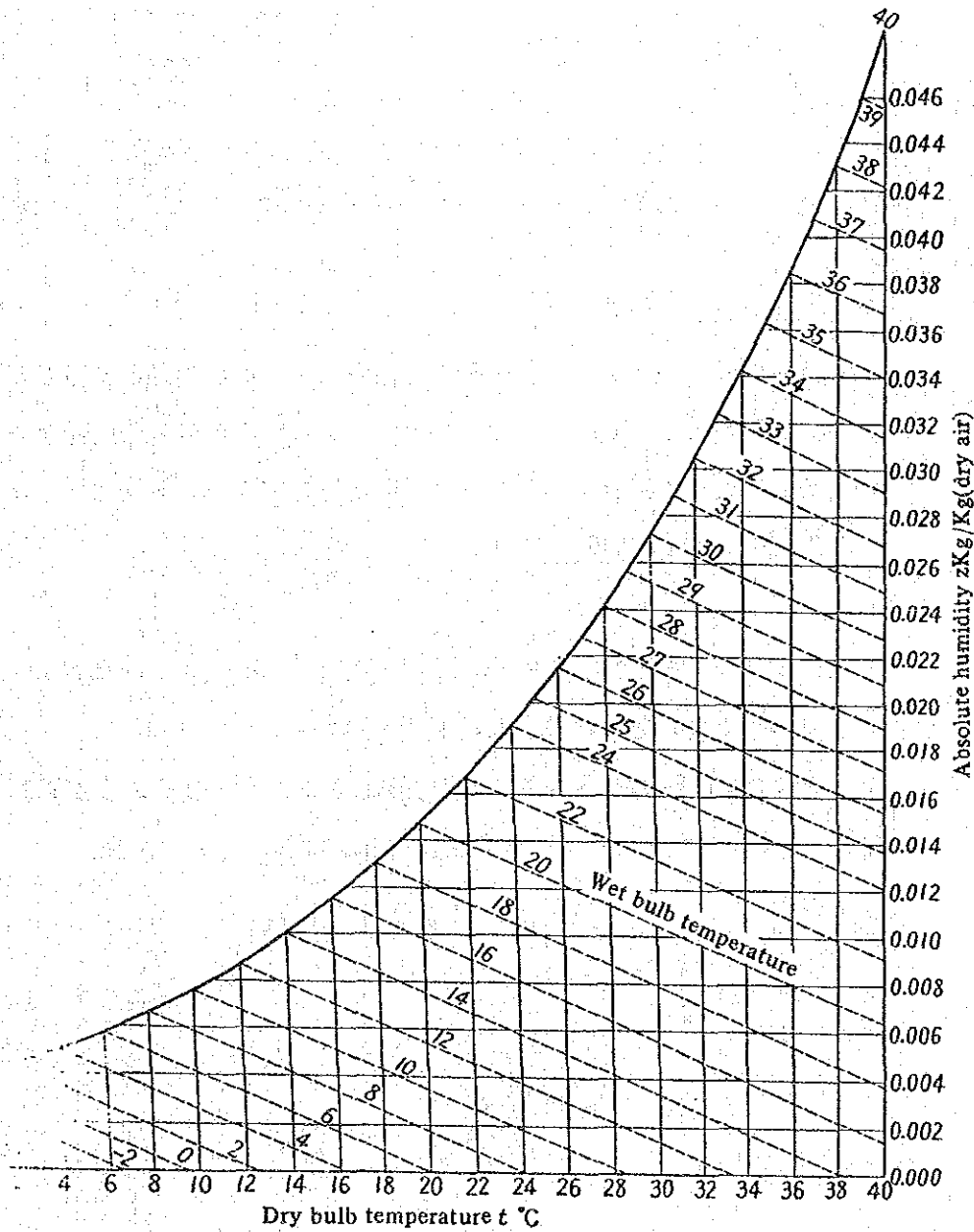


Figure 9.9 Absolute humidity of air

空気比は排ガス中の酸素濃度又は CO₂ 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。

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

(O₂) 排ガス中酸素濃度%

また燃料中の水素が少ない場合は

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

(CO₂) 排ガス中炭素ガス濃度%

(CO₂) max 理論乾き排ガス中の最高炭素ガス濃度

(CO₂) 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。蒸気のエントルピは 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 1.38 kJ/(m³ °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

$$G_1 = \frac{0.216H_Q}{1,000} + 1.67 m^3_N / \text{kg-Fuel}$$

・重油の場合

$$G_1 = \frac{3.762H_Q}{10,000} - 3.91 m^3_N / \text{kg-Fuel}$$

・気体燃料の場合

$$G_1 = \frac{2.926H_Q}{10,000} m^3_N / m^3_N\text{-Fuel}$$

(炭化水素混合ガスのとき)

実際排ガス量は次式のようになる。

$$G = G_1 + (m-1) A_0 + \text{空気中の湿分による水蒸気量}$$

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^3/kg)		Specific enthalpy (kJ/kg)			Specific entropy ($kJ/(kg \cdot K)$)	
t ($^{\circ}C$)	T (K)	P_s (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	7.7555
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	7.4165
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	0.0010606	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	0.1939	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	5.0660
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/cm²

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''	$r = h'' - h'$	s'	s''
0.001	6.9828	280.1328	0.0010001	129.20	29.34	2514.4	2485.0	0.1060	8.9767
0.002	17.513	290.563	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	209.30	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	0.0025714	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。

$$\text{熱損失} = 128 [G_0 + (m - 1) A_0] (CO) \text{ kJ/kg (m}^3\text{)}_N\text{-Fuel}$$

ただし (CO) は、乾き排ガス中の一酸化炭素含有量%、G₀ 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 $339c$ kJ/kg Fuel となる。

i. 放散熱による熱損失

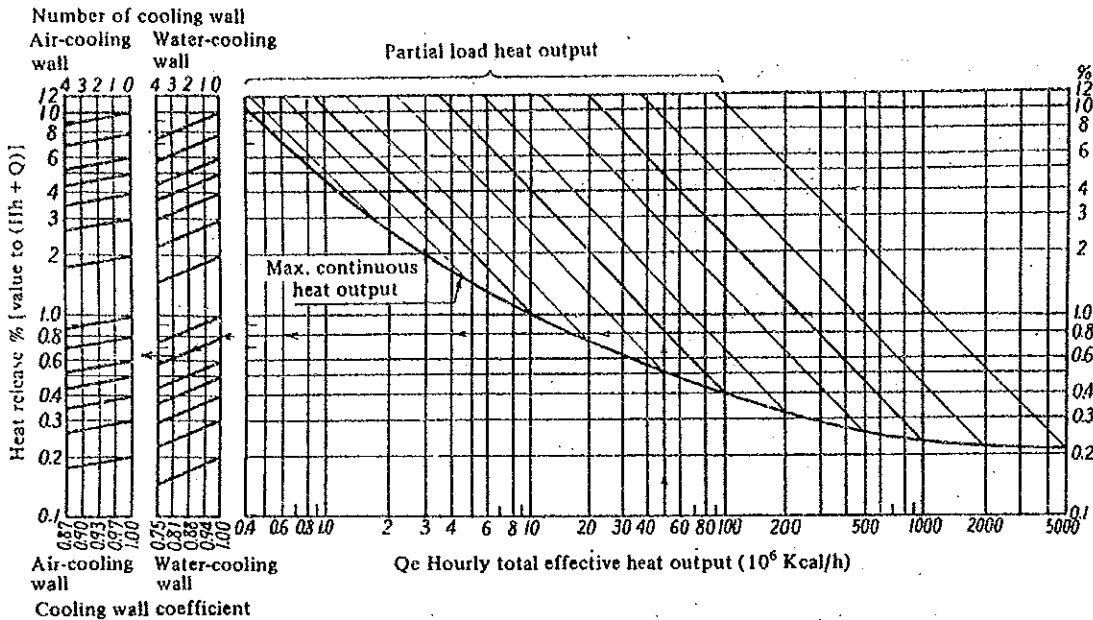
各部の放散熱を実測して求めてもよいが、日本工業規格では燃料発熱量に放散熱損失%を乗じて熱損失としている。

熱損失率の日安としては、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 Fig 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 Fig 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。



(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 100×10^6 Kcal/h, when the partial load is 5×10^6 Kcal/h and the number of water-cooling wall is 3, the heat loss rate results in 0.65%.

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

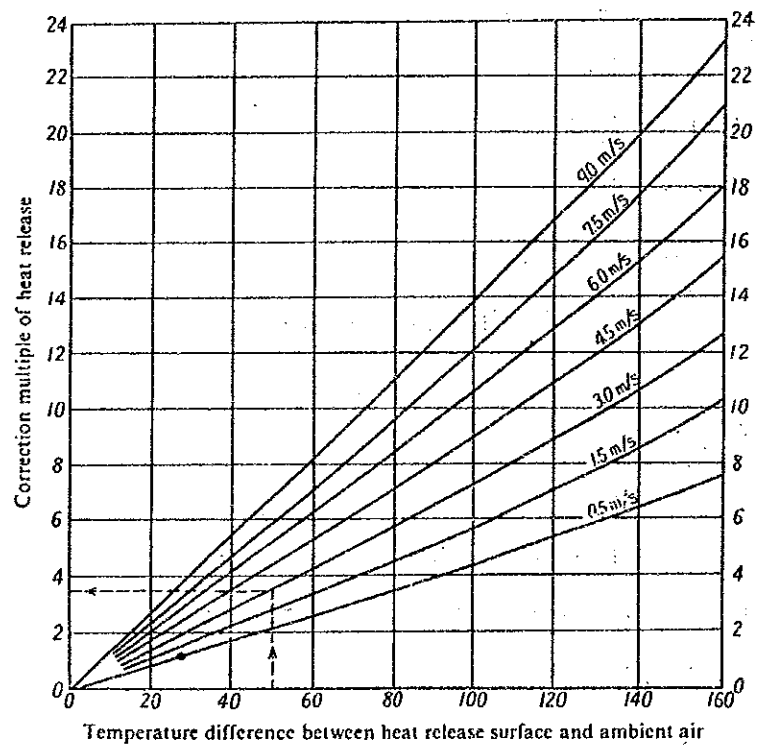


Figure 9.11 Correction multiple of temperature difference and air velocity to Figure 9.10

j. その他の熱損失
誤差項である。

9.1.5 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 / m²h），又は全入熱量を燃焼室容積で除した燃焼室熱発生率（kJ / m³h）で性能を示す場合もある。

9.1.6 設備段階での配慮

9.1.6.1 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T₁Kで熱を受け、低温熱源に温度T₂K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、T₁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（Fig 9 - 12 参照）、次のようないろいろな方式が考えられる。

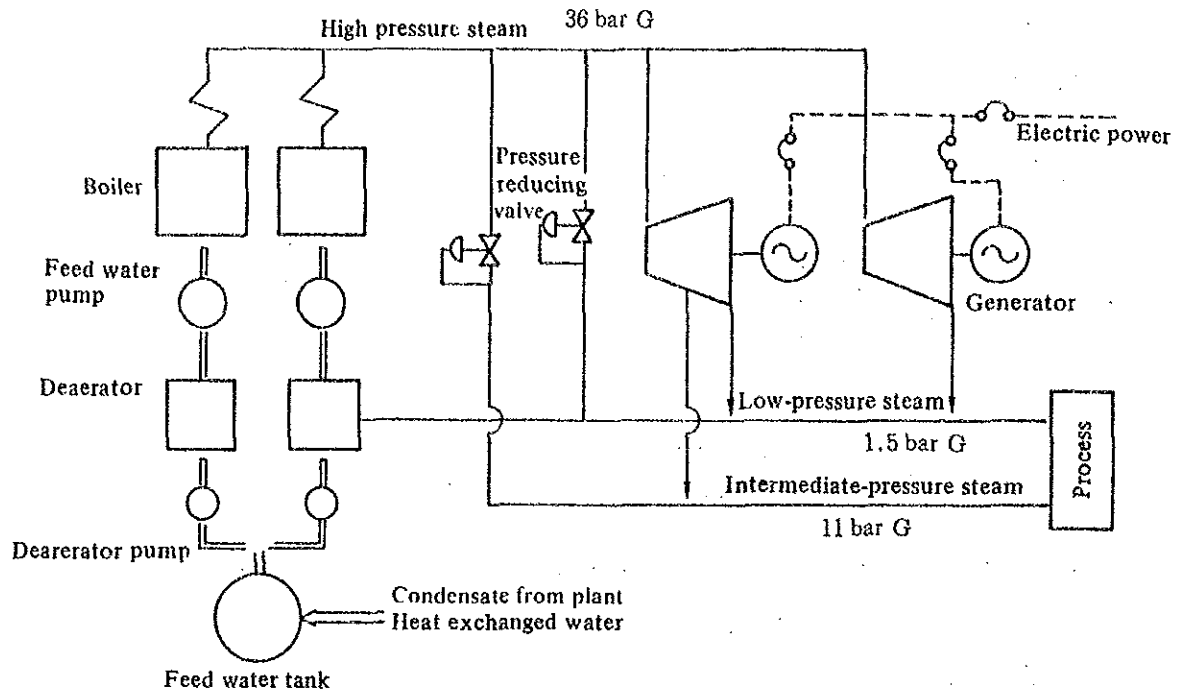


Figure 9.12 An example of cogeneration system

- (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わりに発電機を挿入する例が増えている。

9.1.6.2. 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 (Fig 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。

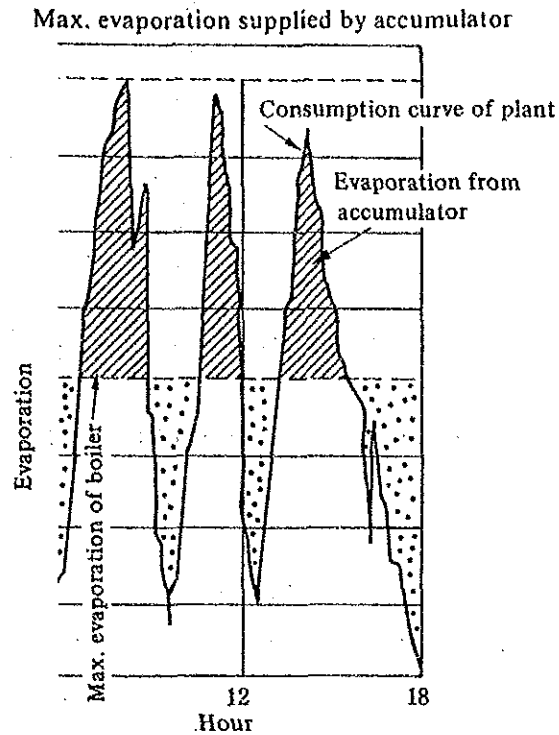


Figure 9.13 Effect of steam accumulator

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数設置し、負荷に応じて自動的に台数制御を行う方法である（Fig 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（Fig 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。

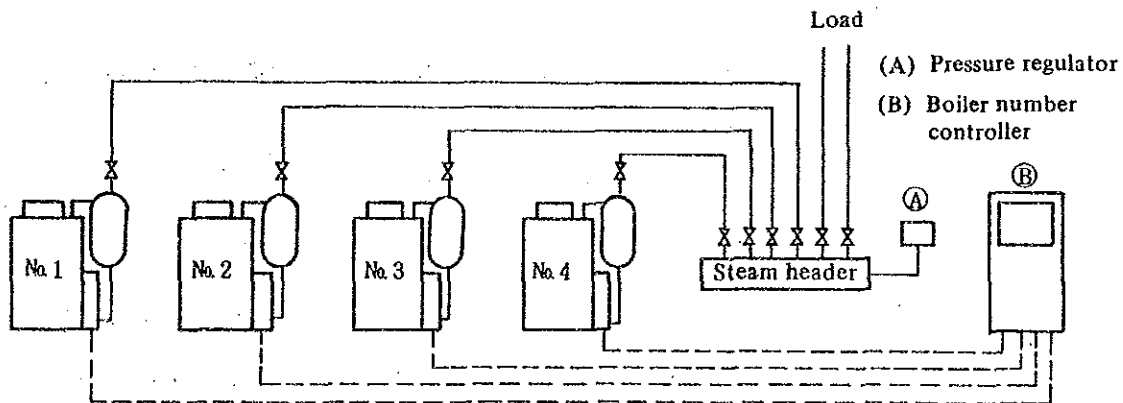


Figure 9.14 Operation number control

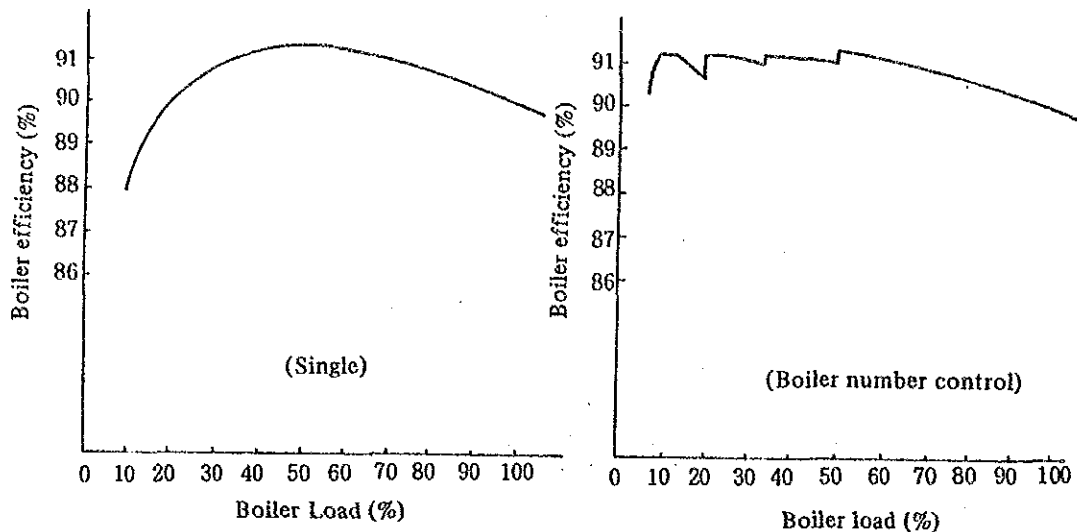


Figure 9.15 Boiler efficiency improvement by operation number control

9.1.6.3 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の回数が増えると、その際のページ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。

9.1.7 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、Fig 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。

9.1.7.1 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。(Fig 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。

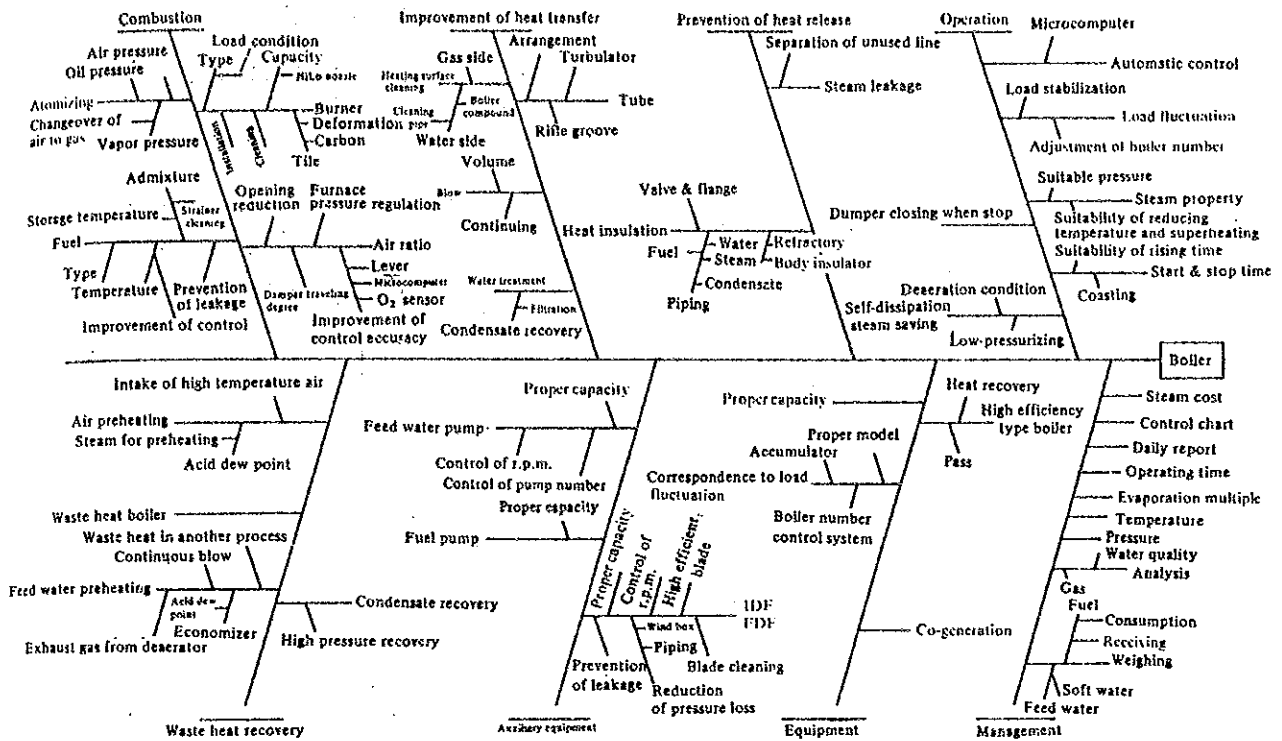


Figure 9.16 Energy conservation items of boiler

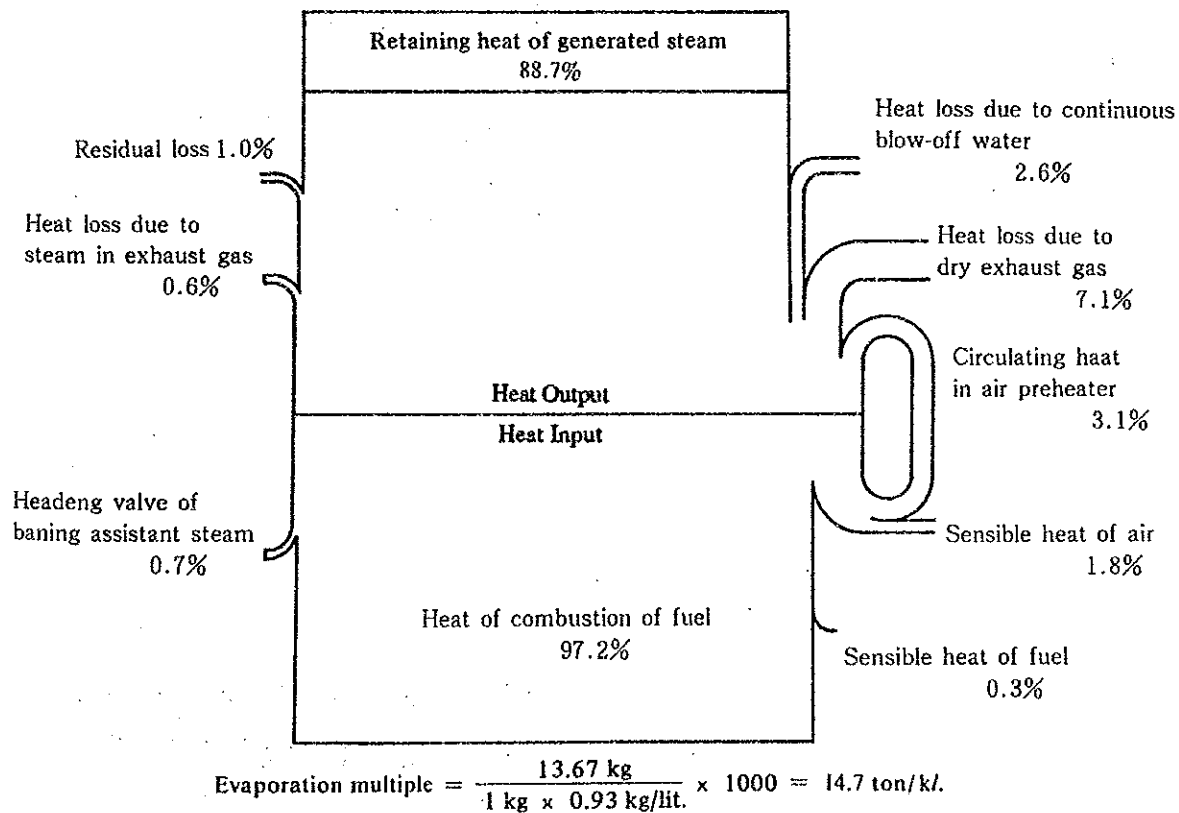


Figure 9.17 Example of 20 T/H boiler heat balance

(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

(Fig 9 - 18 参照)。

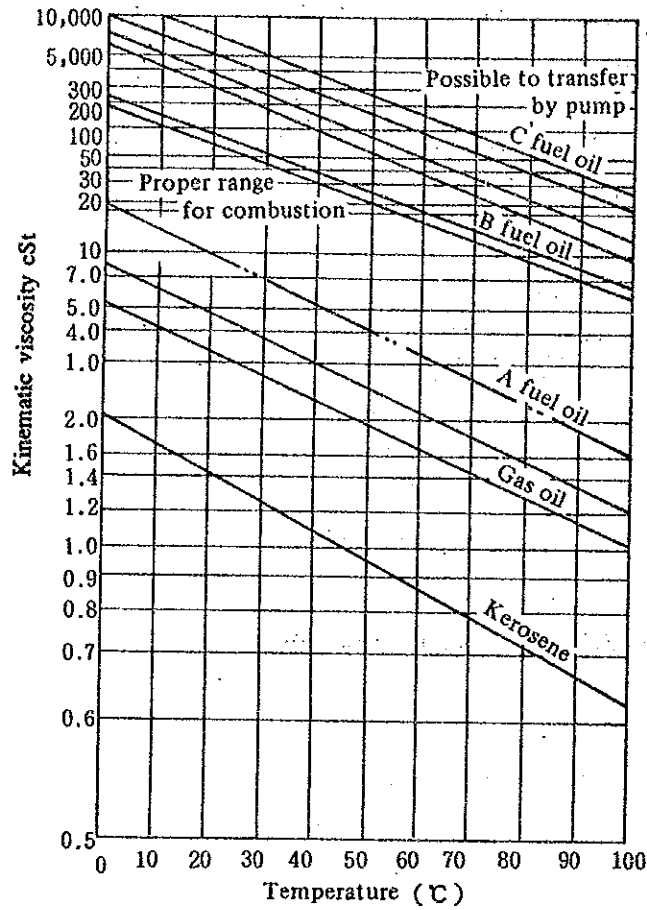


Figure 9.18 Viscosity of fuel oil

(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	l/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		mmH ₂ O (400~2,000)	mmH ₂ O (400~2,000)	3~10 bar	2~8 bar	--	--	1~3 bar
Atomizing medium amount	A Nm ³ /kg S kg/kg	2~3 m ³ /kg	1~3 m ³ /kg	A 0.2 m ³ /kg S 0.25 kg/kg	A 0.26 m ³ /kg S 0.33 kg/kg	--	--	
Atomizing medium		Air	Air	Air or steam	Air or steam			Air, rotation of cup
Combustion air pressure	mmH ₂ 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、スガ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発

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。

Fig 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。

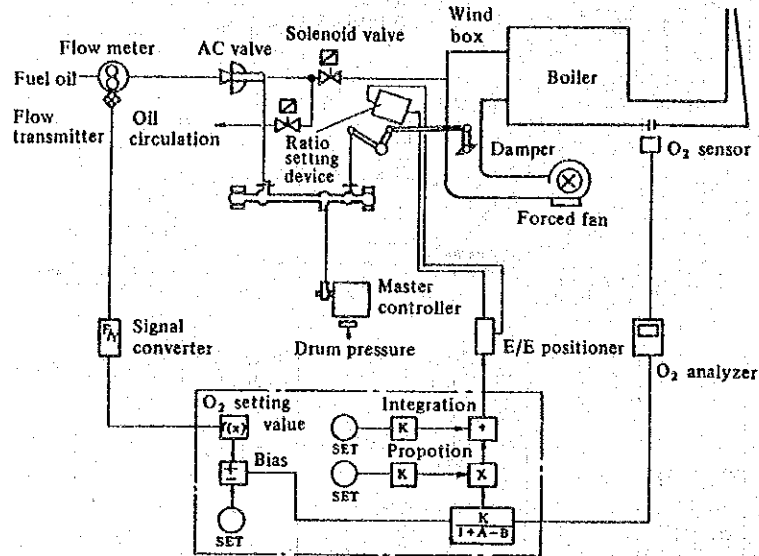


Figure 9.19 Boiler air ratio controller (1)

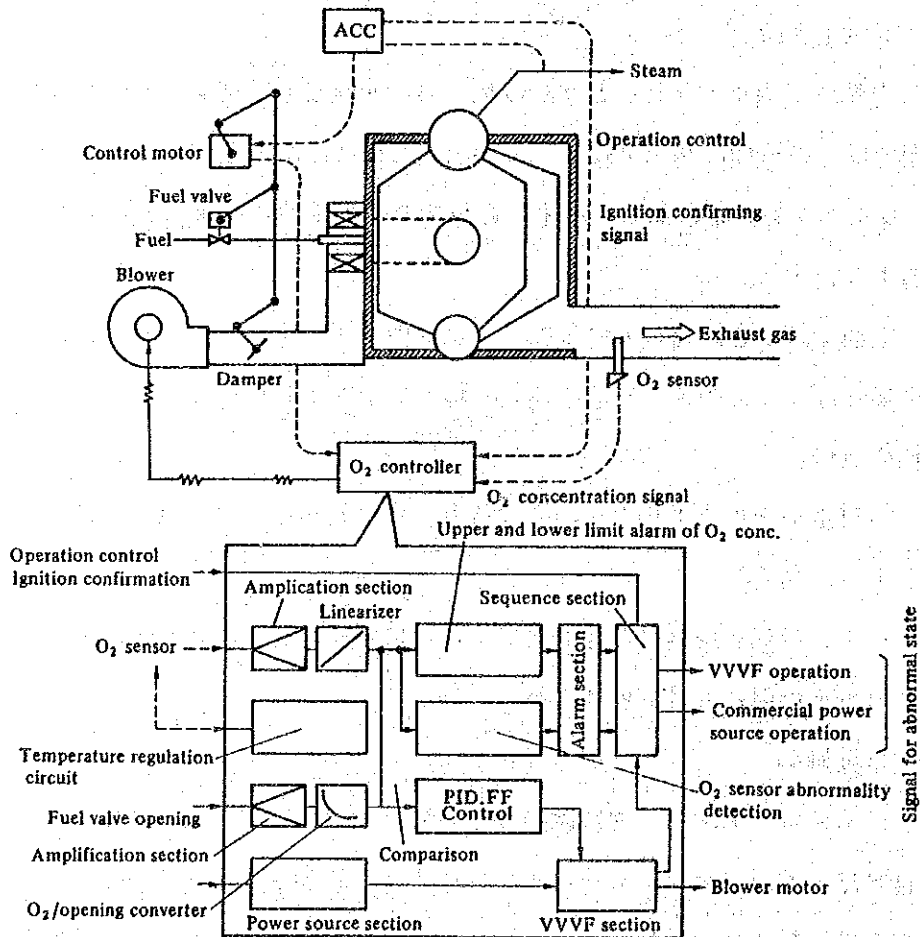


Figure 9.20 Boiler air ratio controller (2)

Fig 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 Fig 9 - 21 に示すように並列、又は直列カスケード制御を行う。

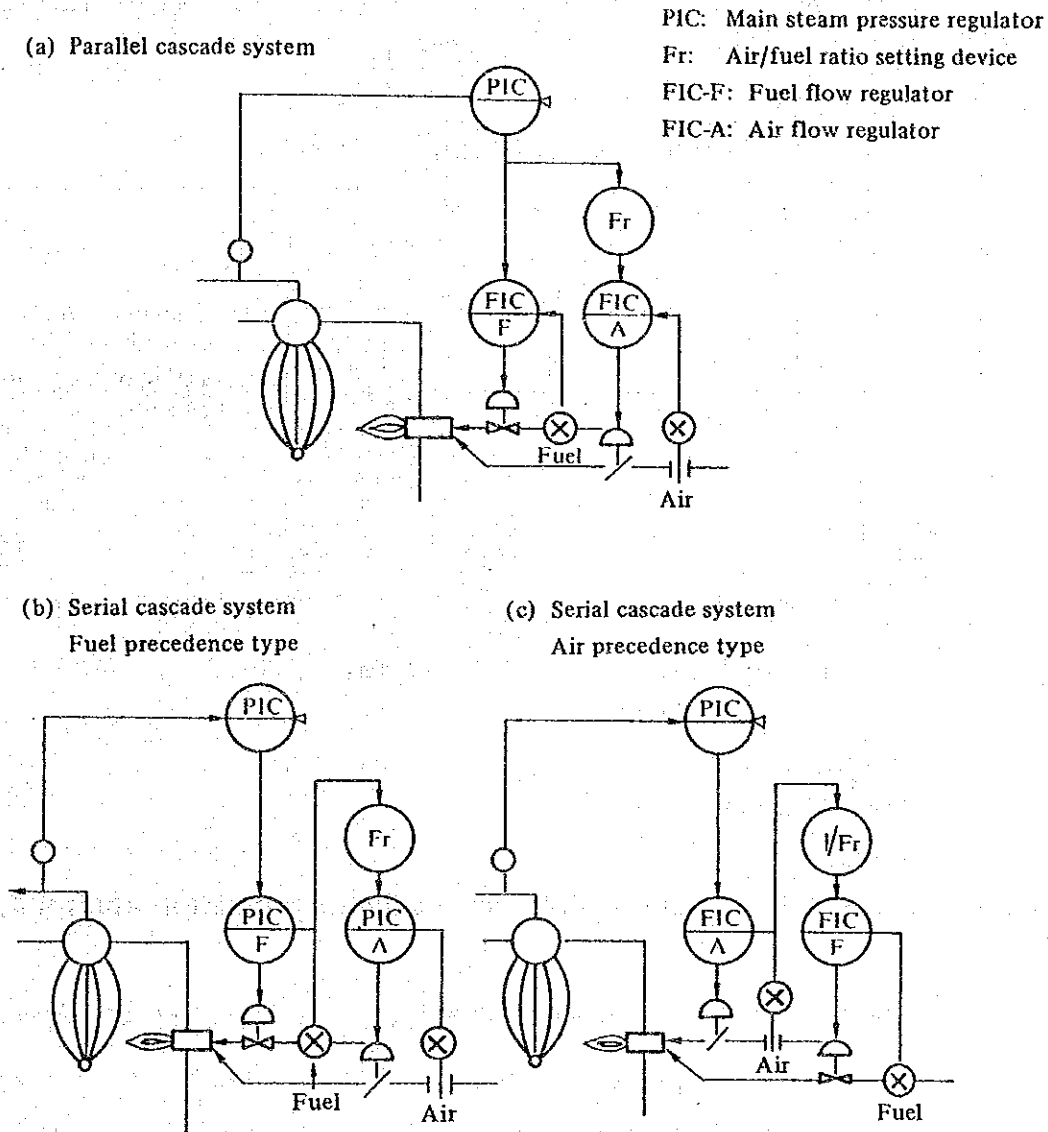


Figure 9.21 Basic combustion control system

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。

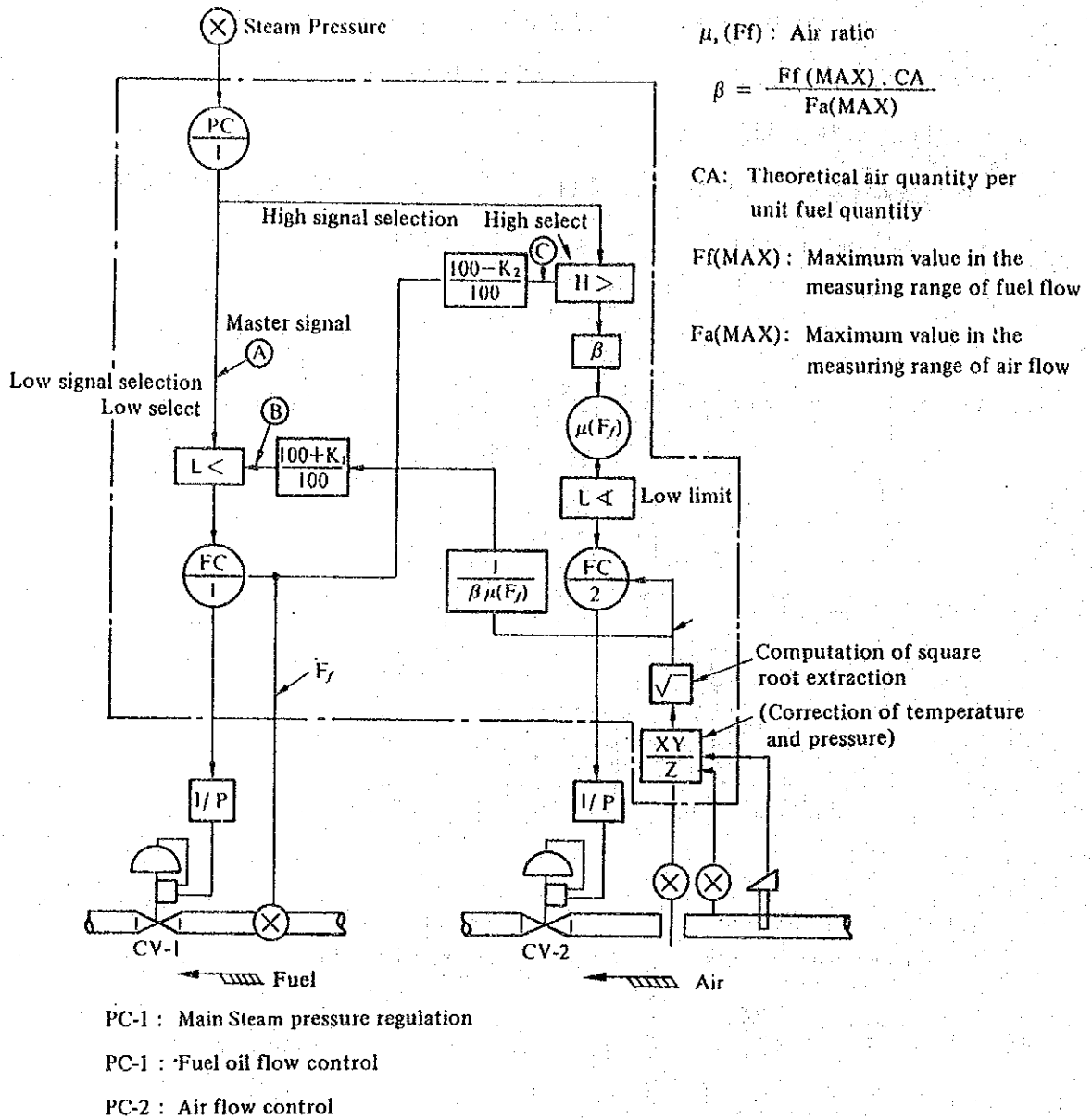


Figure 9.22 Block diagram of single cross limit combustion control system

Fig 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O₂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

Division	Load rate (%)	Standard air ratio			
		Solid fuel	Liquid fuel	Gas fuel	Blast furnace gas and other byproduced gas
For electric industry	75 ~ 100	1.2 ~ 1.3	1.05 ~ 1.1	1.05 ~ 1.1	1.2
Others	Evaporation: more than 30 t/h.	1.2 ~ 1.3	1.1 ~ 1.2	1.1 ~ 1.2	1.3
	Evaporation: 10 to 30 t/h	—	1.2 ~ 1.3	1.2 ~ 1.3	—
	Evaporation: Less than 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 $H_{10} \geq 20 \text{ MJ/kg}$ の微粉炭の場合としている。

9.1.7.2 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 (Fig 9-23 及び Fig 9-24 参照)。

Table 9.15 Thermal conductivity of scale and other substance

Scale and other substance	Thermal conductivity (kJ/mh°C)
Soot	0.25~0.4
Oily matter	0.4
Scale as main component of silicate	0.8~1.7
Scale as main component of carbonate	1.7~2.5
Scale as main component of sulfate	2.5~8.4
Mild steel	170~250

スケールによる障害を避けるためには、9.1.2.3 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ヵ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(9.1.7.7(3)参照)。

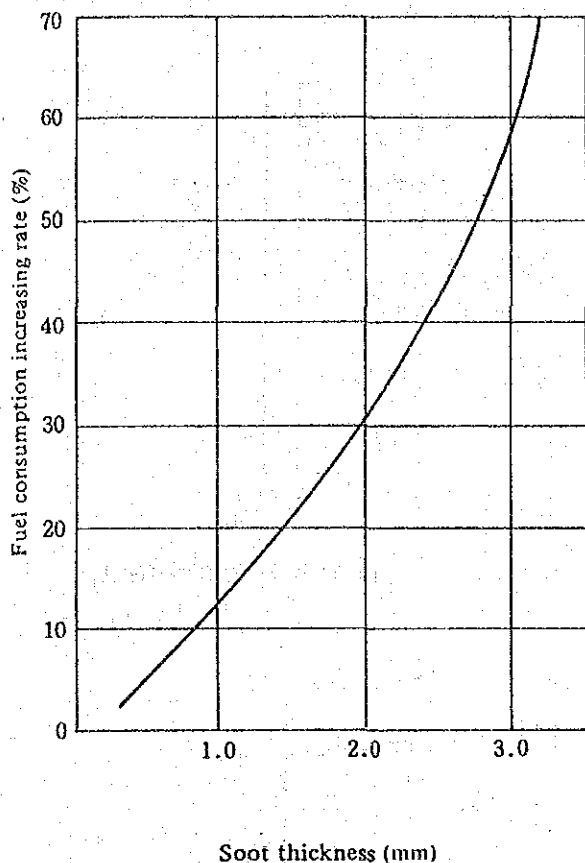


Figure 9.23 Example of fuel loss due to soot on heating surface

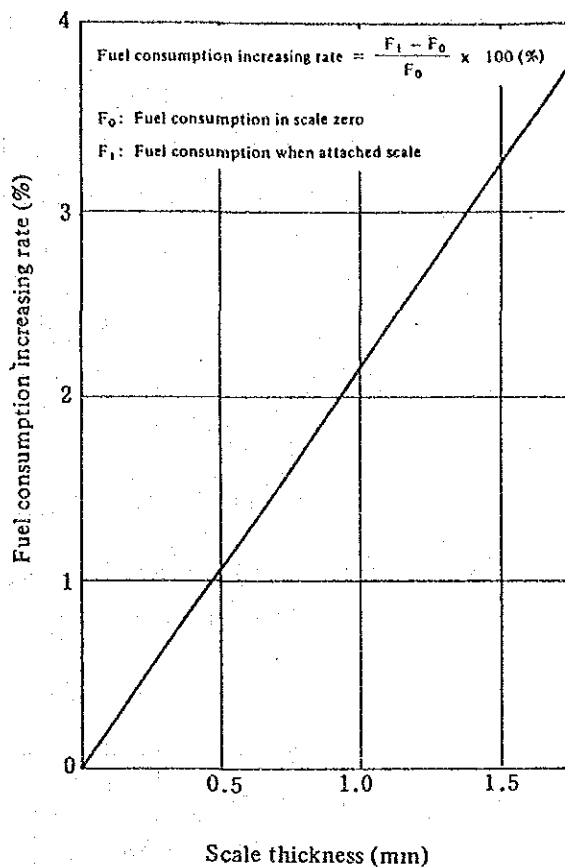


Figure 9.24 Example of relation between scale thickness and fuel loss

(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 SO_2 が生成し、その一部は 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 SO_3 と水とが反応して高濃度の硫酸 (H_2SO_4) を生成し、熱交換器やダクトを腐食する

ようになる。

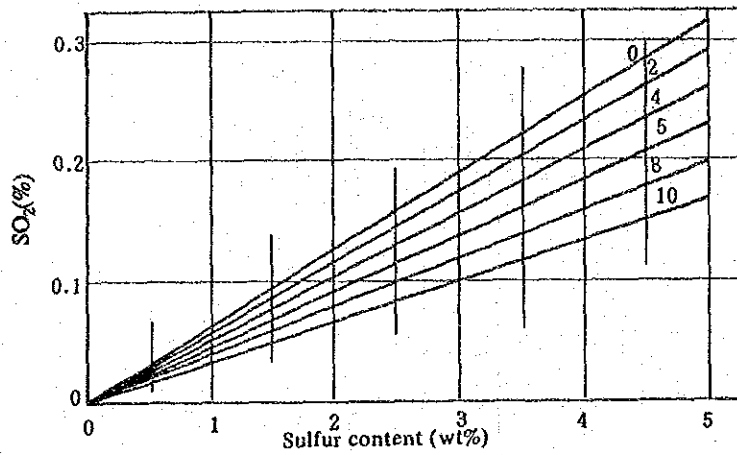


Figure 9.25 Relation between sulfur content in fuel and SO_2 content in fuel gas

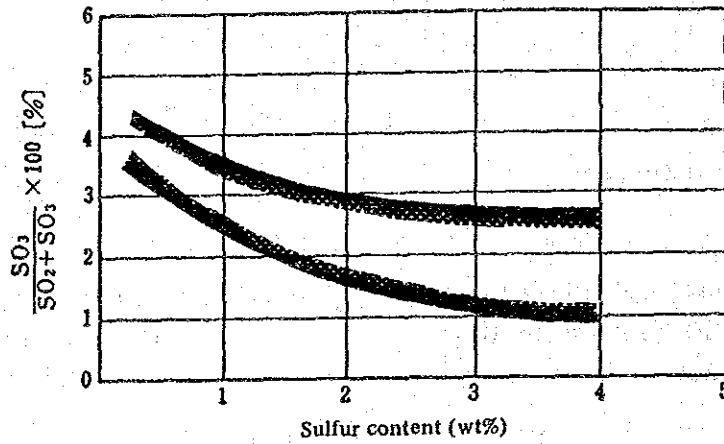


Figure 9.26 Relation between sulfur content in fuel and conversion ratio from SO_2 to SO_3

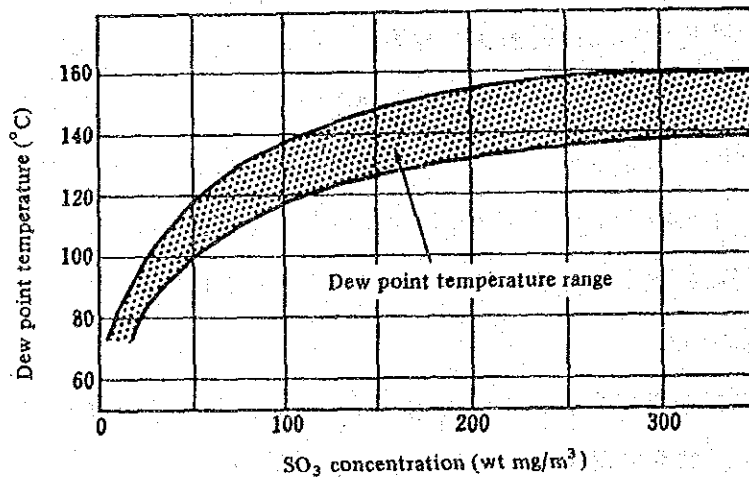


Figure 9.27 Relation between SO_3 concentration in exhaust gas and dew point temperature

Fig 9 - 25 に燃料中硫黄含有量と排ガス中SO₂% の関係を, Fig 9 - 26に, このSO₂からSO₃へ転化する割合を, Fig 9 - 27 にSO₃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 Fig 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 kJ/kgFuel

P : 予熱空気の持ち込む熱量 kJ/kgFuel

F : 燃料の発熱量 kJ/kgFuel

H : 有効熱および固定的に必要な熱量 = F - Q kJ/kgFuel

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 Fig 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。

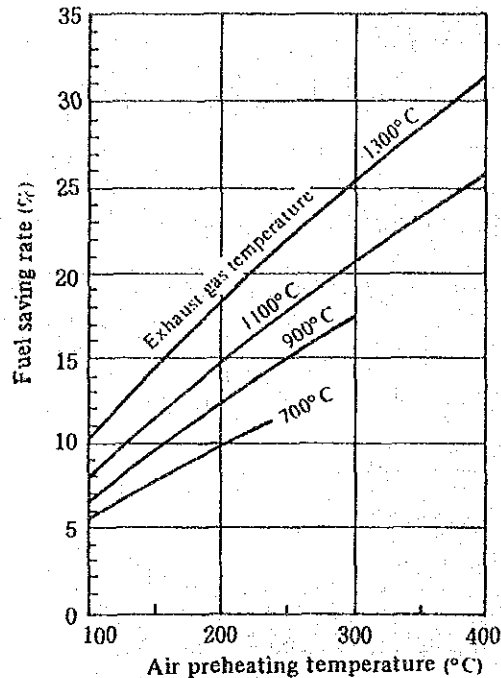


Figure 9.28 Fuel saving rate due to air preheating

一方、空気予熱を行う場合は火炎温度の上昇によるNO_x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、コンデンセート回収、連続フローからの熱回収、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

ボイラの熱効率は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

Division		Standard exhaust gas temperature (°C)			
		Solid fuel	Liquid fuel	Gas fuel	Blast furnace gas and other byproduced gas
For electric industry		145	145	110	200
Others	Evaporation; More than 30 t/h	200	200	170	200
	Evaporation: 10 to 30 t/h	—	200	170	—
	Evaporation: Less than 10 t/h	—	320	300	—

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。

9.1.7.3 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）

9.1.7.4 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。

9.1.7.5 運転

蒸気消費が昼間の場合、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。

9.1.7.6 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てる。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。

Table 9.17 Daily report of boiler operation

昭和 年 月 日 () 天候		気温内 外 °C		操 業 長 教 師 主任 早 出 日 勤 夜 勤													
時間	圧力 bar	給水 °C	給水量 メータより	給水量 使用量	燃油量 メータより	重油温度 ヒータ	油圧 一次 bar	二次 bar	排ガス °C	排ガス % CO ₂	炉内圧 mmA _g	炉静圧 mmA _g	出口 静圧 mmA _g	項目	結果 良 否	点検者	備考
日常点検																	
異常点検																	
集計																	
毎時間測定事項 (時間は下欄より上に向かって記入)																	
前日のよみ	前日のよみ	前日のよみ	前日のよみ	(A)	(B)												
吹出時刻	吹出時刻	吹出時刻	吹出時刻	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ	前日(再生)メータ
吹出量	吹出量	吹出量	吹出量	本日メータ	本日メータ	本日メータ	本日メータ	本日メータ	本日メータ	本日メータ	本日メータ	本日メータ	本日メータ	本日メータ	本日メータ	本日メータ	本日メータ
圧力	圧力	圧力	圧力	軟水	軟水	軟水	軟水	軟水	軟水	軟水	軟水	軟水	軟水	軟水	軟水	軟水	軟水
電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧	電圧
電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流	電流
温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度	温度
流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量	流量
重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量
時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間
その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他	その他
ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出	ボイラ水吹出
溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解	溶解
調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意	注意

9.1.7.7 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 O₂% 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 O₂ 分析計の採用

を行い、O₂ を 1.0% まで低下せしめた。

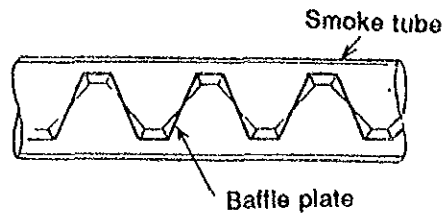
また、押し込み通風機のダンパの開度が 10～20% と低いため、インバータによる回転数制御を実施した。

以上の結果、重油 37.5 kl/年減、電力 145 × 10³ 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。

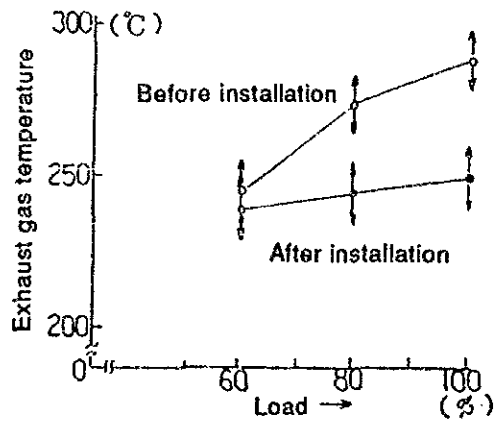
(3) 煙管の伝熱改善 (Fig 9-29 参照)

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（タブレター）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。



(a) Load - exhaust gas temperature



(b) Load - efficiency

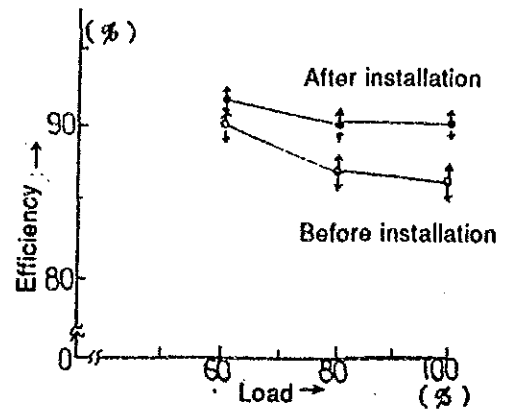


Figure 9.29 Turbulator Insertion effect

10. スチーム取扱の省エネルギー

10. スチームの利用

10.1. スチームの利用

スチームが工場・ビル等で、エネルギー源として広く使用されるのは、物理的にも化学的にも優れた性質を持っているからである。このスチームの持つ特性をよく理解して、有効に利用することが、効果的な省エネルギーにつながる。

スチームの一般的な特性を列挙すると、次のとおりである。

- (1) 飽和スチームは、その圧力と温度とが常に一定の関係にあり、スチーム圧力を一定に保つことにより、温度を一定に設定できる (Figure 10-1 参照)。
- (2) スチームは大きな蒸発潜熱を持ち、その蒸発中 (凝縮中) は温度が一定に保たれる。

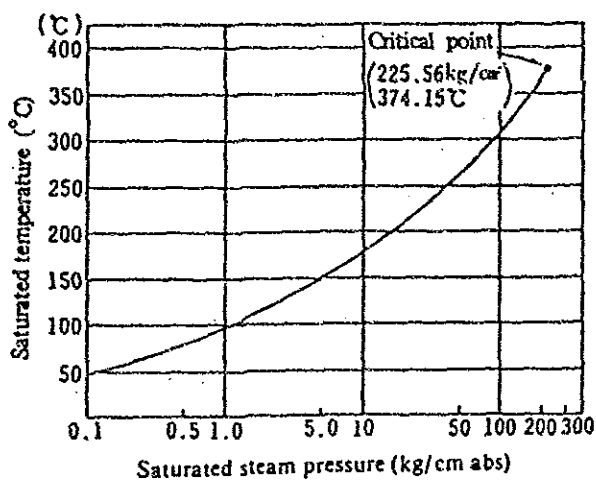


Figure 10.1 Relation between the saturated steam pressure and the saturated temperature

- (3) スチームの蒸発潜熱は低圧スチームになればなるほど大きく、圧力の上昇に伴い減少する (Figure 10-2 参照)。
- (4) スチームの凝縮伝熱における熱伝達係数は非常に大きく、伝熱媒体として特に優れている。
- (5) スチームは凝縮後の容積変化率が大きく、凝縮したコンデンセートの比容積は非常に小さくなり、取り扱いが容易である。
- (6) 化学的に安定で無害な物質である。

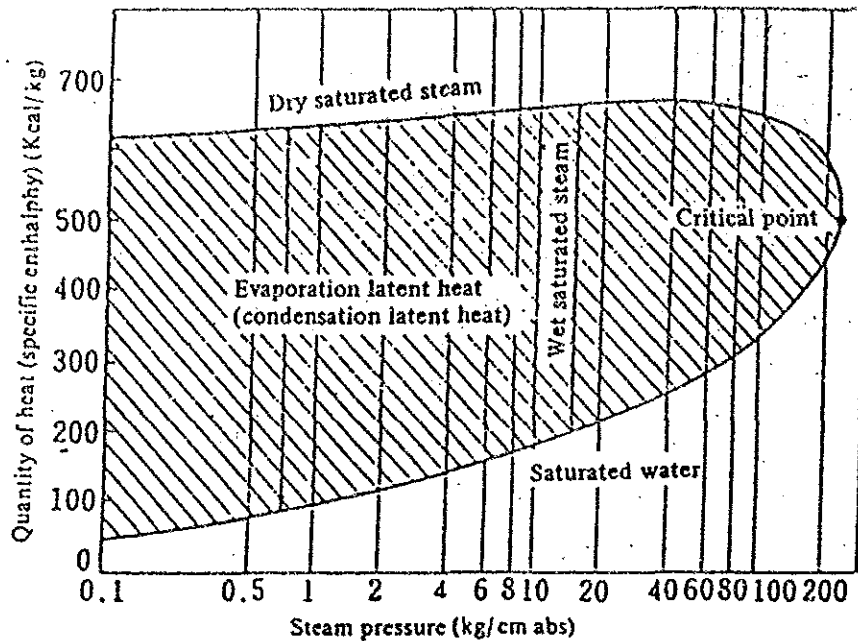


Figure 10.2 Relation between the saturated steam pressure and the quantity of heat

10.2. スチーム設定圧力の適正化

(1) ボイラスチーム圧力の適正化

スチームを間接加熱用として使用する場合、スチームの特性で述べたとおり、スチーム圧力が低いほどスチームが凝縮するとき放出する熱量（凝縮潜熱）が大きいため、スチーム圧力を下げれば燃料の節約となる。

しかし、既設ボイラのスチーム圧力を下げる場合には、ボイラの最低運転圧力による制限、スチーム配管の圧力損失、スチーム使用装置の能力などを考慮して、適正圧力を設定することが重要である。

ボイラスチーム圧力の見直しにより、どの位の燃料が節約できるか1例を示す。

Table 10.1 Difference of steam effective heat by pressure

Steam pressure (bar G)	Saturation temperature (°C)	Specific enthalpy of steam (kJ/kg)	Condensation latent heat (kJ/kg)
7	170	2768	2047
5	159	2756	2085

スチーム圧力を7 bar (G)から5 bar (G)まで下げることができたとすると、Table 10-1 から凝縮潜熱が約 38 kJ/kg 上昇する。いま、月平均のスチーム使用量を5,400t とすると、スチーム圧力を下げることによりスチーム使用量は、

$$5,400 \times \frac{2047}{2085} \approx 5,300 \text{ t / 月}$$

となる。燃料の発熱量を 40MJ/kg, 給水温度を 20 °C, ボイラ効率を 85 % とすると、スチーム圧力を下げることによる燃料の節約量は、次のようになる。

$$\frac{5,400 \times 10^3 \times (2768 - 84)}{40,000 \times 0.85} - \frac{5,300 \times 10^3 \times (2756 - 84)}{40,000 \times 0.85} = 9,760 \text{ kg / 月}$$

また、スチーム圧力を下げることによってボイラ本体からの放散熱量の減少、ブローによる損失熱の減少による省エネルギー上のメリットもある。

(2) スチームの減圧効果

ボイラの最低運転圧力による制限がある場合や、又はスチーム使用設備側で一部高圧スチームを必要とする場合には、低圧スチーム使用設備の直前で、高圧スチームを減圧弁により低圧スチームにすることが多い。

減圧弁によるスチームの減圧は、絞り膨張の一種であるから、絞りによってスチームのエンタルピーの変化はない。従って、高圧スチームを減圧弁で減圧すると乾き度が上昇し、単位重量当たりのエネルギー、つまり、潜熱が増加して有効利用できる熱量が増加し、結果的にスチーム使用量が節減できる。

減圧することにより、どの位熱量が増加するかの1例を示すと次のようになる。

スチーム圧力 9 bar (G) 乾き度 0.95 のスチームを 2 bar (G) に減圧すると、減圧前の飽和スチームの潜熱量は、

$$2,014 \times 0.95 = 1,913 \text{ kJ/kg}$$

であり、湿りスチームのエンタルピーは、

$$763 + 1,913 = 2,676 \text{ kJ/kg}$$

となる。減圧後の潜熱量は、

$$2,676 - 561 = 2,115 \text{ kJ/kg}$$

となる。従って、減圧することにより、熱量は、

$$2,115 - 1,913 = 202 \text{ kJ/kg}$$

増加する。つまり減圧により $(202/1,913) \times 100 = 10.6\%$ だけ余分に熱量が利用できる。また、減圧後の乾き度 (x) は、

$$2,676 = 561 + x \times 2,163$$

$$x = 0.98$$

となる。

10.3 スチーム輸送

ボイラから消費設備までのスチーム配管は、事情の許すかぎり最短距離、最小管径、最小熱損失でかつ最小圧力降下になるような条件を満足させる必要がある。

(1) 配管計画

消費設備でのスチーム使用条件に関し、次の事項を明確にしておく。

- a. 使用時刻と使用時間
- b. バッチ使用か、連続使用か。
- c. 使用圧力と量（平均量、ピーク使用量）。

次に、配管の構想図を描き、ヤード配管とプラント配管の関係を明確にする。

ヤード配管系統図の例を Fig 10-3 に示す。例1、例2のいずれにするかは工場の広さ、ヤード配管の長さ、管径、増設の時期、各プラントの稼働方法、設備費、熱損失を勘案して決めるとよい。同時に、昼間、夜間専用配管、高圧、低圧系の分離についても検討の必要がある。

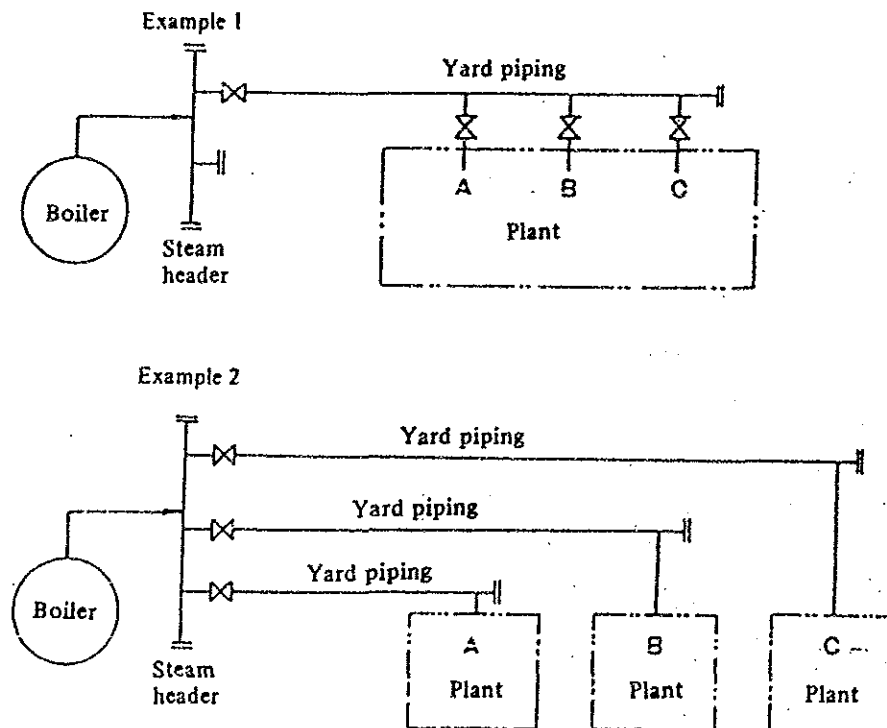


Figure 10.3 Yard piping system diagram

ヤード配管からプラント内に配管を取り出す場合は、Figure 10-4 に示すように必ず元弁を付け、増設時の影響を少なくしたり、休止時は元弁を閉めスチームロスを防ぐ。圧力計、流量計は管理上必須のものであり、必ず設置する。またヘッダの端末は、将来のことを考え、盲フランジにすることも一つの方法である。

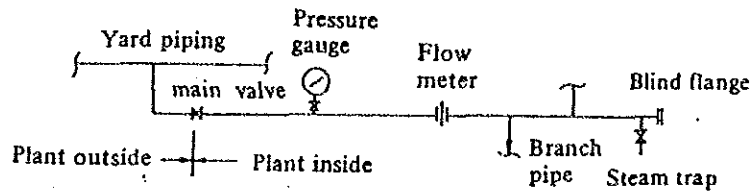


Figure 10.4 Plant battery limit schematic flow diagram

(2) スチーム配管の保温

スチーム輸送において、管からの熱放散により一部のスチームがスチーム使用装置での消費に寄与することなく、コンデンセートとして排出され、大きなエネルギー損失を生ずる。従って、スチーム配管には適切な保温を行い、放熱損失の低減を図る必要がある。

A) 保温材の種類と選定

a. 保温材に要求される性質

保温材は有機質、無機質等に大別される。有機質、無機質の保温材は材質自体の持つスポンジ構造によって空隙中に空気泡を含むので、保温効果を発揮する。

また、保温材の熱伝導率は、

- ① 一般に保温材の密度と共に増加する。
- ② 水分を吸収すると増加する。
- ③ 温度の上昇と共に増加する。

b. 保温材の種類

スチーム配管に用いられる保温材は、多くは無機質である。Table 10-2 に無機質保温材の種類と特徴を示す。

c. 保温材の選択

蒸気配管システムの保温材としては、最近では珪酸カルシウム、パーライト、ロックウール等の保温材が広く使用されているが、その選定に際しての重要な特性は、以下の点である。

- ① 熱伝導率が小さいこと。

Table 10.2 Heat Insulator type and Its feature

Heat Insulator	Raw material and manufacturing process	Product	Property	Safety service temp.
Rock wool insulator	<ul style="list-style-type: none"> Andesite, basalt, igneous rock, serpentinite, peridotite, chrolite-schist, slag of nickel ore and manganese ore and limestone Compound the above materials in a proper ratio, melt in a temperature of 1,500 ~ 1,600°C and form it to a thin fiber shape by blowing of compressed air/steam. <p>SiO₂ : 40~50% Al₂O₃ : 10~20% CaO : 20~30% MgO : 3~7% Fe₂O₃ : 2~5%</p>	<ul style="list-style-type: none"> Attacked by weak acid but not weathered. Various shape products such as plate, cylinder, band and bracket. Blanket is formed by set metal on both sides of the stratified rock wool and sew up with a wire. Good acoustic absorption effect. 	<p>Density: < 0.3 g/cm³ Thermal conductivity (70°C): < 0.05 W/m.k</p>	600°C or less
Glass wool insulator	<ul style="list-style-type: none"> Manufactured by the similar manner to the rock wool. 	<ul style="list-style-type: none"> Plate, cylinder, bracket and band 	<p>Density: < 0.1 g/cm³ Thermal conductivity (70°C): < 0.05 W/m.k</p>	400°C or less
Calcium silicate insulator	<ul style="list-style-type: none"> Add asbestos fiber into silicate power (mainly diatom earth) and slaked lime to reinforce, allow it to swell enough and mold in a metal mold to allow produce calcium silicate by steaming. 	<ul style="list-style-type: none"> Put on the market for a high temperature from 1952 and standardized in JIS in 1955. Low price, good workability and durability. Typical insulator used not only piping but a general machine. 	<p>Density: less 0.22 g/cm³ Thermal conductivity (70°C): < 0.06 W/m.k</p>	1000°C or less
Perlite insulator	<ul style="list-style-type: none"> Calcinate ignition rock such as perlite or obsidian at 800 ~ 1,200°C in kiln. White or gray white color fine particle and very light particle having fine bubble. Not change in quality and not fade in the color. Not absorb moisture in atmosphere. 	<ul style="list-style-type: none"> Less 1 mm for moulding insulator Blend asbestos fiber and inorganic adhesive, mold by press and dry. Classified to 1st class and 2nd class. One of many excellent insulators. 	<p>Density: less 0.2 g/cm³ Thermal conductivity: < 0.07 W/m.k</p>	900°C or less
Basic magnesium carbonate insulator (magnesium carbonate insulator)	<ul style="list-style-type: none"> The conventional basic magnesium carbonate insulator has been compounded with basic magnesium carbonate of 85% and asbestos of 15%. The thermal conductivity is influenced by this ratio. The present insulator is blended with asbestos of 8% or more. 	<ul style="list-style-type: none"> Classified to magnesium carbonate water kneading insulator, plate and cylinder. Convert to magnesium oxide by heating in a temperature of 300°C or more and shrink extremely Almost same properties as those of calcium silicate except for heat resistance. As present not used too much. 	<p>Density: less 0.3 g/cm³ Thermal conductivity: < 0.07 W/m.k</p>	250°C or less

- ② 比重量が小さいこと。
- ③ 吸水性が小さいこと。
- ④ 強度が大きく、耐久性があること。
- ⑤ 使用温度に十分耐えること（安全使用温度以下で使用する）。
- ⑥ 施工性が良いこと。

B) 保温施工

優れた保温材を使用しても、施工が完全でないと雨水の浸入により保温材が劣化するほか、放熱によるエネルギーの損失が無視できないので、施工に当たっては十分な注意が必要である。

保温材を通しての熱の放散量、経済的な保温厚みについては12章を参照すること。

a. 施工方法

- ① 極力成型品を使用する。
- ② 配管の熱膨張と保温材の収縮を考慮する。

配管の熱膨張と保温材の収縮のため、保温筒間に隙間を生ずるので、2層以上の場合（所定の厚さが75 mm以上の場合は、なるべく2層に分けて施工する）は、各層の縦横の継目を同一箇所にならないように、ずらして取り付けるか、又は継目に繊維を圧縮して詰め込む (Figure 10-5)。

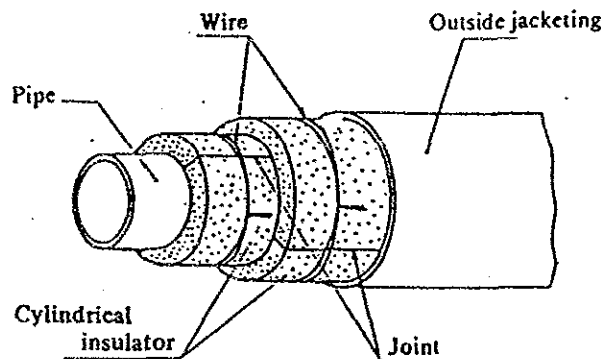


Figure 10.5 Case of cylindrical insulator

- ③ バルブ、フランジ、管の吊手も必ず保温する。

バルブ、フランジ部は保守点検のため、また施工の複雑さから保温されていない場合が多いが、これらも保温する必要がある。 Figure 10-6 にバルブの保温、 Figure 10-7 にフランジ部の保温、 Figure 10-8 に吊手の保温施工を示す。

- ④ 振動に対する考慮

振動する機械に付属する配管の保温には、耐振動性の保温材を選定する。織