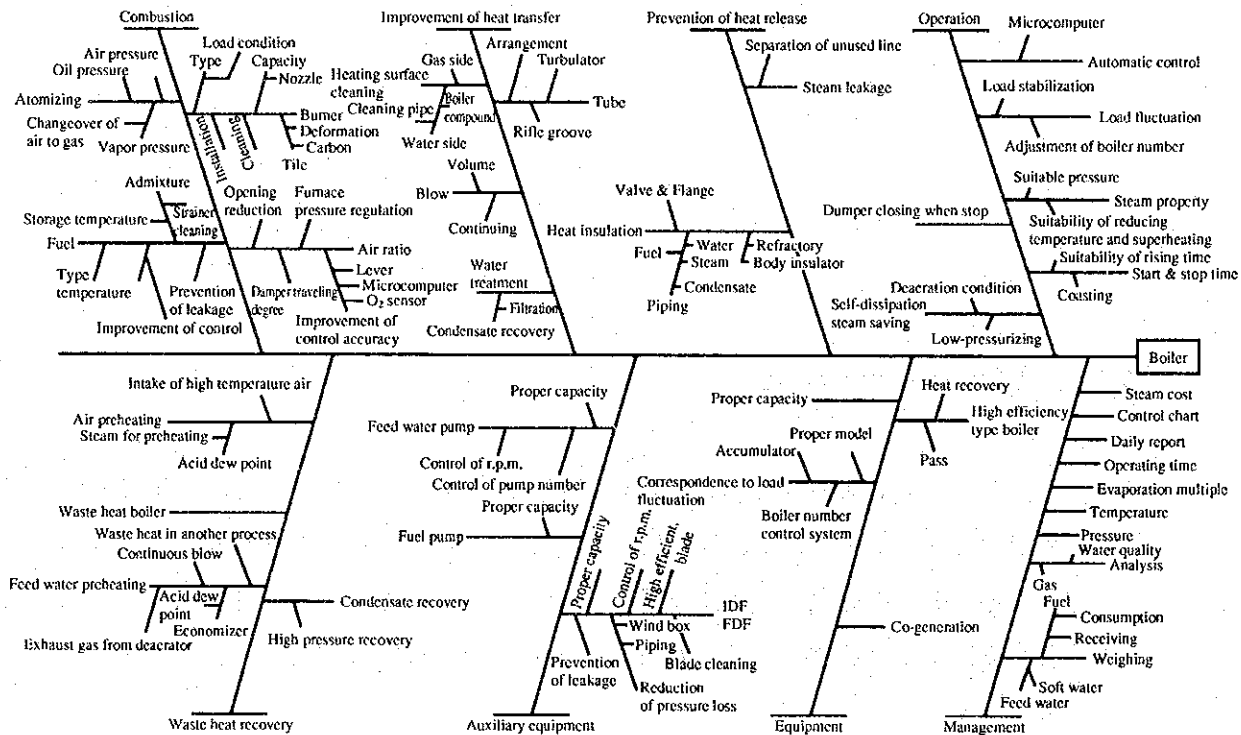


11.7 ボイラの省エネルギー対策

ボイラの省エネルギー項目は Figure 11.16 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。

Figure 11.16 Energy Conservation Items of Boiler



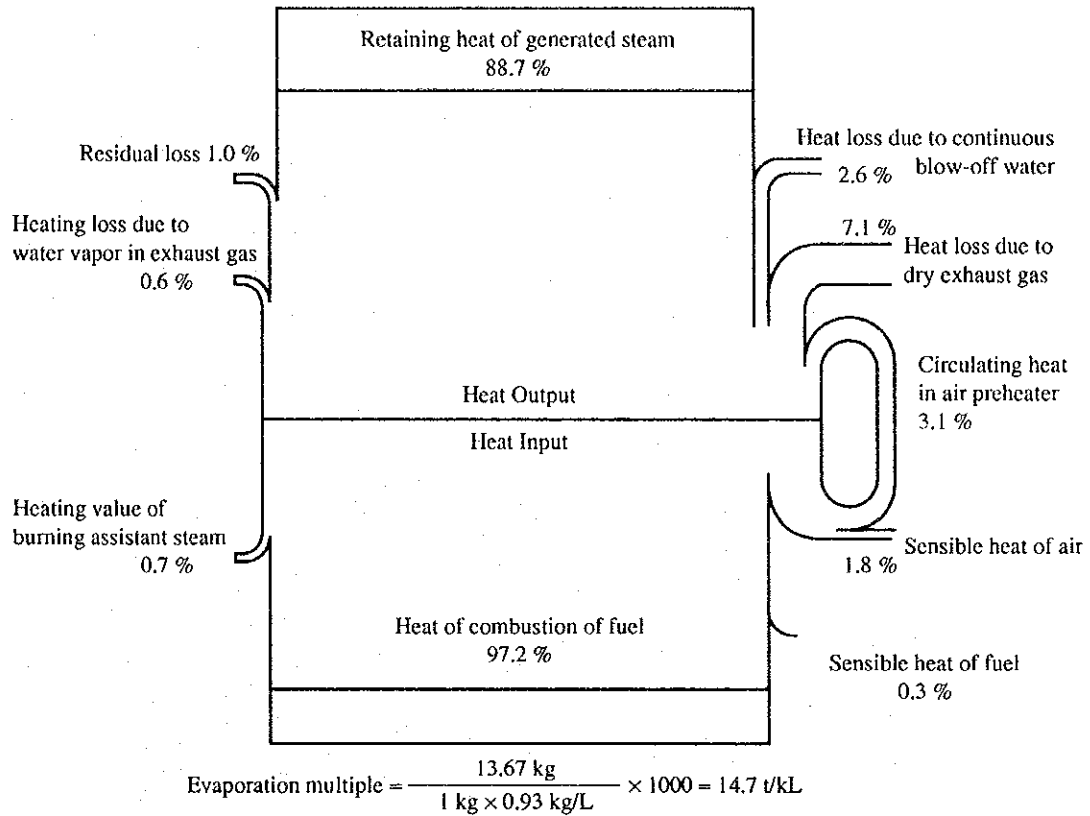
11.7.1 空気比

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 11.17 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 11.17 Example of 20 T/H Boiler Heat Balance



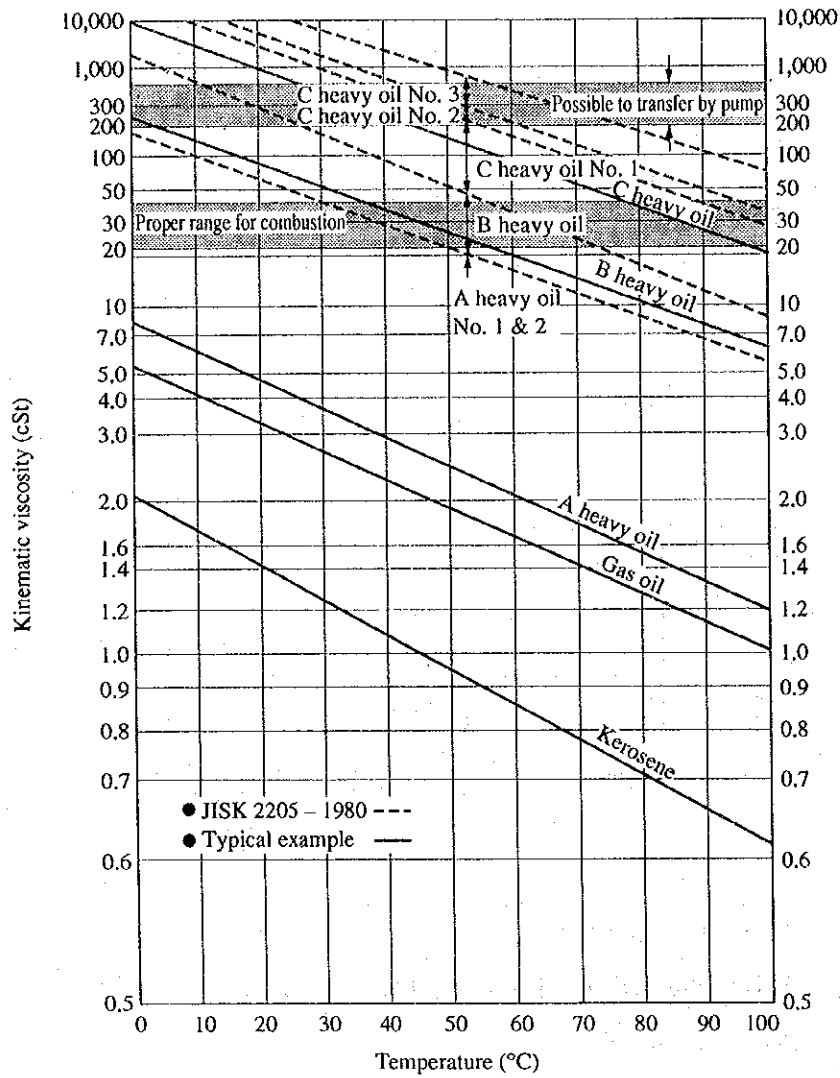
(1) 燃料油温度の適正維持

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 (Figure 11.18 参照)。

(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

Figure 11.18 Viscosity of Fuel Oil



(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、空気圧または油圧をメーカー指示値に維持する。オイルバーナの特徴は Table 11.15 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 11.15 Characteristics and Application of Oil Burner

	Unit	Low pressure air system		High pressure atomizing system		Oil pressure system	
		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
Oil pressure	bar	0.4 ~ 1	0.1 ~ 0.3	2 ~ 9	0.2 ~ 1	5 ~ 40	5 ~ 70
Atomizing pressure		mmAq (400 ~ 2,000)	mmAq (400 ~ 2,000)	3 ~ 10 bar	2 ~ 8 bar	-	-
Atomizing medium amount	A m ³ _N /kg S kg/kg	2 ~ 3 m ³ _N kg	1 ~ 3 m ³ _N kg	A 0.2 m ³ _N kg S 0.25 kg/kg	A 0.26 m ³ _N kg S 0.33 kg/kg	-	-
Atomizing medium		Air	Air	Air or steam	Air or steam		
Combustion air pressure	mmAq	400 ~ 2,000	100 ~ 2,000	0 ~ 250	0 ~ 50	100	100
Combustion regulation range		4 ~ 6 : 1	4 ~ 8 : 1	8 : 1	6 : 1	3 : 1	3 : 1
Flame characteristic		Short flame	Slightly short flame, Long flame	Short flame, Long flame	Slightly long 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
Weakness		Blower required	Same as left	Power cost required	Power cost required	Not respond to load fluctuation High pressure pump required	Same as left
Boiler application	Flue smoke tube	○	○	○	○	○	○
	Once-through			○	○	○	○
	Vertical Water tube	○ ○	○	○	○ ○	○ ○	○ ○

1 bar = 0.1 MPa

1 mmAq = 9.80665 Pa

(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濃度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。

Figure 11.19 に示す例は、リンク機構の中に比率設定器を組み込み、排ガス中の酸素濃度分析値をフィードバックし、空気ダンパを微調整して酸素濃度設定値に合わせるようにしている。

Figure 11.20 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、排ガス中の酸素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、燃料およ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 11.21 に示すように並列、または直列カスケード制御を行う。

Figure 11.19 Boiler Air Ratio Controller (1)

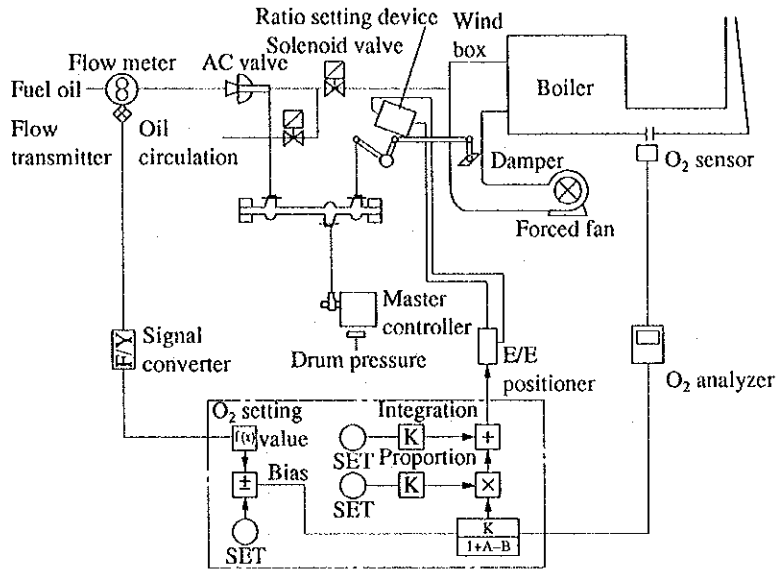


Figure 11.20 Boiler Air Ratio Controller (2)

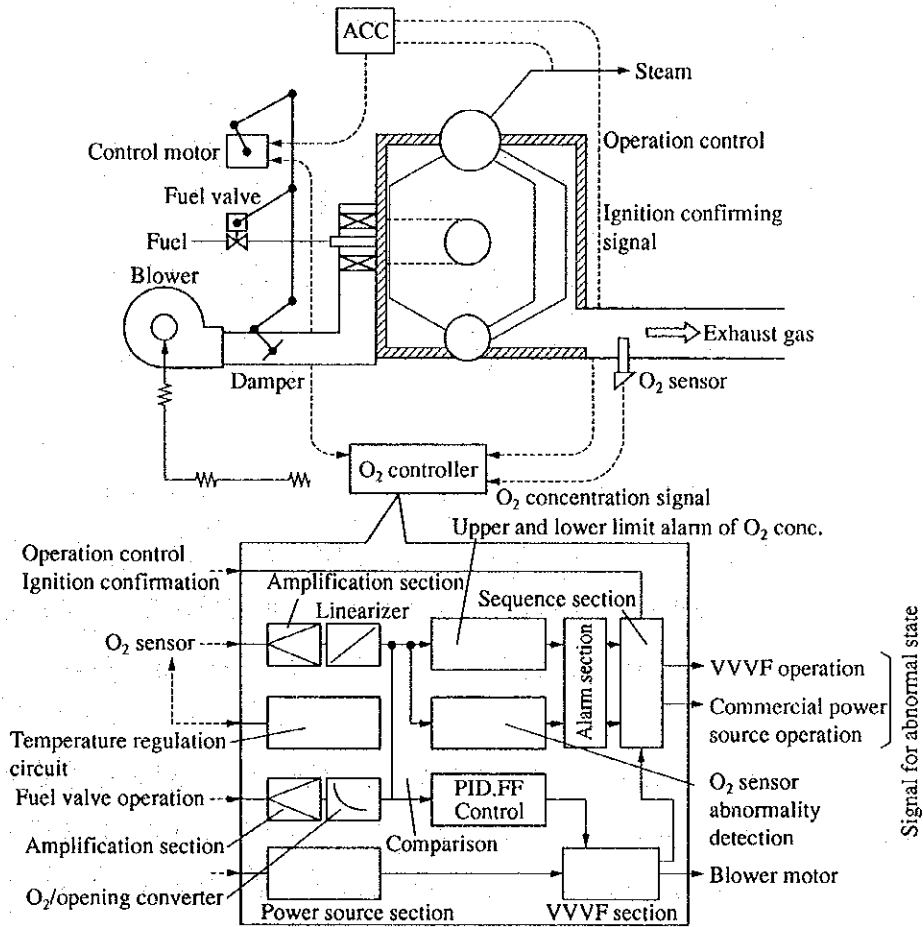
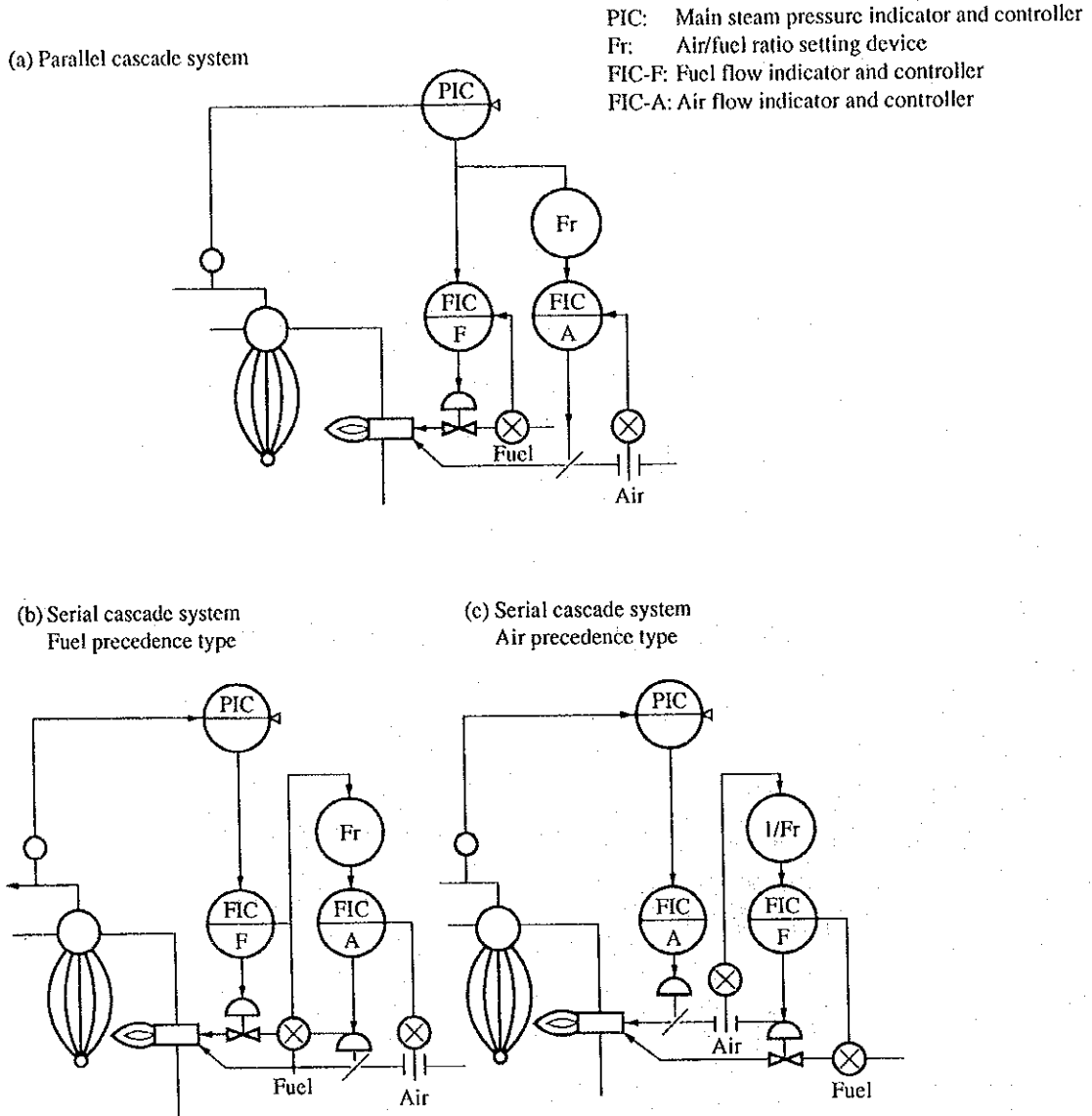


Figure 11.21 Basic Combustion Control System



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、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。したがって、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。

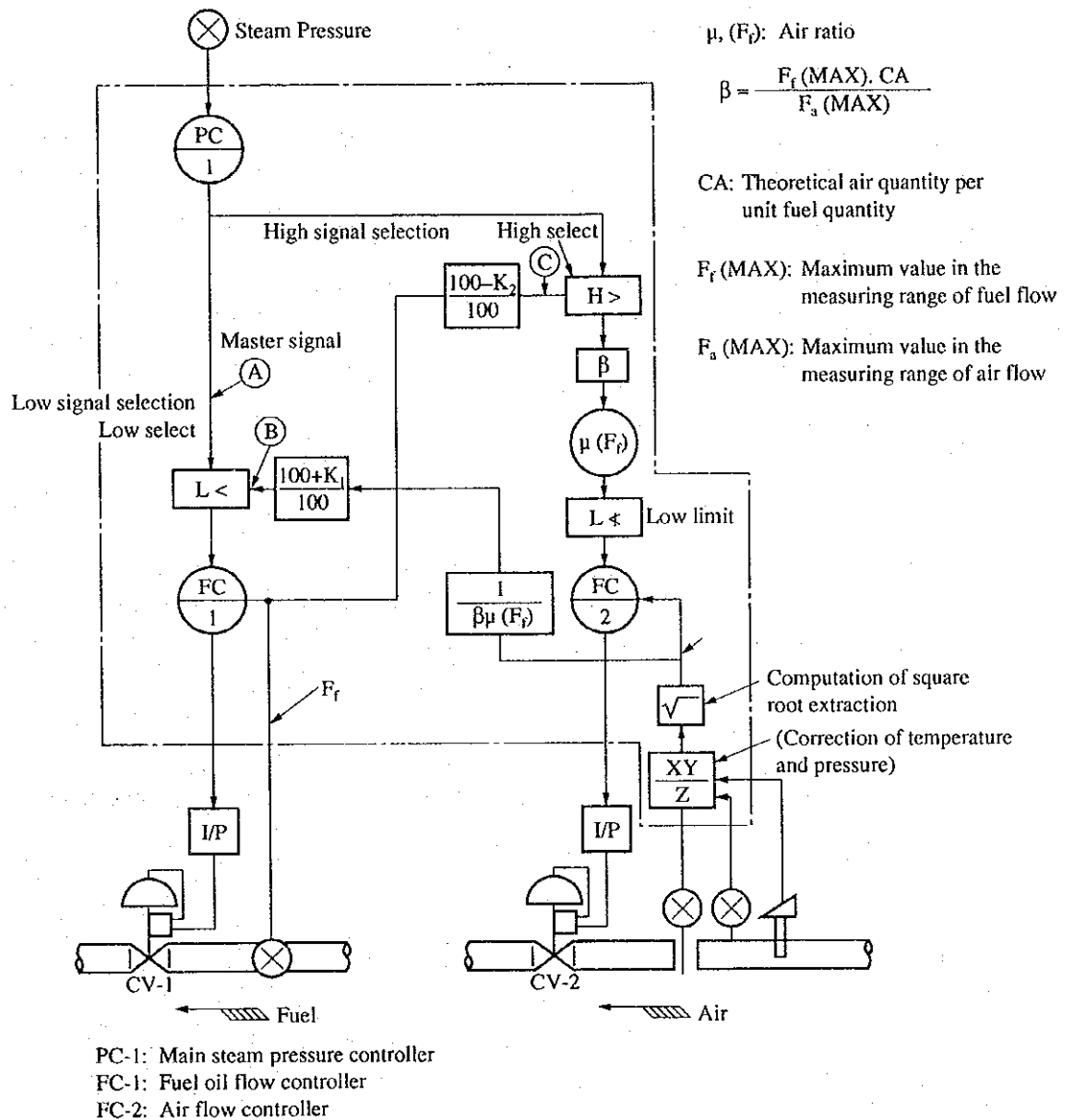
Figure 11.22 はこの欠点を解消するため、燃料および空気の流量設定をする際に、互にほかの実際流量と適合するかをチェックするようにクロスリミットをかけたものである。すなわち、燃料については蒸気圧力計からくるマスタ信号と、実際空気流量から演算により求めた発煙限界燃料量信号とを比較し、その小さ

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。

さらに、燃料組成が変動するような場合には、排ガス中の酸素濃度を分析し、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。

Figure 11.22 Block Diagram of Single Cross Limit Combustion Control System



(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 11.16 に示す。

Table 11.16 Standard Air Ratio of Boiler

Classification of evaporation	Load factor (Unit: %)	Standard air ratio					
		Solid fuel		Liquid fuel	Gas fuel	By-product gas from blast furnace, etc.	
		Fixed bed	Fluidized bed				
For electric enterprises	75 to 100	-	-	1.05 to 1.2	1.05 to 1.1	1.2	
Others	Boilers whose evaporation is 30 ton or more per hour	50 to 100	1.3 to 1.45	1.2 to 1.45	1.1 to 1.25	1.1 to 1.2	1.2 to 1.3
	Boilers whose evaporation is 10 ton to less than 30 ton per hour	50 to 100	1.3 to 1.45	1.2 to 1.45	1.2 to 1.3	1.2 to 1.3	-
	Boilers whose evaporation is 5 ton or more to less than 10 ton per hour	50 to 100	-	-	1.3	1.3	-
	Boilers whose evaporation rate is less than 5 ton per hour	50 to 100	-	-	1.3	1.3	-

Note: The boiler "for electric enterprises" is installed by the electric power companies (those specified in Clause 2.6 of the Electric Enterprises Act. Hereinafter this will also apply.) for the purpose of electric power generation.

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。

11.7.2 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 11.17 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。したがって、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 11.23 および Figure 11.24 参照)。

Table 11.17 Thermal Conductivity of Scale and Other Substance

Scale and other substance	Thermal conductivity (kJ/mh °C)
Soot	0.25 ~ 0.4
Oily matter	0.42
Scale as main component of silicate	0.8 ~ 1.8
Scale as main component of carbonate	1.8 ~ 2.5
Scale as main component of sulfate	2.5 ~ 8.4
Mild steel	170 ~ 250

Figure 11.23 Example of Fuel Loss due to Soot on Heating Surface

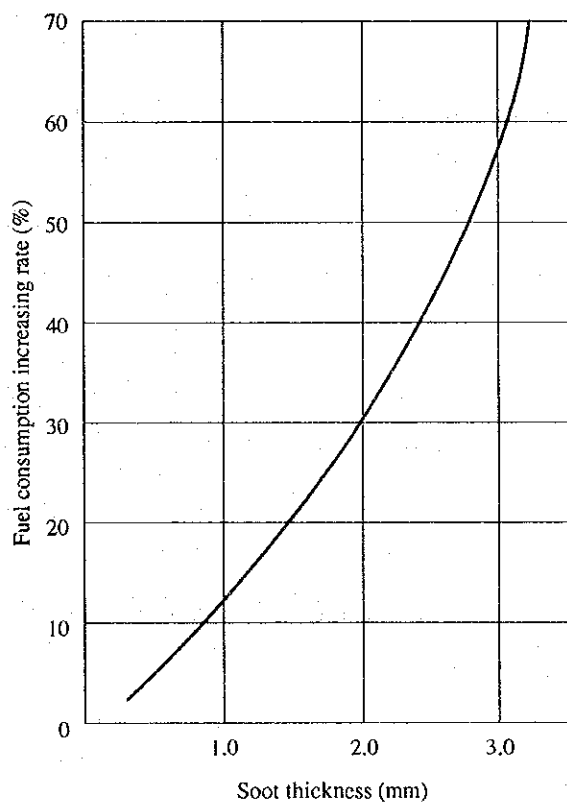
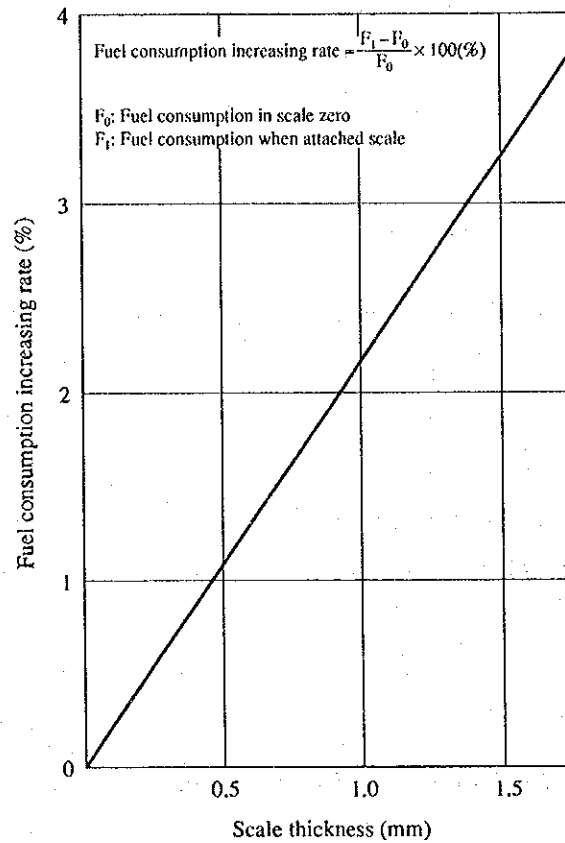


Figure 11.24 Example of Relation between Scale Thickness and Fuel Loss



スケールによる障害を避けるためには、11.2.3 の (3) で述べたように、水処理およびブローを正しく実施すること、また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、ブラシなど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 カ月ごと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 (タブレタ) 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 (11.7.7 (3) 参照)。

(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。したがって、燃焼排ガスが熱交換器など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 11.25 に燃料中硫黄含有量と排ガス中 SO_2 濃度の関係を、Figure 11.26 にこの SO_2 から SO_3 へ転化する割合を、Figure 11.27 に SO_3 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箇所を生ずるので、図の酸露点温度より高目にガス温度を保つ必要がある。

Figure 11.25 Relation between Sulfur Content in Fuel and SO_2 Content in Fuel Gas

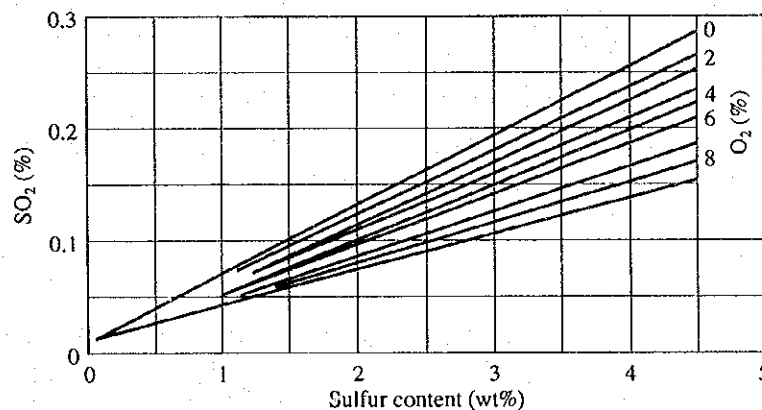


Figure 11.26 Relation between Sulfur Content in Fuel and Conversion Ratio from SO₂ to SO₃

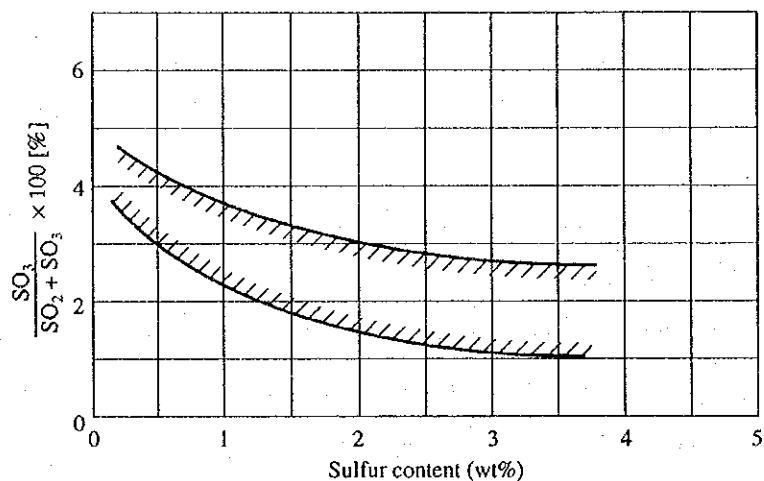
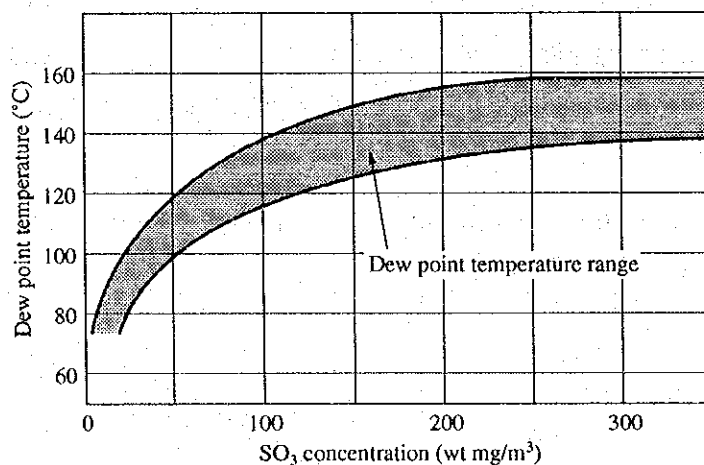


Figure 11.27 Relation between SO₃ Concentration in Exhaust Gas and Dew Point Temperature



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 11.7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/kg-fuel (kcal/kg-fuel)
P	: 予熱空気の持ち込む熱量	kJ/kg-fuel (kcal/kg-fuel)
F	: 燃料の発熱量	kJ/kg-fuel (kcal/kg-fuel)
H	: 有効熱および固定的に必要な熱量 = F-Q	kJ/kg-fuel (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は、

$$\frac{X}{H_A} \text{ kg-fuel/h}$$

空気を予熱するときは、

$$\frac{X}{H_B} = \frac{X}{H_A + P} \text{ kg-fuel/h}$$

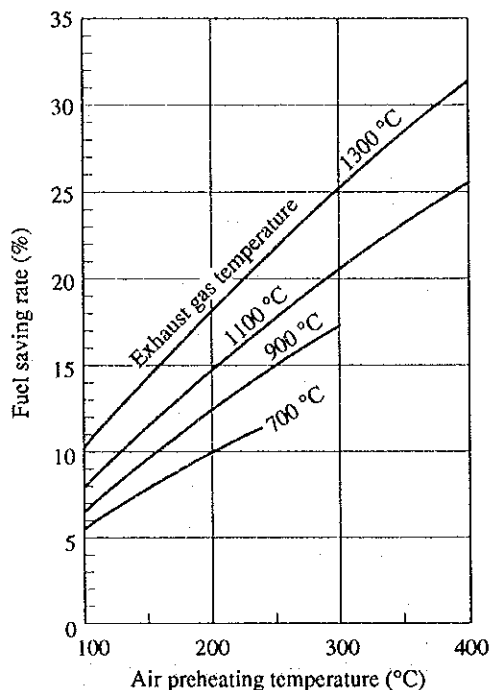
したがって燃料節約率は、次のようになる。

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

空気比 1.2 の場合の燃料節約率を Figure 11.28 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、燃焼速度の上昇などの効果により空気比の低減が図れ、さら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 11.28 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、連続ブローからの熱回収、太陽熱やほか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 11.18 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。

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

Table 11.18 Standard Exhaust Gas Temperature of Boiler (unit: °C)
(Load factor: 100 % at the outer temperature of 20 °C)

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	—

11.7.3 放熱防止

ボイラでは放熱面の大部分を水または蒸気部分として、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、フランジなど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、せっ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 A9501) 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、最も経済的になるように保温厚さを選べばよいことになっている。

11.7.4 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。

11.7.5 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。

11.7.6 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 (11.5 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 11.19 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、排ガス中酸素濃度などについては、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 11.19 Daily Report of Boiler Operation

Chief Manager Early Day Night
operator attendance service
attendance

Date		Weather		Ambient temperature inside °C		Outside °C												
Hours	Pressure MPa	Feed water temperature °C	Meter reading	Consumption L	Fuel oil quantity Meter reading	Service tank °C	Heater outlet °C	Primary Mpa	Secondary Mpa	Exhaust gas temperature °C	% CO ₂	Furnace pressure Pa	WB static pressure Pa	Outlet static pressure Pa	Result	Item	Checker	Reference
<p>Every hour measured matters (hours should be entered from the bottom to the upper)</p>																		
<p>Relief valve</p>																		
<p>Water gage blowing</p>																		
<p>Automatic feedwater regulator</p>																		
<p>Low water 1st stop</p>																		
<p>Level 2nd stop</p>																		
<p>Governor 3rd stop</p>																		
<p>Flame detector</p>																		
<p>Combustion state</p>																		
<p>Firing equipment</p>																		
<p>Feedwater device</p>																		
<p>Automatic controller</p>																		
<p>Control interlocking devices</p>																		
<p>Feedwater quantity (A) L/d</p>																		
<p>Fuel oil quantity (B) L/d</p>																		
<p>Evaporation multiple A/B L/L</p>																		
<p>Boiler efficiency %</p>																		
<p>Operating time h</p>																		
<p>Carry-over L</p>																		
<p>Today receiving quantity L</p>																		
<p>Stock L</p>																		
<p>Daily inspection</p>																		
<p>Total</p>																		
<p>Reading in previous day</p>																		
<p>Blowing time Pressure bar</p>																		
<p>Blowing quantity L</p>																		
<p>Previous meter reading</p>																		
<p>Today's meter reading</p>																		
<p>Treating water quantity</p>																		
<p>Basic cycle</p>																		
<p>NaCl quantity kg</p>																		
<p>Hardness analysis</p>																		
<p>Sampling Pressure MPa</p>																		
<p>State of boiler before and after blowing</p>																		
<p>Boiler water blowdown</p>																		
<p>Continuing blow quantity</p>																		
<p>Total blowing quantity</p>																		
<p>Chemical name</p>																		
<p>Input g</p>																		
<p>Input hour</p>																		
<p>Cleaning agent</p>																		
<p>Previous day</p>																		
<p>Today</p>																		
<p>Pour</p>																		
<p>Water quality test</p>																		
<p>Feed water</p>																		
<p>pH</p>																		
<p>Conductivity µΩ/cm</p>																		
<p>Chloride ion ppm</p>																		
<p>Hardness ppm</p>																		
<p>Boiler water</p>																		
<p>pH</p>																		
<p>Conductivity µΩ/cm</p>																		
<p>Chloride ion ppm</p>																		
<p>Hardness Phosphate ion ppm</p>																		
<p>Description:</p>																		

11.7.7 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 °C 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°C に冷して再び冷却用に用いていた。

一方、隣接するほか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 °C 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 カ月であった。

(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	87 %
・排ガス損失	8 %
・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、従来酸素濃度の限界が 5 % だったのが 3 % 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酸素濃度計の採用を行い、O₂ を 3 % 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。

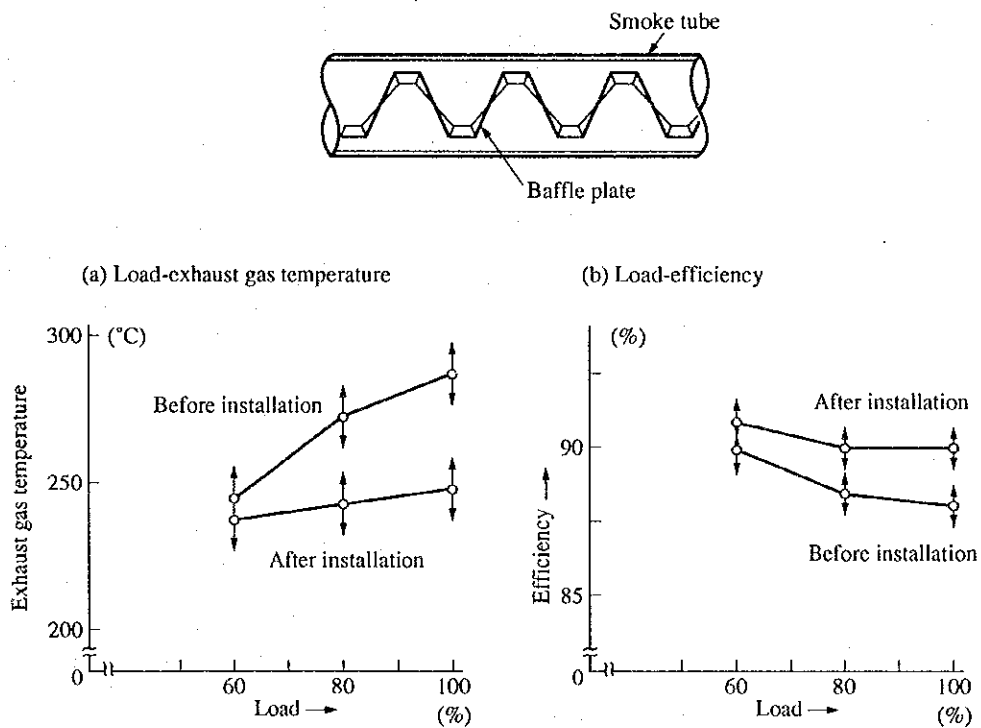
以上の結果、重油 37.5 kL/y 減、電力 145×10^3 kWh/y 減となり、メリットは 515 万円/年、設備費は約 1 年で回収できた。

(3) 煙管の伝熱改善 (Figure 11.29 参照)

重油を燃料とする炉筒煙管式ボイラ (6 kg/cm^2 (G)、7 t/h) の煙管内に特殊鋼製の曲板 (タブレタ) 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 11.29 Turbulator Insertion Effect



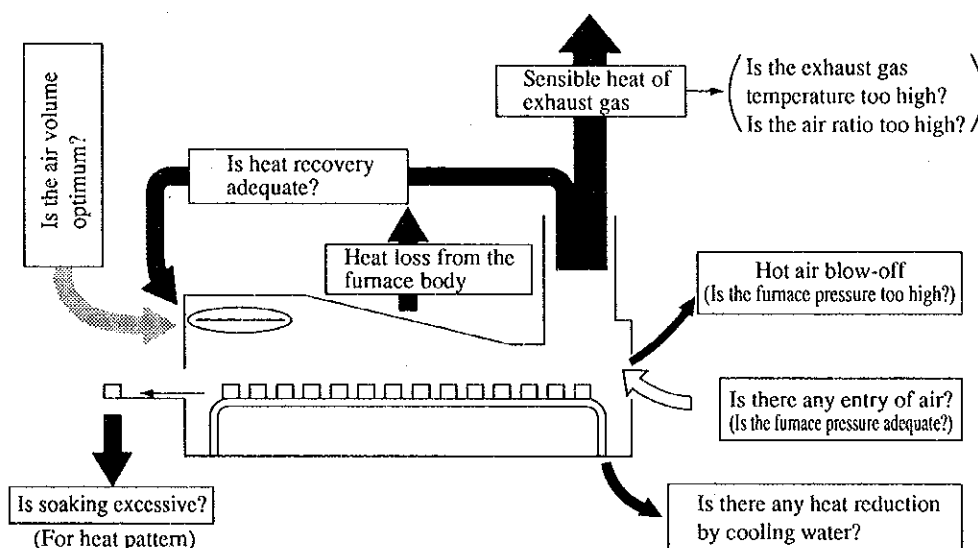
12. 加熱炉の省エネルギー

12. 加熱炉の省エネルギー

この章では、燃焼法式の加熱炉について一般的な省エネルギーの着眼点を記載する。燃焼によらない加熱炉としては、電気を熱源とした加熱炉があるが、ここでは扱わない。

Figure 12.1 は加熱炉に関する省エネルギーのポイントを示したものである。

Figure 12.1 Key Points in Energy Conservation for a Heating Furnace



12.1 空気比（排ガス量の低減）

完全燃焼に必要な量以上に空気を供給すると排ガスによる熱損失が増加する。実際の空気量を理論燃焼の空気量を単位として表現した数値を空気比という。したがって理論燃焼では空気比は1である。実際には、理論空気量だけでは燃料を完全燃焼することは困難であり、この場合は燃焼排ガス中にCOが発生してこの分の熱量が損失となる。

ガス燃料の場合にボイラの例では、排ガス中のCOが200ppm程度のときが最も燃料消費が少ないといわれている。

排ガス中の酸素濃度と一酸化炭素濃度を計測すれば、空気比、排ガスによる熱損失、空気比を調整した場合の燃料節減量などを燃焼計算により求めることができ

る。以下に示すグラフはこのようにして求めたものである。燃焼計算はスプレッドシートとして「V. 測定マニュアル」と共に提供され、その取り扱い説明は「V. 測定マニュアル」に付属しているので、これを参照してもらいたい。なお、以下の燃焼計算の前提値をはじめに Table 12.1 に示す。

Table 12.1 Assumed Values for Calculation of Combustion

Gas content		Wet volume
CO		0.0 %
CO ₂		0.1 %
H ₂		0.0 %
CH ₄		97.9 %
C ₂ H ₄		0.0 %
C ₂ H ₆		0.4 %
C ₃ H ₈		0.1 %
C ₄ H ₁₀		0.1 %
N ₂		1.4 %
O ₂		0.0 %
H ₂ O		0.0 %
Fuel temperature	°C	28
Air temperature	°C	28
Atmospheric temperature	°C	28
Relative humidity		60 %
Gas density	kg/m ³	0.730
Calorific value Net	kcal/m ³	8,487
	kJ/m ³	35,525
Calorific value Gross	kcal/m ³	9,416
	kJ/m ³	39,414

排ガスの計測は酸素や一酸化炭素の濃度で表されるので、燃焼計算の諸特性は排ガス酸素を変数として表すことが直接的であるが、のちに見るように空気比を変数として表せば多くの特性が直線的に表現される。したがって本項では主として排ガス酸素から求めた空気比を横軸として各種特性を表すこととする。

12.1.1 排ガス中の酸素と空気比

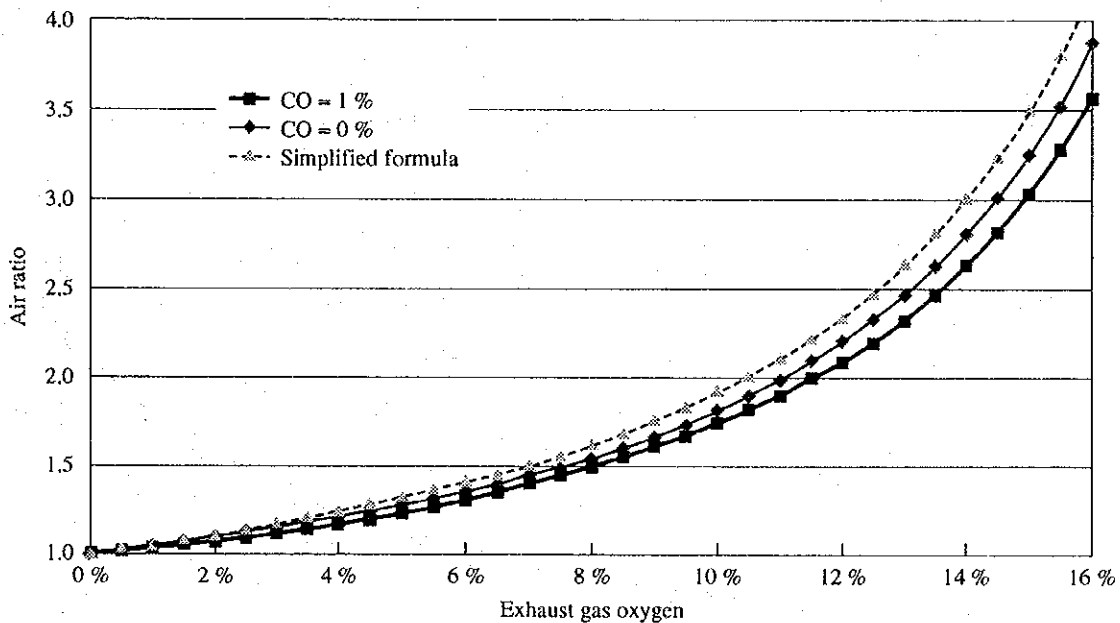
ガス燃料の場合、燃料成分が分かっているならば、燃焼排ガス中の酸素と一酸化炭素の濃度を計測して、空気比はこれらから計算で求められる。また、簡易式として排ガス酸素の濃度から直接に空気比を求める次の式が提案されている。

$$\text{空気比} = 21 / (21 - (O_2))$$

ただし、 (O_2) は排ガス中の酸素濃度(%)。

燃料を天然ガスとして排ガス酸素濃度と空気比を計算した結果を Figure 12.2 に示す(一酸化炭素をゼロとして)。図には計算値とともに上の簡易式で求めた値をも併記している。

Figure 12.2 Air Ratio by Exhaust Gas Oxygen



この図のように、この燃料の場合には、燃料成分から計算した結果と排ガス中の酸素濃度だけから簡易式で求めた結果に大きな差はない。また同図には排ガス中のCO濃度が1%の場合の計算値も記載しているが、酸素濃度が極端に大きくない限り、CO濃度の空気比への影響は小さい。

次に、排ガス量、空気量を排ガス酸素濃度で表した場合と空気比で表した場合を Figure 12.3、Figure 12.4 に示す。

Figure 12.3 Air, Exhaust Gas and CO₂ by Air Ratio

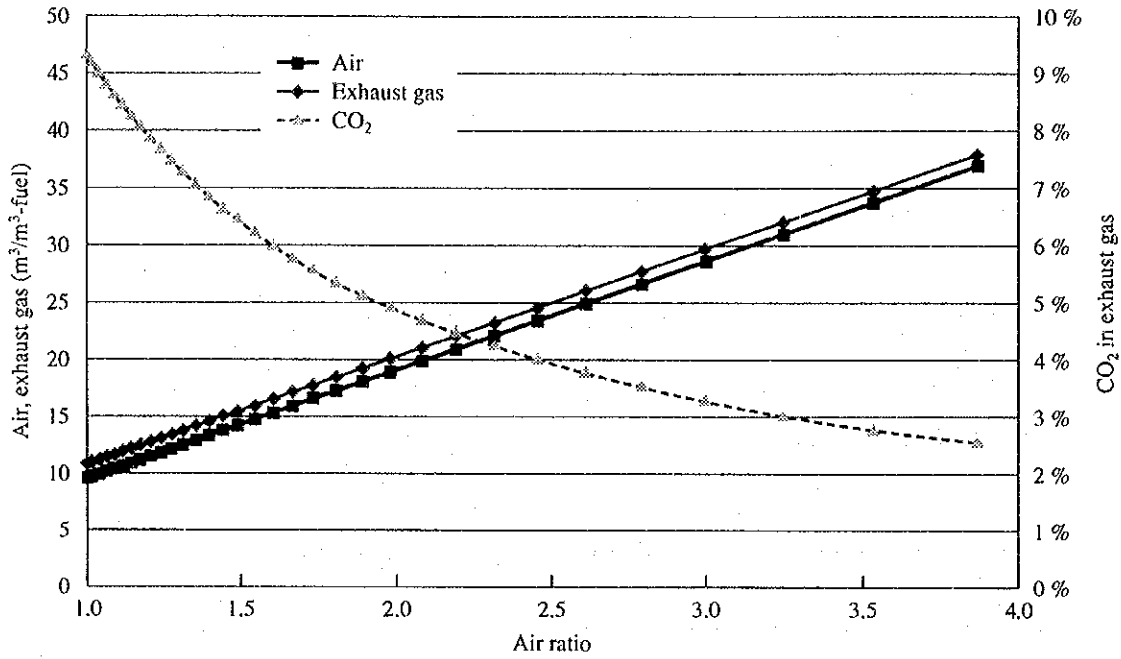
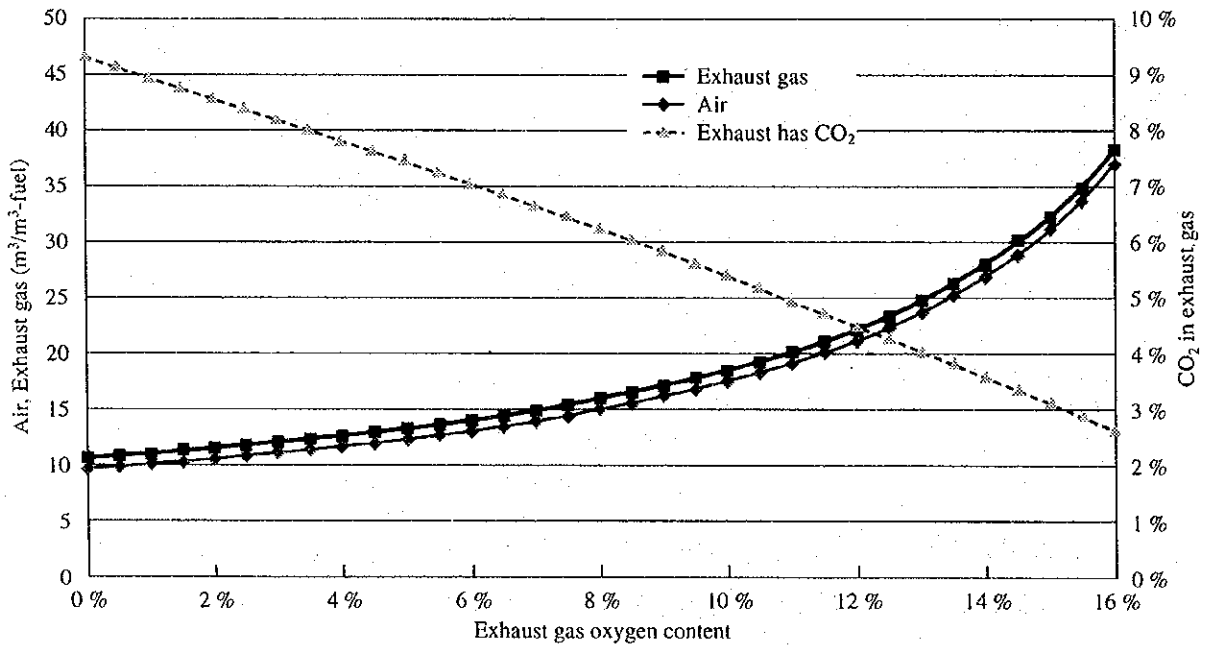
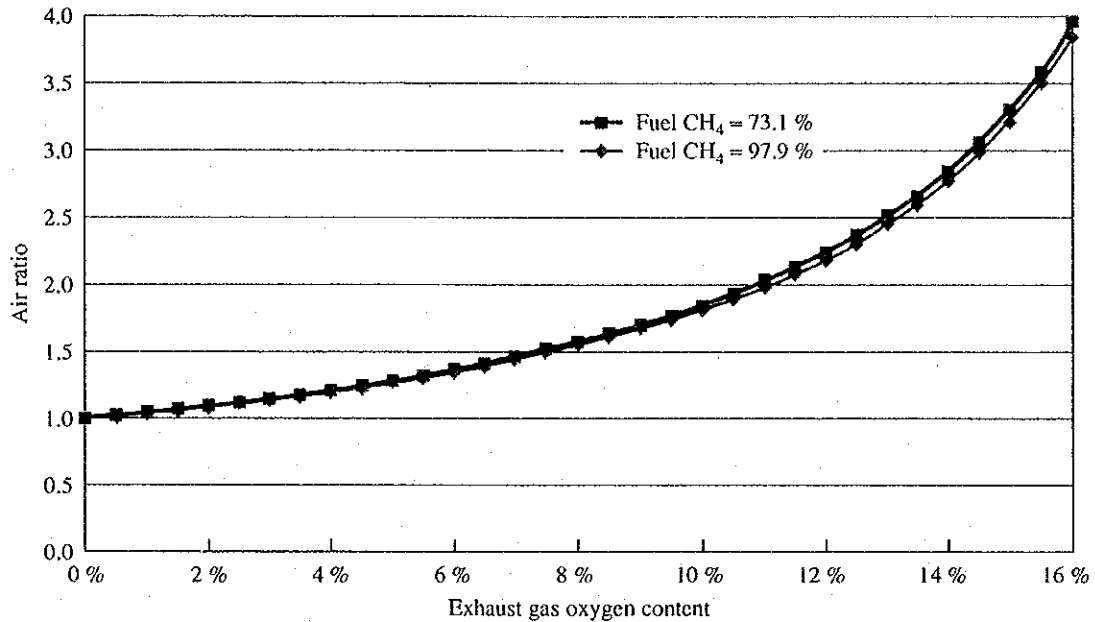


Figure 12.4 Air, Exhaust Gas and CO₂ by Exhaust Gas Oxygen Content



排ガス酸素濃度と空気比の関係は、計算上は燃料成分によって異なるが、実際にはその影響は小さい。例として発熱量の異なるガス燃料について計算した結果を Figure 12.5 に示す。

Figure 12.5 Air Ratio by Exhaust Gas Oxygen Content with Fuel Composition



12.1.2 排ガス損失

排ガス損失は、排ガス量と排ガス温度と排ガスの比熱の積である。このうち排ガス量は空気比によって大きく支配されることは先の Figure 12.3 に示した。したがって、空気比を低下させることにより、燃料原単位が改善される。また空気の低減により、燃焼空気用に送風機を用いている場合に送風動力が減少する。

12.1.3 空気比低減による燃料低減

空気比を調整しても排ガス温度が変化しないと仮定すると、空気比低減による燃料使用の低減を熱バランスの式から計算することができる。Figure 12.6、Figure 12.7 にその計算結果を示す。

Figure 12.6 Fuel Saving by Adjusting the Air Ratio (Exhaust gas temperature = 400 °C)

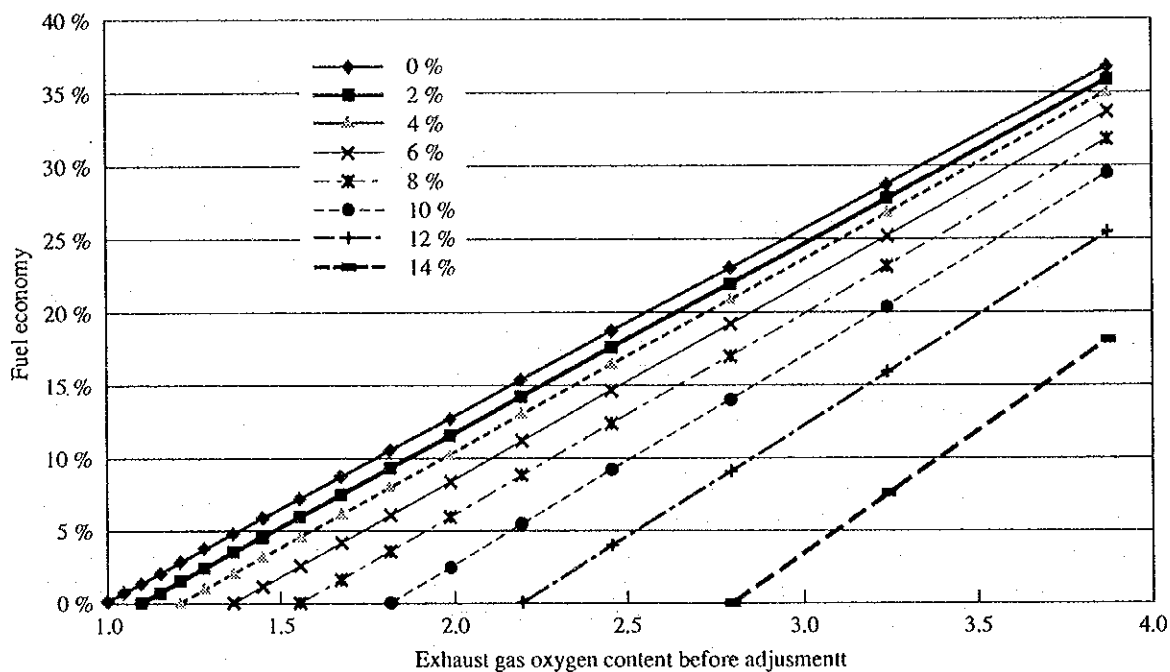
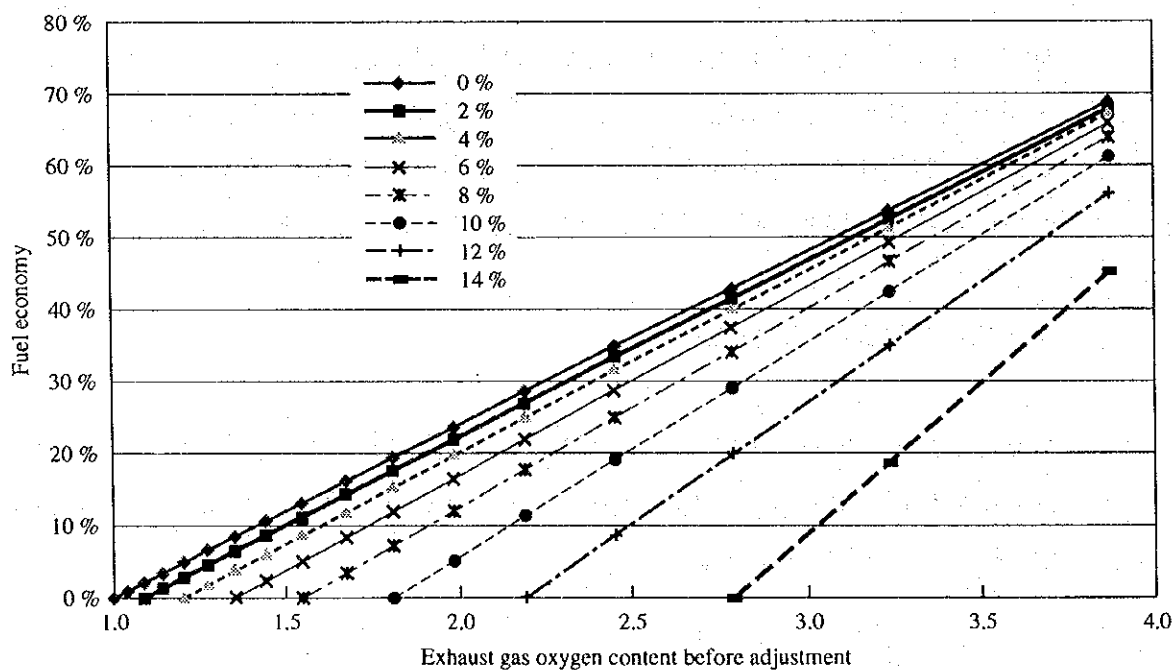


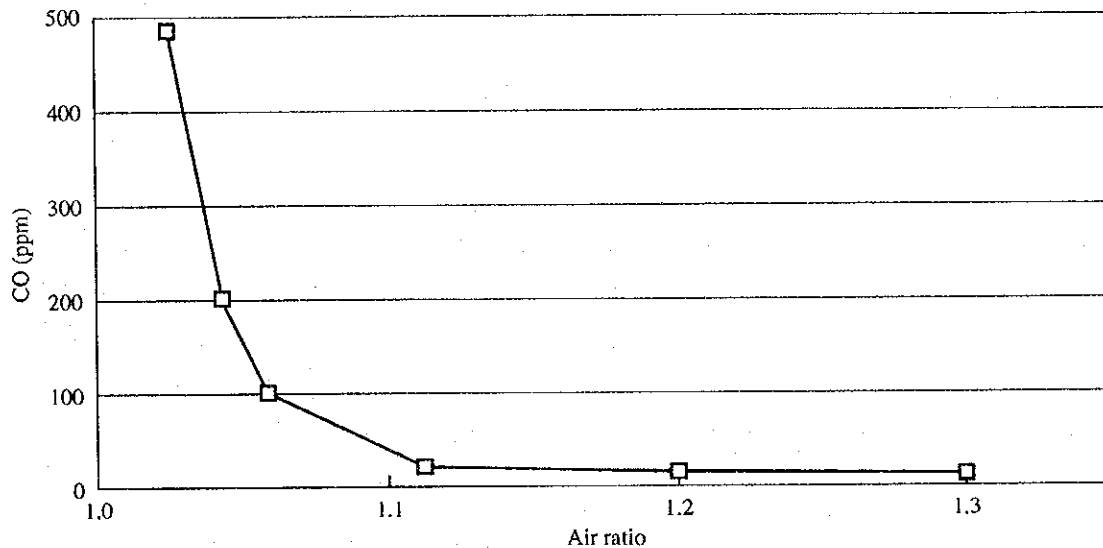
Figure 12.7 Fuel Saving by Adjusting the Air Ratio (Exhaust gas temperature = 600 °C)



この Figure 12.6、Figure 12.7 のように、空気比調整による燃料節減の効果は空気比が大きいほどまた排ガス温度が高いほど顕著である。

空気比は理論燃焼である空気比 = 1 が望ましいが、実際には空気比が 1 に近くなると CO が発生して、未燃損失を生じる。CO の生成と空気比は一律には表現できないが、Figure 12.8 に一例を示す。

Figure 12.8 Example of Air Ratio and CO Generation



ガス燃焼のボイラにおいて、CO = 200ppm のとき最も効率がよいといわれている。

12.1.4 日本における空気比の基準

日本では、省エネルギー法で定められた判断基準のうちに、工業炉の空気比が数値で規定されている。規定値は「基準値」と「目標値」に分けて規定され、基準値は「エネルギー管理指定工場」(燃料の使用が大規模な工場)の大部分で達成されるべき値であり、一方「目標値」は設備の改造・新設等により今後達成すべき目標とされている。(Table 12.2 参照)

Table 12.2 Standard Values and Target Values of Air Ratio Specified by the Law

Categories	Type of furnace operation				Remarks
	Continuous operation		Batch operaiton		
	Standard	Target	Standard	Target	
Melting furnace for metal casting	1.3	1.25	1.4	1.3	
Continuous reheating furnace for steel	1.25	1.2	-	-	
Metal heating furnace except continuous steel reheating	1.25	1.2	1.35	1.3	
Metal heat treatment furnace	1.25	1.2	1.3	1.3	
Petroleum heating furnace	1.25	1.25	-	-	
Heat cracker, reformer	1.25	1.25	-	-	
Cement kiln	1.25	1.25	-	-	
Lime kiln	1.30	1.25	1.35	1.35	
Dryer	1.30	1.3	1.5	1.5	Only for burner

12.1.5 日本における空気比の実態

日本の省エネルギーセンターは、1992年に日本の大規模な工場に対してアンケートによりエネルギー管理の状況を調査した。調査対象は日本の省エネルギー法によるエネルギー管理指定工場で、約3,500工場に調査表を送り、このうち2,200工場から回答を得ている。

このうちから、加熱炉の空気比（実際の操業の値）を抽出して加熱炉の区分別に整理した結果を Figure 12.9 ~ Figure 12.12 に示す。同じ加熱炉の区分であっても、その用途や燃料が種々異なるので、空気比は幅のある分布を示しているが、実態を表すデータとして参考になるであろう。

Figure 12.9 Air Ratio Distribution (Metal heating furnace of 315 units)

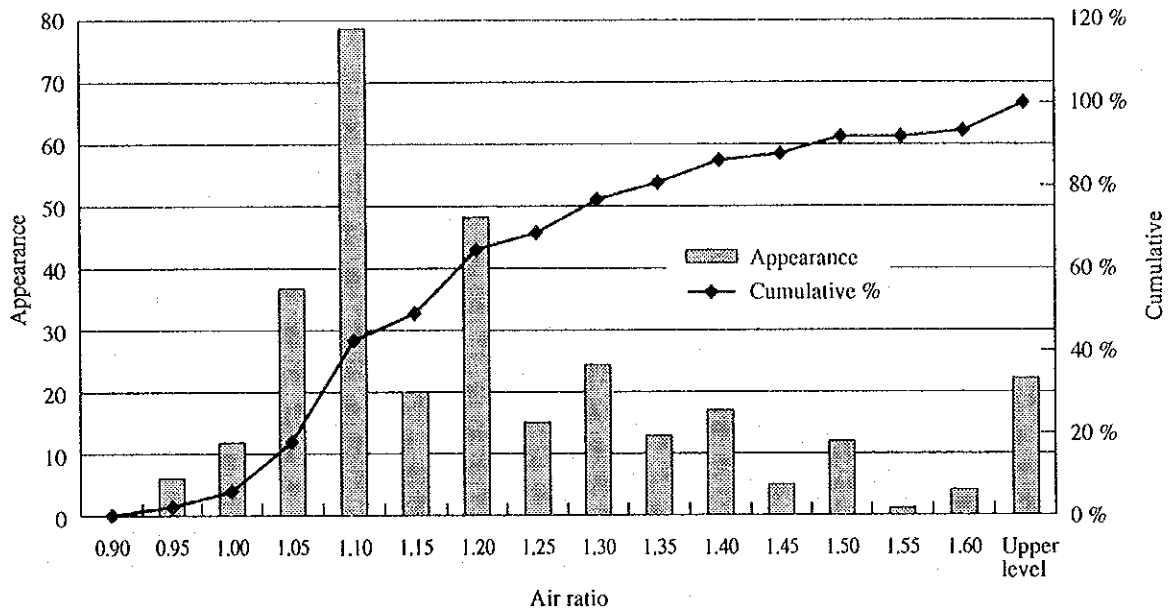


Figure 12.10 Air Ratio Distribution (Metal heat-treatment furnace of 264 units)

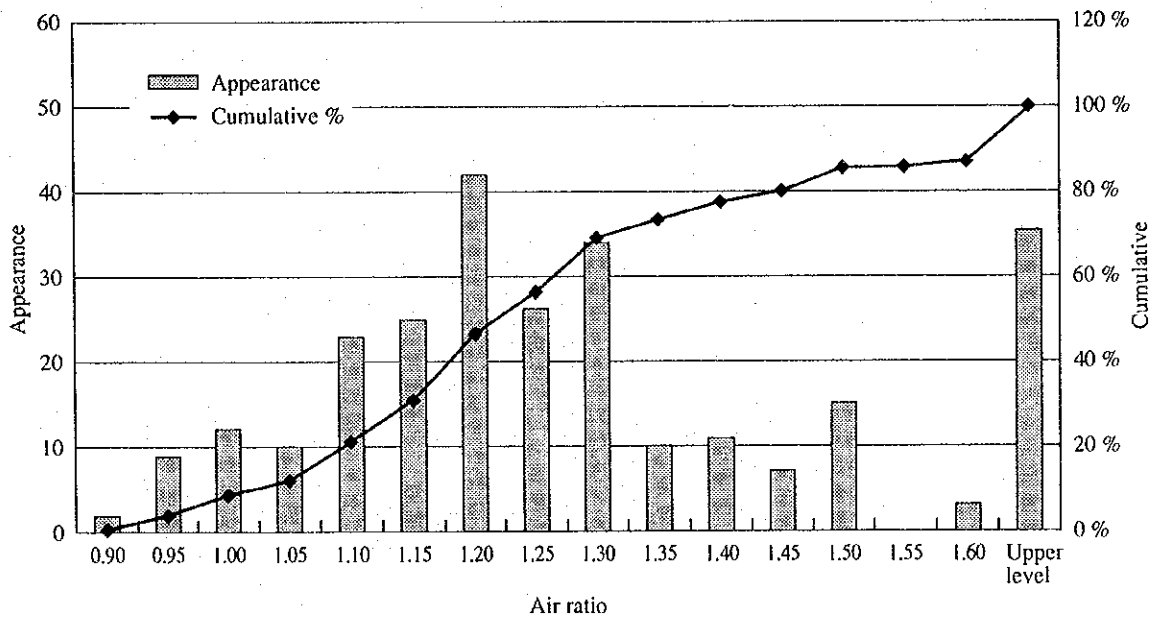


Figure 12.11 Air Ratio Distribution (Ceramic industry furnaces of 431 units)

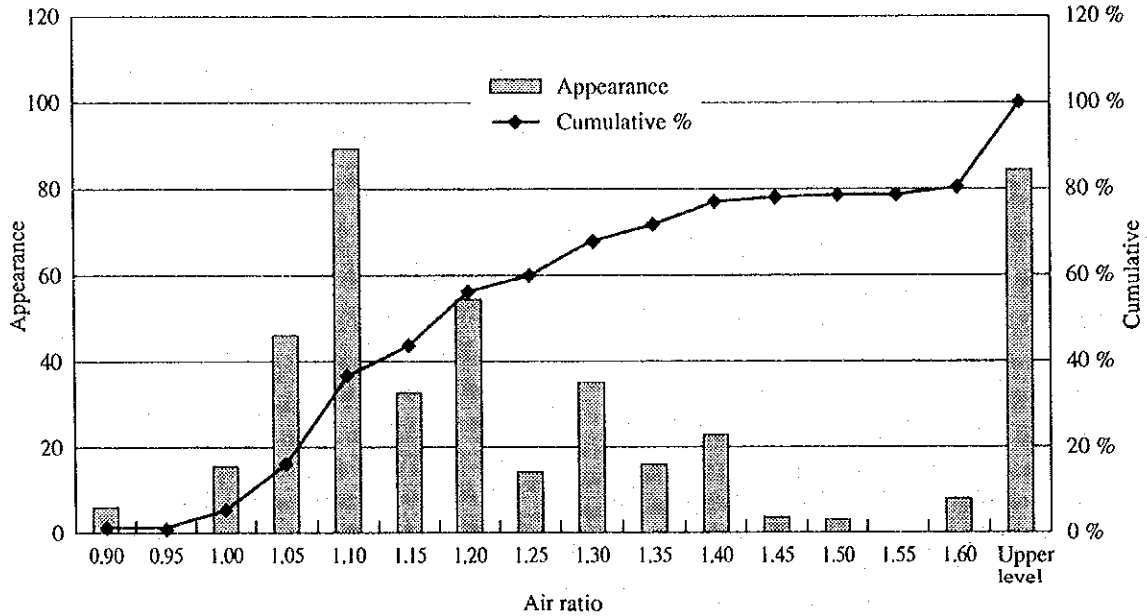
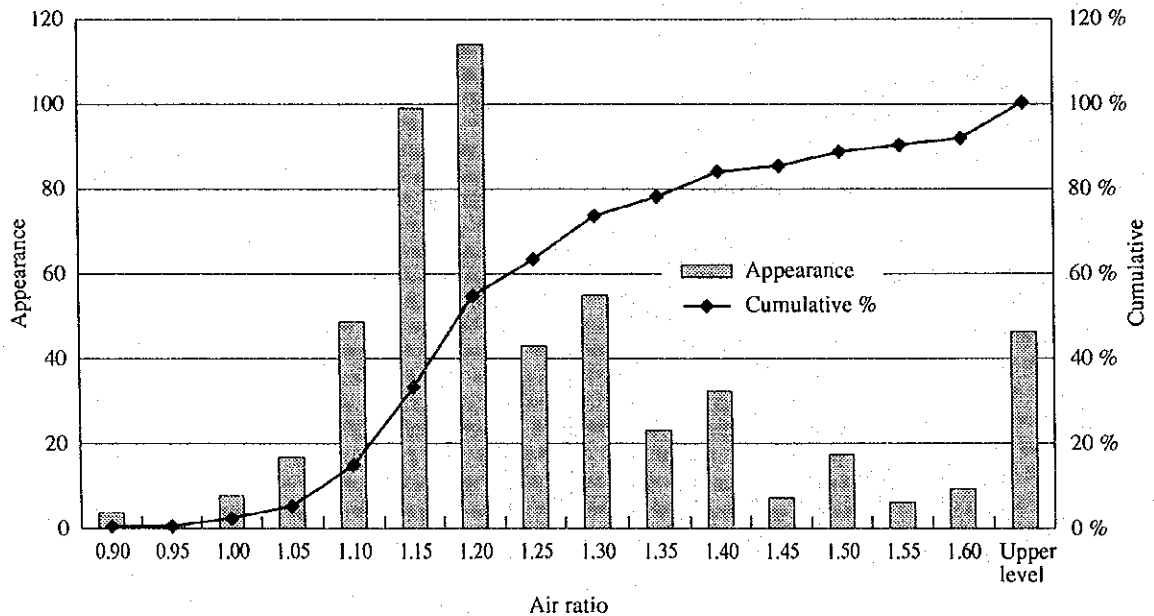


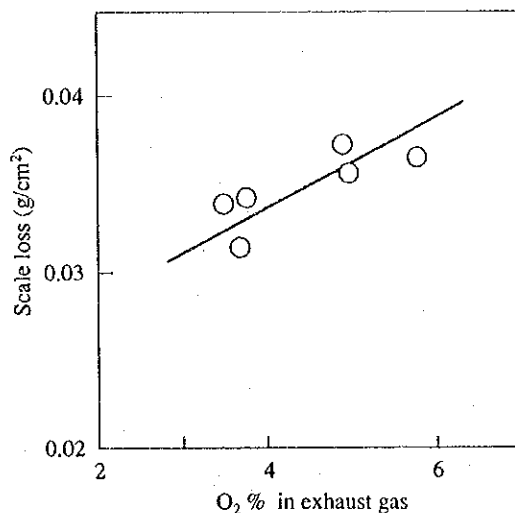
Figure 12.12 Air Ratio Distribution (Chemical industry furnaces of 530 units)



12.1.6 スケールの生成量

鋼材を加熱する際に発生する鋼材表面の酸化スケールは燃焼ガス中の酸素、加熱温度と在炉時間に関する。この意味から空気比を小さく保つことはスケールの生成を減少し、鋼材の歩留まりを向上することになる。Figure 12.13 に排ガス中の酸素のスケールロスの関係の例を示す。

Figure 12.13 Relationship between Air Ratio and Scale Loss (Fuel oil-fired, heating time: 120 minutes)

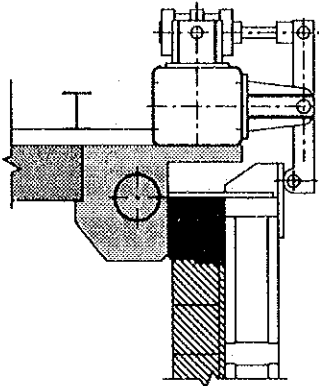


12.1.7 排ガス系統への外部空気の漏れ込み

炉内の燃焼域から空気予熱器に至る高温の煙道で、外部から冷たい空気が漏れ込むと排ガス温度が低下し、空気予熱器での熱回収が減少してしまう。たとえば連続加熱炉における材料の装入孔からの空気の漏れ込みがこれに相当する。排ガスの流れの2点で空気比を計測すれば、その空気比の差はその間での外気の侵入量に相当する。また空気予熱器の前後の空気比を比較すれば、空気予熱器での空気漏洩（空気側から排ガス側への漏洩）を知ることができる。このような空気の漏洩は、予熱空気温度を低下させ、また送風動力の損失にもなるので、空気漏洩の計測により最適なメンテナンス時期を知ることができる。

バッチ式の鍛造炉でも装入扉部分から冷空気が侵入する。この部分のシールを強化するために、装入扉を空気圧シリンダーにより積極的に炉体に押し付ける方法も行われており、Figure 12.14 にその例を示す。

Figure 12.14 Example of Pressing the Door to the Furnace Body by Air Cylinder



Source: Handbook for Industrial Furnaces
(published by The Energy Conservation Center, Japan)

12.2 排ガス温度の低下

先に記したように、排ガス損失は排ガス量と排ガス温度および排ガス比熱の積である。したがって、排ガス温度を低下させることによっても排ガス損失を低減することができる。

12.2.1 空気予熱による燃料節減

炉からの高温排ガスの熱を用いて熱交換器によって燃焼空気を予熱すれば、炉への供給熱量が補充されるので、その分だけ燃料の必要量が減少する。このような熱交換器はレキュペレーターと呼ばれ、これによる燃料節減効果も熱バランスから計算によって求めることができる。この燃料節減率（予熱前の燃料に対する低減効果率）は、空気の予熱温度および排ガス酸素（空気比）濃度により異なる。すなわち同じ空気予熱温度でも空気比の高い、排ガス量の多い操作をしている程燃料節減量は大きくなることを示している。Figure 12.15 に計算結果の例を示す。また、Figure 12.15 および Figure 12.16 から明らかな様に、同じ空気予熱温度でも排ガス温度が高いすなわち効率の悪い操作をしている程燃料節減率は大きくなることがわかり排ガス熱回収の必要性が理解できる。

Figure 12.15 Fuel Saving by Air Preheating (Exhaust gas temperature before preheating: 400 °C)

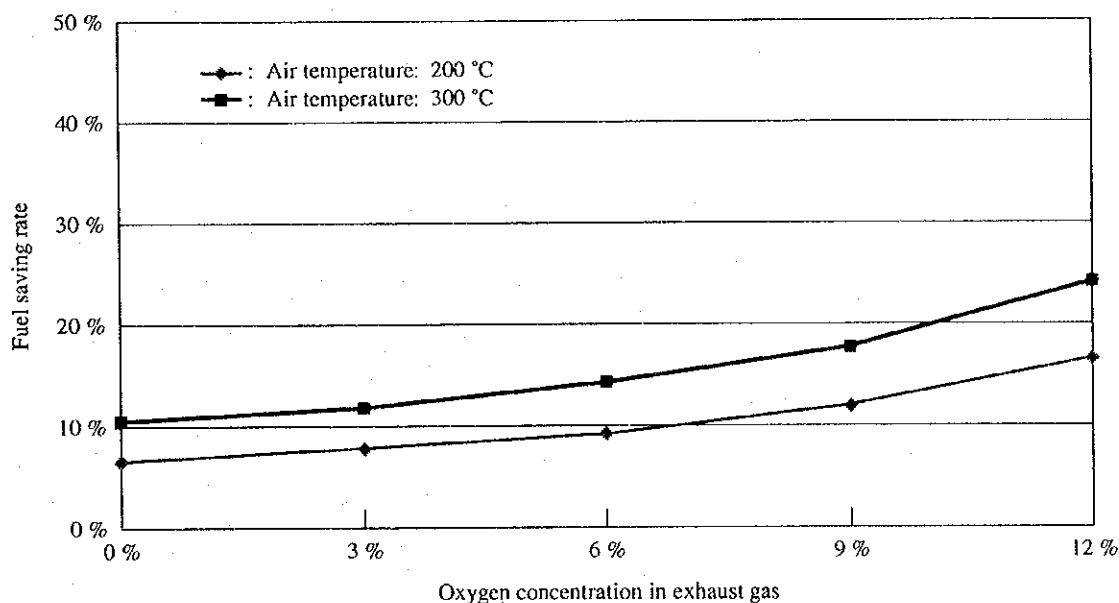
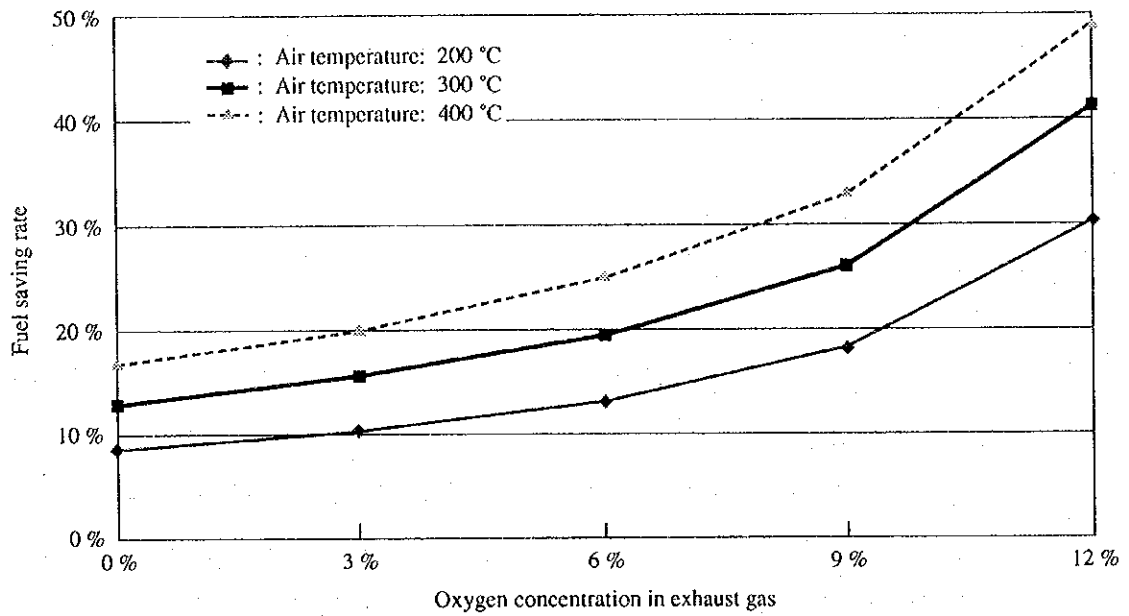


Figure 12.16 Fuel Saving by Air Preheating (Exhaust gas temperature before preheating: 800 °C)



12.2.2 日本の排熱回収率の基準

日本の省エネルギー法による判断基準では、工業炉の排熱回収率の指標を提示している。Table 12.3 にこれを示す。

Table 12.3 Standard and Target Values of Waste Heat Recovery Rate for Furnaces

Exhaust gas temperature (°C)	Capacity class	Exhaust heat recovery rate		(Reference for target)	
		Standard (%)	Target (%)	Waste gas temperature (°C)	Preheated air temperature (°C)
500 & under	A & B	25	30	300	165
500 & over, under 600	A & B	25	30	365	200
600 & over, under 700	A	35	35	400	270
	B	30	30	435	230
	C	25	25	470	195
700 & over, under 800	A	35	35	460	310
	B	30	30	505	265
	C	25	25	545	220
800 & over, under 900	A	40	40	480	395
	B	30	35	525	345
	C	25	30	575	295
900 & over, under 1,000	A	45	50	430	550
	B	35	40	535	440
	C	30	35	590	385
1,000 & over	A	45	50		
	B	35	40		
	C	30	35		

Notes: A: Rating capacity of over 20 Gcal/h.
 B: Rating capacity of 5 to 20 Gcal/h.
 C: Rating capacity of 1 to 5 Gcal/h.

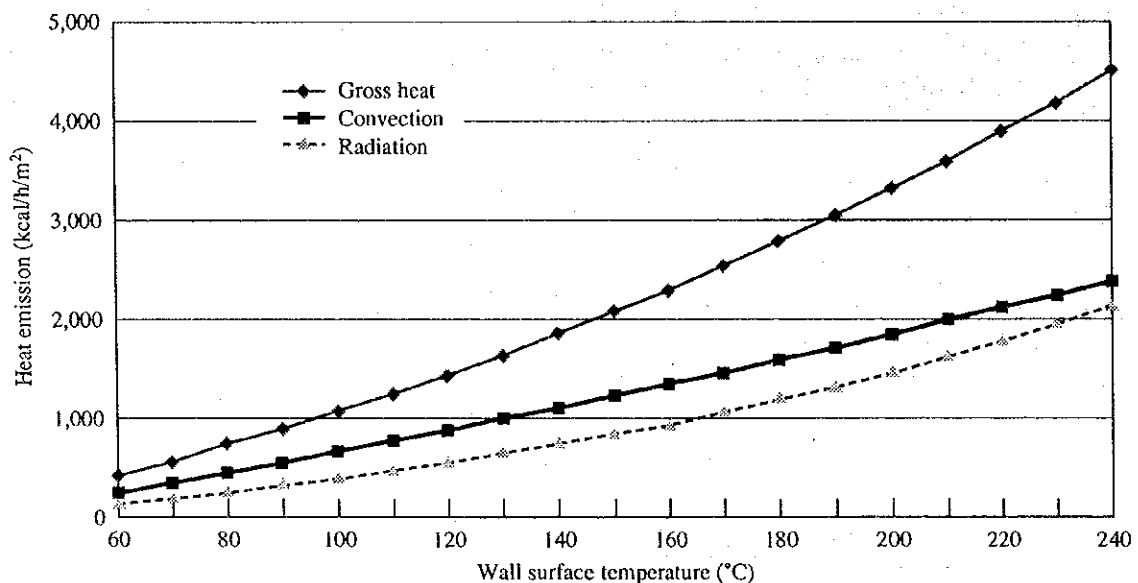
12.3 炉壁・冷却水からの熱損失の低減

12.3.1 炉壁からの放熱量

加熱炉を構成する炉壁は煉瓦などで構成される。この炉壁の表面温度が高ければ炉壁からの熱放散が多くなる。表面からの熱放散は、空気の対流による伝熱と炉壁からの熱放射の2者で構成される。

対流による熱伝達の係数にはいくつかの実験式が提案されており、また熱放射に対しては物理的な式があるので、これらを用いれば炉壁からの熱損失は炉壁温度から計算で求めることができる。熱計算シートには炉壁放熱の計算シートも用意されている。計算例として壁面温度と放熱量を Figure 12.17 に示す。

Figure 12.17 Heat Emission from Furnace Wall
(Emissivity 0.7, vertical wall on natural convection)



この図のように、放熱は対流分と放射分からなり、後者は表面温度の上昇と共に次第にその比率を増加する。

12.3.2 炉壁の断熱の強化

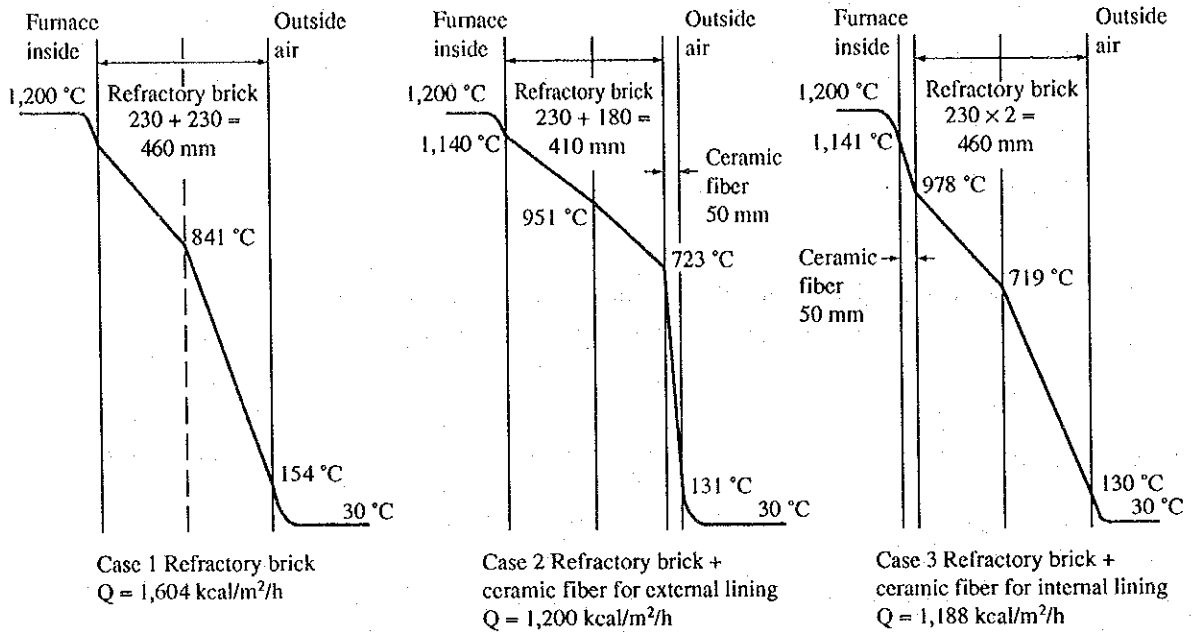
最近の炉では、セラミックファイバを炉壁の断熱材料に用いる例がある。セラミックファイバは断熱効果が優れているので炉壁からの熱損失を低減できる。また、セラミックファイバは、蓄熱量が小さいので、バッチ的操業の炉において、炉体の蓄熱損失の低減に効果がある。Table 12.4、Figure 12.18 には既設の煉瓦による炉壁に対してセラミックファイバをライニングした場合の放熱低減効果の試算を示す。

Table 12.4 Trial Calculation for Reinforcing the Heat Insulation of the Furnace Wall by Ceramic Fiber

Furnace wall structure		Case 1	Case 2	Case 3
		Insulating refractory brick	Lining the external wall with ceramic fiber	Lining the internal wall with ceramic fiber
Furnace internal temperature		1,200	1,200	1,200
Furnace internal wall temperature		1,120	1,140	1,141
First layer	Heat insulating material	Insulating firebrick Class 3	Insulating firebrick Class 3	Ceramic fiber blanket No. 3
	Insulation thickness mm	3	3	50
	Average heat conductivity	230	230	50
Inter-layer temperature		1.321	1.464	0.364
		841	951	978
Second layer	Heat insulating material	Insulating firebrick Class 2	Insulating firebrick Class 2	Insulating firebrick Class 3
	Insulation thickness mm	2	2	3
	Average heat conductivity	230	180	230
Inter-layer temperature		0.537	0.947	1.058
		154	723	719
Third layer	Heat insulating material		Ceramic fiber blanket No. 3	Insulating firebrick Class 2
	Insulation thickness mm		50	2
	Average heat conductivity		0.1013	230
External wall temperature		154	131	130
Ambient temperature		30	30	30
Amount of heat emission	kcal/m ² h	1,604	1,200	1,188
Heat emission rate		100	75	74

Unit of heat conductivity: kcal/m/h

Figure 12.18 Trial Calculation for Reinforcing the Heat Insulation of the Furnace Wall by Ceramic Fiber



このケースでは、ライニングにより炉壁外面の表面温度が低下するので、炉壁放熱量は約 25% 低下することになる。

12.4 製鉄用圧延連続加熱炉の省エネルギー

12.4.1 熱片装入、低温抽出

前工程の余熱を利用してより高温のままの鋼片を加熱炉に装入すれば、大きな省エネルギーになる。鉄鋼業では高温の連铸ビレットを直接に加熱炉に装入するホットチャージや、更に連铸ビレットを高温に維持して直接に圧延機へ導く直送圧延が行われ大きな省エネルギー効果を上げている。

また、圧延工程では塑性加工熱が発生することを利用して、できるだけ低温で加熱炉から抽出する低温抽出も行われている。

〔炉長延長、予熱帯消火〕

加熱炉の熱効率を向上するには、排ガス量を減少させる空気比の適正化とともに、排ガス温度を低下する炉長延長や高温鋼片装入に伴う予熱帯の消火が有力な手段

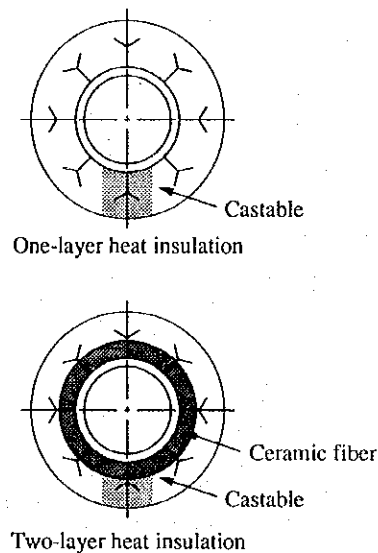
となる。この他、加熱炉が予熱帯・加熱帯・均熱帯からなる場合、熱負荷に応じて各ゾーンの投入熱量を再検討し、いわゆるヒートパターンの改善を行うことにより、排ガス温度を低下させ、その結果として排ガス損失を低減することが行われる。

12.4.2 水冷スキッドの放熱低減

連続加熱炉において水冷スキッド（炉内部の鋼材を支える水冷ビーム）からの熱損失は炉体の放熱とともに排ガス損失に次いで大きい。水冷スキッドの損失熱を低減することは燃料の節約だけではなく、冷却水量も低下させる効果がある。

スキッドの損失熱を低減する方法として、Figure 12.19 に示す 2 層断熱方式がある。

Figure 12.19 Heat Insulation of a Water-cooled Beam



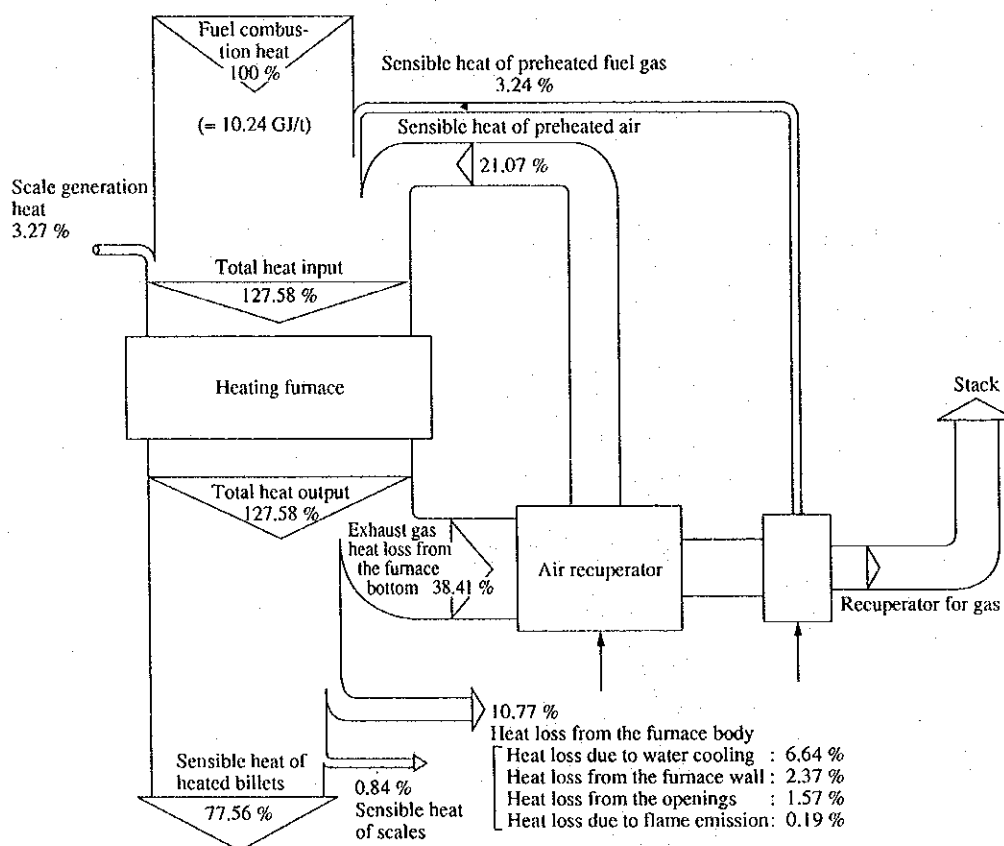
この 2 層断熱では、1 層断熱に比して水冷損失は 40% 低減できるといわれている。ただし 2 層断熱では、スキッドの外径が大きくなるので、鋼材への伝熱においてシャドウ効果が大きくなるので、これを考慮してスキッドを配列することが必要である。

12.4.3 連続加熱炉の熱勘定

加熱炉の熱勘定では、入熱と出熱の明細を求めることにより熱損失を量的に把握し、対策の重要点を明らかにする。熱勘定の方法は日本では規格 (JIS) で定められている。

Figure 12.20 には最近の省エネルギー対策を施した鋼材連続加熱炉の熱勘定の例を示す。

Figure 12.20 Heat Balance Diagram of WB Type Heating Furnace



1. Heating capacity: 300 t/h
2. Billet (slab or bloom) to be heated: 250 T × 1,200 W × 12,000 L
3. Effective length of a furnace: 38 m
4. Load on the furnace floor: 700 kg/m²·h
5. Heating temperature: 30 °C → 1,200 °C
6. Fuel: Mix gas
7. Excess air ratio: 5 %
8. Preheated air temperature: 620 ° (before the burner)
9. Preheated gas temperature: 250 ° (before the burner)
10. Exhaust gas from the furnace bottom: 800 °C
11. Amount of reduction due to burning: 0.6 %
12. Fuel intensity: 10.24 GJ/t

Source: Handbook for Industrial Furnaces
(Published by The Energy Conservation Center, Japan)

なお、鋼材加熱炉の熱勘定に固有な数値として、各種鋼材の含熱量と鉄の酸化反応熱の量を Table 12.5 および Table 12.6 に掲げる。

Table 12.5 Heat Content in Steel Products (Source: JIS 1995 edition)

Amount of heat required for heating a steel product starting from 0 °C (kJ/kg)

Temperature °C	Type of steel	Killed steel	Mild steel (low carbon steel)	Medium carbon steel
		0.08 % C	0.23 % C	0.4 % C
0		0.0	0.0	0.0
50		23.44	23.44	23.44
100		47.72	47.72	47.72
150		72.84	72.84	72.84
200		98.79	98.79	98.37
250		126.00	125.58	124.74
300		153.63	153.21	152.37
350		182.09	182.09	180.84
400		211.81	211.81	210.14
450		243.21	243.21	240.70
500		276.28	276.28	273.35
550		311.02	311.44	307.67
600		348.28	348.69	343.25
650		387.62	388.04	379.67
700		430.32	430.32	418.18
750		487.25	501.90	497.30
800		535.39	549.62	528.27
850		578.51	586.46	553.81
900		619.11	618.69	581.02
950		651.76	651.34	612.41
1,000		684.41	683.57	643.39
1,050		717.48	716.22	675.20
1,100		750.55	748.46	706.60
1,150		783.62	781.53	738.83
1,200		816.69	814.60	771.48
1,250		849.76	848.50	804.97
1,300		883.25	882.83	839.29

Remarks: The values listed in the table above are adopted from the Physical Constants of Some Commercial Steels at Elevated Temperatures, 1953 (The British Iron and Steel Research Association). It should, however, be noted that the values for the temperature range from 0 to 50 °C are those estimated by extrapolation based on "Experiment on heat transfer in continuous slab heating furnaces and the calculation method", 1970 (The Iron and Steel Institute of Japan).

Table 12.6 Iron Oxidization Reaction Heat and Sensible Heat of Scales (Source: JIS 1995 edition)

Reaction	Reaction heat	
	kJ/kg	kJ/kg
$\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{FeO}$	268.954	4.8140 (Fe)
$2\text{Fe} + \frac{3}{2}\text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3$	817.117	7.3172 (Fe)
$3\text{Fe} + 2\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4$	1,117.257	6.6684 (Fe)

Remarks: These values are adopted from Anhaltzahlen für Energieverbrauch (5th edition)

またスケールの生成熱、スケールの顕熱の計算式を下に記す。

〔スケールの生成熱〕

スケールの生成熱は、次のとおりとする。

鋼材 1t あたり焼き減り Fe 量(kg)×スケール生成熱[kJ/kg・Fe]kJ/t 鋼材

Fe 1 kg あたりスケール生成熱は、

[FeO の生成熱 (kJ/kg・Fe)×0.777×FeO(%)+Fe₂O₃ の生成熱(kJ/kg・Fe)×0.700×Fe₂O₃(%)+Fe₃O₄ の生成熱(kJ/kg)×0.724×Fe₃O₄(%)÷T.Fe(%)kJ/kg・Fe により求める。
ただし、スケールの分析を行なわない場合は、5,588.4kJ/kg・Fe とすることができる。

〔スケールの顕熱〕

スケールの顕熱は、次のとおりとする。

鋼材 1t あたり焼き減り量 (kg)× $\frac{100}{T.Fe(\%)}$ ×スケールの平均比熱 [kJ/kg・K]×[抽出平均表面温度(K) - 外気温度(K)]kJ/t 鋼材

ただし、スケールの比熱は 0.900kJ/kg・K とすることができる。また、スケールの分析を行なわない場合 T.Fe = 75.5%とすることができる。

またこの JIS にはこれらの表のほかに、次の各熱量の算出式が記載されている。

- ・外壁からの放散熱
- ・炉床からの放散熱
- ・炉開口部放焰ガス損失熱
- ・炉開孔部放射損失熱

これらを JIS から転記して以下に示す。

(1) 炉体および煙道放散熱

a. 炉壁および煙道からの放散熱

熱勘定実施時間(h)×外壁面積(m²)×[放射による放散熱流束(kJ/m²h)+
対流による放散熱流束(kJ/m²h)]/鋼材質量(t) kJ/t-鋼材

放射による放散熱流束は、

$$q_r(\text{kJ/m}^2\text{h}) = \varepsilon \times 20.428 \times \left[\left(\frac{T_w}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right]$$

自然対流による放散熱流束は、

・ 壁が水平上向きの時

$$q_c(\text{kJ/m}^2\text{h}) = 11.721 \times \Delta T^{1.25}$$

・ 壁が垂直横向きの時

$$q_c(\text{kJ/m}^2\text{h}) = 9.209 \times \Delta T^{1.25}$$

・ 壁が水平下向きの時

$$q_c(\text{kJ/m}^2\text{h}) = 6.279 \times \Delta T^{1.25}$$

によって求める。

ここに、

ε : 炉体表面の放射率

T_w : 外壁温度 (K)

T_a : 室温 (K)

ΔT : $T_w - T_a$ (K)

b. 炉床からの放散熱

炉床からの放散熱は炉床構造によって異なるので、構造条件に適合した計算をしなければならない。例えば、ウォーキングビーム式加熱炉床からの対流による放散熱量は前述(a)項の壁が水平下向きのときの式によって求めることができる。

また、コンクリートにじか積みされた炉床では

熱勘定実施時間(h) × 炉床面積(m_2) × 炉床を通じて失われる熱量($\text{kJ/m}^2\text{h}$) /
鋼材質量(t) kJ/t 鋼材

炉床を通じて失われる熱量は、

$$Q = 3.599 \times S \cdot C \cdot \frac{T_h - T_a}{D} \quad (\text{kJ/m}^2\text{h}) \quad \text{によって求める。}$$

ここに、

S : 炉床の形状によって定まる係数で、円形 -4.1、正方形 -4.5、

長い長方形 -3.8

C : 炉床材料の熱伝導率(W/mK)

T_h : 炉床面温度 (K)

T_a : 室温 (K)

D : 内壁間炉幅 (m)

上の式は壁厚さが——の場合であり、——の時は上の式の 95%、——
 $\frac{D}{6}$ の時は 110%とし、 $\frac{D}{4}$ の他の場合は上記関係が $\frac{D}{8}$
 推定値を求める。

(2) 炉開口部放炎ガス損失熱

熱勘定実施時間中の開口時間(h)×放炎ガス量(m^3_N/h)×[放炎ガスの平均比熱
 (kJ/m^3_NK)×放炎ガスの温度(K)-基準温度の放炎ガスの平均比熱(kJ/m^3_NK)×
 基準温度(K)]/鋼材質量(t) kJ/t 鋼材

放炎ガス量は、

$$G = \alpha \times 4467 \times \sqrt{\frac{273}{T_g}} \times \sqrt{\Delta p} \times A (m^3_N/h) \text{ によって求める。}$$

ここに、

α : 流出口の形による係数で摩擦抵抗係数を f とすれば

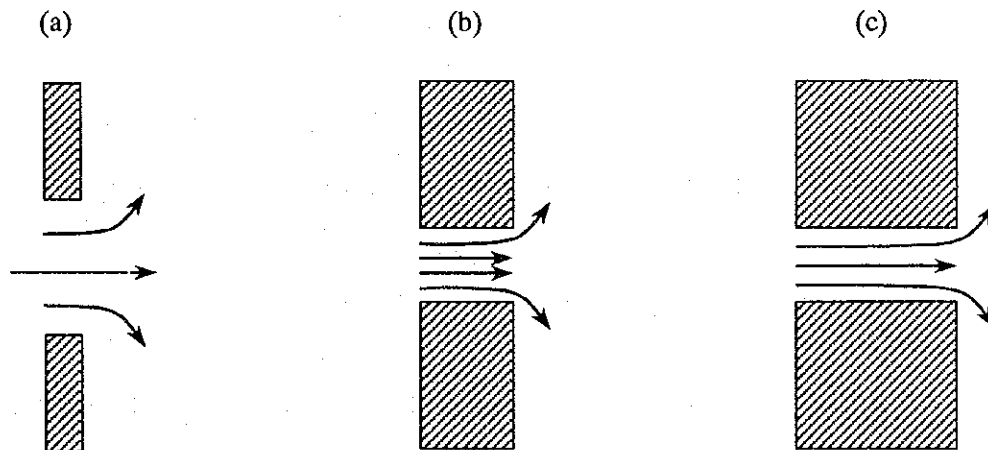
$$\alpha = \frac{1}{1+f}$$

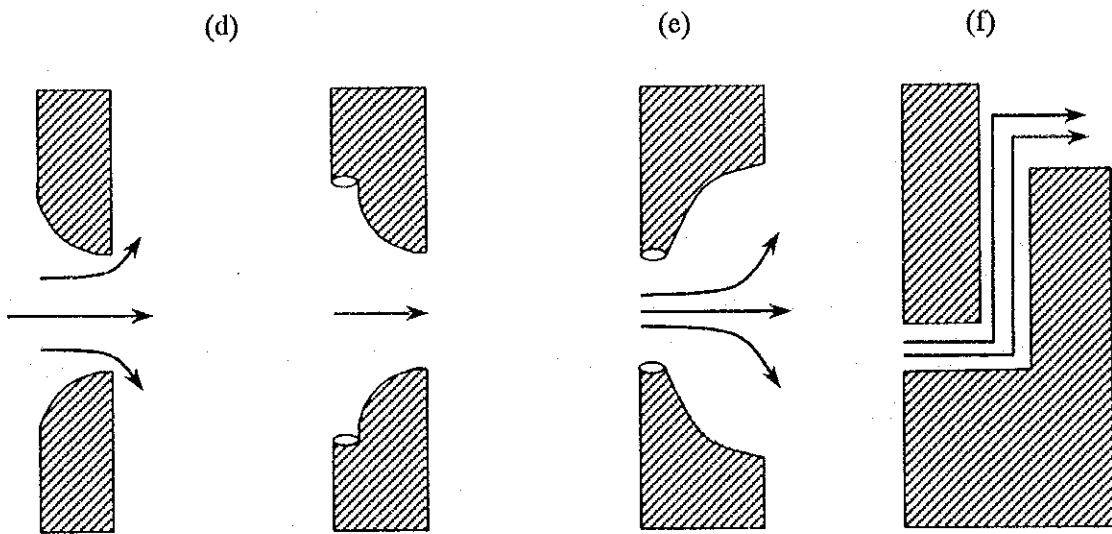
Δp : 開口部における炉内圧 (Pa)

T_g : 放炎ガス温度 (K)

A : 開口面積(m^2)

備考. α は次の基準により決定する。





- (a) 炉壁の厚さが開口部の径 (円径のときは直径、その他の断面では水力半径をとる) の半分以下のとき
 $\alpha = 0.38$ ($f = 1.6$)
- (b) 炉壁の厚さが開口部径の 2.5~3 倍のとき $\alpha = 0.67$ ($f = 0.5$)。なお、0.5~2.5 倍のときは (a) (b) の中間値をとる。
- (c) 炉壁の厚さが開口部径の 3 倍以上のとき、この場合は、最初の 3 倍の所までの f を 0.5 とし、それから以降は、開口部の壁面の摩擦損失だけを考慮して計算する。したがって、 $\alpha < 0.67$ 。
- (d) ガスの入り口が開いている場合で $\alpha = 0.9 \sim 0.95$ ($f = 0.1 \sim 0.05$)。 (d) の右側のように、溶融物が付着している場合 $\alpha = 0.9$ ($f = 0.1$)。
- (e) (a)と(b)の中間の値をとる。
- (f) 一般のドアの隙間で (b) または (c) に曲がり角の圧損を加算する。

(3) 炉開口部放射損失熱

$$\text{熱勘定実施時間中の開口時間(h)} \times \text{開口面積 (m}^2\text{)} \times \phi \times 20.428 \\ \times \left\{ \left(\frac{T_f}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right\} / \text{鋼材質量(t) kJ/t 鋼材}$$

ここに、

ϕ : 炉開口部形状により定まる係数で次の表に示す。

T_f : 炉内温度 (K)

T_a : 室温 (K)

Table 12.7 Emissivity by Shapes of Furnace Openings

Shape of the opening	(Diameter or shortest side) ÷ (Wall thickness)							
	0.01	0.1	0.2	0.5	1	2	4	6
Circular	0.02	0.10	0.18	0.35	0.52	0.67	0.80	0.86
Square	0.02	0.11	0.20	0.36	0.53	0.69	0.82	0.87
Rectangular (2:1)	0.03	0.13	0.24	0.43	0.60	0.75	0.86	0.90
Very slender and long	0.05	0.22	0.34	0.54	0.68	0.81	0.89	0.92

12.4.4 熱勘定表の様式

JISによる熱勘定表の様式を参考のために Table 12.8 ~ Table 12.11 に示す。

Table 12.8 Equipment Overview List

1	Company and factory names		
2	Address		
3	Name of reheating furnace manufacturer		
4	Reheating furnace No.		
5	Rolling mill	Type	
6		Nominal capacity	t/year
7		Major products	
8	Reheating furnace	Type	
9		Nominal capacity	t/h
10		Effective length of furnace × furnace width	mm × mm
11		Dimensions and material of furnace body brick and heat-insulating materials	
12		Kind of fuel used	
13		Type, capacity and quantity of combustion equipment	
14		Type and capacity of ventilation equipment	
15		Type and heating surface area of air preheater	m ²
16		Material, dimensions, mass and heating temperature of standard steel products to be used as a basis for nominal capacity	mm, kg, K

Remark: With regard to the items 10, 11 and 15, a simplified diagram of the vertical and horizontal sections of the furnace (including the dimensions of major parts of the furnace and preheater, the kind of refractory materials and major measurement points) should be attached.

Table 12.9 Long-term Operation Result List

1	Operation date	Date				
			Heating	Heat raising	Heat holding	Shutdown
2	Description of operation time	h/month				
		%				
3	Heating ton	t/month				
4	Ton per heating hour	t/h				
5	Average mass of typical steel products (Maximum and minimum range)	kg				
6	Average temperature of hot charged steel	K				
7	Hot steel product ratio	%				
8	Fuel consumption	kL/month or m ³ / month				
9	Lower calorific value of fuel	kJ/kg or kJ/m ³				
10	Heat intensity per ton of steel product	MJ/t				
11	Work shift status					

Remarks 1. Definitions of operating time shall be described as follows:

- Heating time : Time during which a steel product is being extracted; that is, the operating time of a rolling mill
- Heat raising : Time required for the furnace to be heated up to the temperature when extraction can be conducted
- Holding time : Time during which extracting is stopped due to a failure of equipment other than the furnace, etc.
- Shutdown time: Time during which no operation is performed (including the time for periodical repairs)

2. Definitions of steel products treated as hot-charge steels should be described.

Table 12.10 Measurement Result List

1	Measurement date and time (hours)				
2	Person who made measurements				
3	Weather	Atmospheric pressure	Outside temperature	Ambient temperature	
		MPa	K	K	
				Relative humidity	
				%	
4	Fuel	Kind			
5		Soaking zone upper part	Consumption	kg/t or m ³ /t	
6		Soaking zone lower part	Consumption	kg/t or m ³ /t	
7		Heating zone upper part	Consumption	kg/t or m ³ /t	
8		Heating zone lower part	Consumption	kg/t or m ³ /t	
9		Preheating zone upper part	Consumption	kg/t or m ³ /t	
10		Preheating zone lower part	Consumption	kg/t or m ³ /t	
11		Before the flowmeter	Pressure	Pa	
12		Before the combustion equipment	Pressure	Pa	
13		Inlet of the preheater	Temperature	K	
14		Outlet of the preheater	Temperature	K	
15		Before the flowmeter	Temperature	K	
16		Before combustion equipment	Temperature	K	
17		Mass or volumetric ratio of each component		kg/kg or m ³ /m ³	
18		Lower calorific value		kJ/kg or kJ/m ³	
19		Atomizer	Kind		
20			Soaking zone upper part	Consumption	kg/t or m ³ /t
21			Soaking zone lower part	Consumption	kg/t or m ³ /t
22	Heating zone upper part		Consumption	kg/t or m ³ /t	
23	Heating zone lower part		Consumption	kg/t or m ³ /t	
24	Preheating zone upper part		Consumption	kg/t or m ³ /t	
25	Preheating zone lower part		Consumption	kg/t or m ³ /t	
26	Before the flowmeter		Pressure	Pa	
27	Before the combustion equipment		Pressure	Pa	
28	Before the flowmeter		Temperature	K	
29	Before combustion equipment	Temperature	K		
30	Combustion air	Soaking zone upper part	Consumption	m ³ /t	
31		Soaking zone lower part	Consumption	m ³ /t	
32		Heating zone upper part	Consumption	m ³ /t	
33		Heating zone lower part	Consumption	m ³ /t	
34		Preheating zone upper part	Consumption	m ³ /t	
35		Preheating zone lower part	Consumption	m ³ /t	
36		Hot air blow-off amount		m ³ /t	
37		Before the flowmeter	Pressure	Pa	
38		Before the combustion equipment	Pressure	Pa	
39		Inlet of the preheater	Temperature	K	
40		Outlet of the preheater	Temperature	K	
41		Before the flowmeter	Temperature	K	
42		Before combustion equipment	Temperature	K	
43	Oxygen	Consumption		m ³ /t	
44		Temperature		K	
45		Pressure		Pa	
46		Oxygen purity		m ³ /m ³	
47	Cooling water	Consumption		t	
48		Temperature at the inlet		K	
49		Temperature at the outlet		K	
50	Combustion gas	Pressure		MPa	
51		Furnace bottom temperature		K	
52		Temperature at the preheater inlet		K	
53		Temperature at the preheater outlet		K	
54		Volumetric ratio of each component		m ³ /m ³	
55	Steel product	Average dimensions (Thickness × width × length)		mm × mm × mm	
56		Average mass		kg	
57		Mass meter for charged steel		t	
58		Mass meter for extracted steel		t	
59		Mass meter for steel products in a furnace at the start of measurement		t	
60		Mass meter for steel products in a furnace at the end of measurement		t	
61		Average charge temperature		K	
62		Average extraction temperature		K	
63		Amount of reduction due to burning		kg/t	
64	Average in-furnace time		h		
65	Furnace internal pressure		Pa		
66	Surface temperature of each part of the furnace body		K		

Remark: For the measurement method for item No. 66, a simple sketch of the furnace body should be attached.

Table 12.11 Heat Balance List

Heat input			Heat output		
Item	MJ/t	%	Item	MJ/t	%
(1) Fuel combustion heat			(8) Heat content of the extracted steel product		
(2) Sensible heat of fuel			(9) Sensible heat of scale		
(3) Sensible heat of combustion air			(10) Sensible heat of exhaust gas		
(4) Sensible heat of atomizer			(11) Heat loss due to incomplete combustion gas		
(5) Heat content of a charged steel product			(12) Heat carried away by cooling water		
(6) Heat generated by scale formation					
(7) Heat recovered by the preheater	()	()	(13) Other heat output		
			• Heat loss due to radiation from the furnace body and the flue		
			• Heat loss due to gas flame emission from the furnace openings		
			• Heat loss due to emission from the furnace opening		
			• Heat loss from the piping for preheated fluid		
			• Heat loss due to hot air blow-off		
			• Other heat losses		
			(14) Heat recovered by the preheater	()	()
Total			Total		
(1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6)			(8) + (9) + (10) + (11) + (12) + (13)		

- Remarks
1. For entry of heating values, MJ/t should be used as the unit, and the fractional portion of the number should be rounded off to the first decimal place.
 2. The percentage should be rounded off to the first decimal place.
 3. "Heat recovered by a preheater" means the circulating heat based on the temperature and the flow rate before the combustion equipment.
 4. Other heat losses should be analyzed in as much detail as possible.

12.5 省エネルギー事例

12.5.1 加熱炉の省エネルギー事例

省エネルギーセンターでは 1975 年以降、毎年全国の工場から省エネルギーセンターの改善事例を募って発表会を催している。この内で近年 (1984 年から 1998 年) の事例から「加熱炉」で検索すると 103 件の該当がある。Figure 12.21 にはそれらの業種分布を、Figure 12.22 にはこれらの省エネルギー活動の動機を、Figure 12.23 にはその省エネルギーセンターの内容を類型化して、それぞれ示す。

Figure 12.21 Number of Cases Presented for Reheating Furnaces (1984 to 1998)

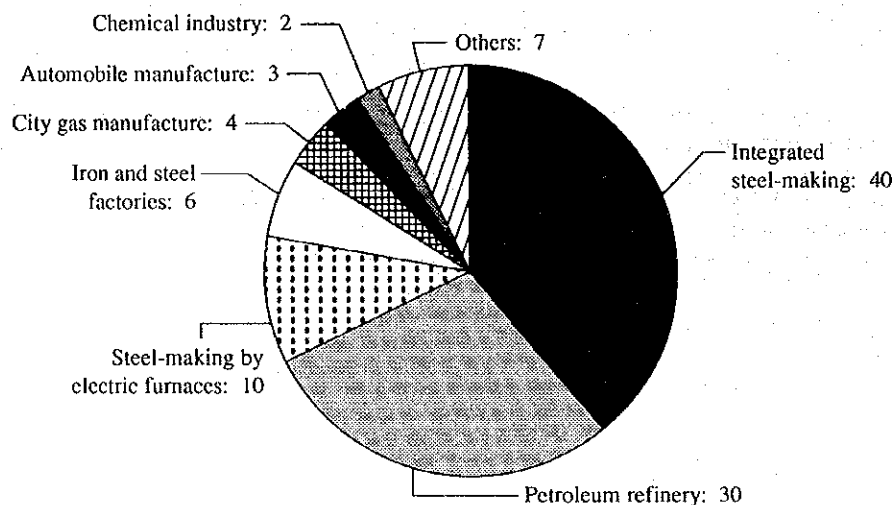


Figure 12.22 Motivations for Energy Conservation

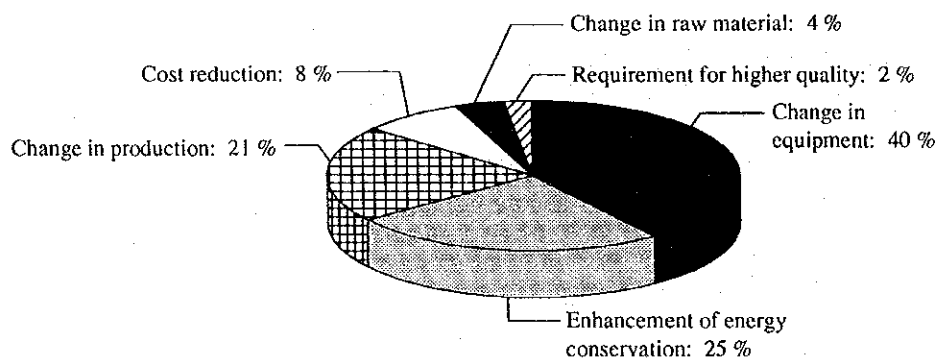
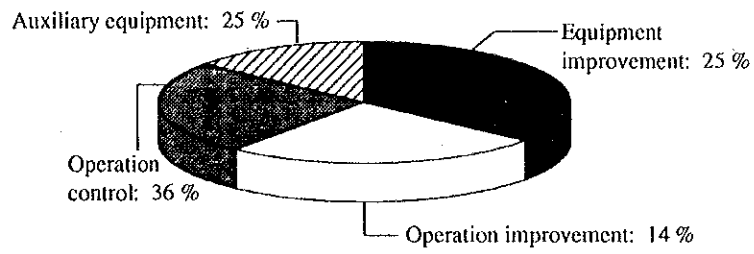


Figure 12.23 Patterns of Energy Conservation



これらの省エネルギー事例は、主として工場での運転員の小集団活動によるものである。既設設備の運転に際しての改善が多くなっている。

改善の内容を簡略にして Table 12.12 に示す。

Table 12.12 Examples of Energy Conservation (heating furnace) (1/5)

Year	ID/ECC	Industrial categories	Process 1	Process 2	Motivation	Pattern	Improvements	Title for presentation
1996	FE96064	Petroleum refinery	Naphtha hydrogenation desulfurizer	Stabilizer heating furnace	Promotion of energy conservation	Auxiliary equipment	Optimum control, devised by operators	Energy conservation for the naphtha-hydrogenation desulfurizer by fuzzy control (for optimum operation)
1996	FE96045	Integrated steel making	Moners for blowers	Large-size motors: 3 locations	Promotion of energy conservation with a focus placed on electricity consumption	Auxiliary equipment	V V F control, removal of heating furnace heat exchanger, etc.	Audit activities for energy conservation and power-saving measures for rotary machines
1996	FE96036	Integrated steel making	Large-size shape steel factory	Heating furnace	Operating system (blast furnace) to be shut down	Operation control	AI in-line control	Establishment of the energy-saving operation method for the continuous heating furnace
1996	FE96009	Integrated steel making	Steel plate factory	Heating furnace	Small-hot multi-item production	Auxiliary equipment	Overheat prevention linked with the process computer	Reduction of the fuel intensity for the steel plate heating furnace
1996	FE96001	Petroleum refinery	Factory as a whole	Global energy management as the comparison target	Global energy management as the comparison target	Operation control	A heat exchanger was newly installed.	Example of energy conservation investment practice by creation of a heat emission loss map
1995	FE95147	City gas manufacture	Naphtha cracking gas manufacture	Raw oil quality change	Frequent occurrence of troubles	Operation control	Review associated with material change (from coal gas to naphtha)	Energy conservation for the city gas manufacturing equipment
1995	FE95090	Iron and steel factories	Steel tube galvanizing	Blowing the steam for removal of the excessive zinc	Operating system (blast furnace: 1)	Auxiliary equipment	Introduction of heat exhaust gas to eliminate steam condensate troubles	Energy conservation by stabilizing operation of the zinc recovery equipment
1995	FE95089	Integrated steel-making	Hot rolling works	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Operation control	Optimization of heat holding, fuel distribution during shutdown	Review of the heating furnace heat holding/raising method for the work shift day
1995	FE95085	Steel-making by an electric furnace	Heating furnace	Caustic regenerator	Promotion of energy conservation	Operation control	Decreasing the setting temperature during hot-charging	Energy conservation by improving the operating method for the preheating/heating furnace
1995	FE95082	Petroleum refinery	Fluid catalytic cracking	Air fin cooler	Promotion of energy conservation	Operation control	Running conditions for exhaust gas pressure recovery turbine	Unceasing effort for power recovery
1995	FE95080	Petroleum refinery	Tower light oil desulfurizer	Disillier-fuel oil heating furnace	Improvement of performance	Operation control	Examination of the rise of the outlet temperature by a dynamic simulator	Further efforts for energy conservation
1995	FE95077	Petroleum refinery	Vacuum light oil desulfurizer	Heating furnace	Process change	Operation control	Air ratio control according to the change in the fuel gas	Reinforced effort for energy conservation for the heating furnace
1995	FE95076	Petroleum refinery	Atmospheric distillation unit	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Operation control	Computerized forecasting of dirt in the heat exchanger and optimization of cleaning	Energy conservation by computer technology
1995	FE95044	Integrated steel-making	Hot rolling factory	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Operation control	Process information such as the extraction order and refinement of slab temperature control	Reduction of the fuel intensity for the No.2 heating furnace in the hot rolling plant
1995	FE95018	Integrated steel-making	Hot rolling factory	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Operation control	Optimization during hot charge	Improvement of the fuel intensity for the heating furnace
1995	FE95001	Steel-making by an electric furnace	Coke oven gas refinery	Heat exchanger	Introduction of new equipment	Operation control	Hydrogenation washing	Improvement measures for light oil heat exchanger efficiency
1994	FE94112	Automobile manufacture	Engine manufacture	Cum shaft die casting	Increasing the production	Operation control	Heat-insulated cover for the molten metal, refractory lining, and tapping nozzle material	Energy/resource saving by die casting
1994	FE94099	Automobile parts manufacture	Electric furnace	Heating furnace	Small-hot multi-item production	Equipment improvement	Modification of the furnace body for increasing production	Reduction of the electricity intensity by modifying the furnace body for the high-frequency induction heating furnace
1994	FE94078	Integrated steel-making	Heating furnace for seamless steel pipe	Raw oil quality change	Raw oil quality change	Operation improvement	Optimization of the charging method and setting temperature by making the rolling length longer	Reduction of the fuel intensity for the small-diameter tube heating furnace
1994	FE94070	Petroleum refinery	Raw oil heating furnaces	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Equipment improvement	Additional installation and reinforcement of heat exchangers to cope with the change in the quality of the processed raw oil	Energy conservation by rearrangement of the raw oil preheating heat exchangers
1994	FE94065	Chemistry	Raw material heating equipment	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Equipment improvement	Two materials separately heated are put in series heating	Energy conservation for the N2 manufacturing process
1994	FE94047	Integrated steel-making	Hot rolling factory	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Auxiliary equipment	Coping with minimum operation, countermeasures against air invasion, and installation of a partition wall in the preheating zone	Measures for fuel intensity reduction for the hot roll heating furnace
1994	FE94035	Integrated steel-making	Hot rolling factory	Heating furnace	Retrofitting the furnace	Equipment improvement	Full-ceramic furnace body	Reduction of the fuel intensity by renewing the heating furnace for the hot rolling factory
1994	FE94032	Integrated steel-making	Hot rolling factory	Heating furnace	Retrofitting the furnace	Equipment improvement	Furnace shape improvement, fuel/air preheating, and reducing the number of operating burners	Energy conservation for the steel product heating furnace
1994	FE94008	Petroleum refinery	Fuel oil desulfurizer	Raw oil heating furnace	Worsening of the energy intensity	Operation control	Removal of scales on the inner surface of the intermediate section based on heat balance results	Limitless energy conservation for the heating furnace
1994	FE94002	Petroleum refinery	Atmospheric distillation unit	Raw oil heating furnace	Promotion of energy conservation	Operation control	Raising the raw oil storage temperature and improvement of heat exchange process	Energy conservation activities for the atmospheric distillation equipment (Effort for improvement of the process heat recovery)
1993	FE93102	Integrated steel-making	Steel plate factory	Heating furnace	Inconsistency in process control	Operation control	Making the charging order variable	Effort toward 100,000 kcal/t of heat intensity in the continuous heating furnace

Table 12.12 Examples of Energy Conservation (heating furnace) (2/5)

Year	ID/ECC	Industrial categories	Process 1		Process 2		Motivation	Pattern	Improvements	Title for presentation
			Pipe manufacture factory	Heating furnace	Heating furnace	Heating furnace				
1993	FE93100	Integrated steel-making	Hot rolling factory	Heating furnace	Small-for multi-ton production	Small-for multi-ton production	Operation control	Improvement of heating pattern and temperature rise/drop pattern during lunch break	Reduction of the fuel intensity in the heating furnace in the small diameter tube manufacturing plant	
1993	FE93095	Integrated steel-making	Hot rolling factory	Heating furnace	Furnace retrofitting/hot charging	Furnace retrofitting/hot charging	Auxiliary equipment	Improvement of furnace setting temperature and the finishing stand water drainage	Effort toward 250,000 kcal of fuel intensity for the reheating furnace	
1993	FE93082	Rubber products	Raw rubber refining process	Natural rubber heating process	Seasonal adjustment	Seasonal adjustment	Equipment improvement	Changing the heating source from steam to microwave	Energy conservation by heating rubber with microwave	
1993	FE93021	Iron and steel factories	Heating furnace for seamless steel pipe	Heating furnace	Trouble in furnace pressure control	Trouble in furnace pressure control	Auxiliary equipment	Countermeasures against air invasion during extraction parts charging	Energy conservation by reducing the load on the induced draft fan for exhaust gas	
1993	FE93013	Integrated steel-making	Manufacture of forged-welded steel tubes	Heating furnace/transfer line	Improvement of yield	Improvement of yield	Equipment improvement	No sealed transfer	Total energy reduction by reducing the scale loss in the forged-welded steel tube manufacturing line	
1992	FE92126	Automobile manufacture	Heat-treatment furnace	Heating furnace	Energy conservation during non-operating time	Energy conservation during non-operating time	Operation control	Reduction of furnace temperature and atmospheric gas supply	Energy conservation for the sintering furnace and continuous reheating furnace on holidays	
1992	FE92107	Integrated steel-making	Steel product heating furnace	Skid tation	Improvement of product quality	Improvement of product quality	Auxiliary equipment	Skid burner shape change/material improvement	Development of low-energy conservation type high melting furnace	
1992	FE92104	Integrated steel-making	Hot rolling factory	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Promotion of energy conservation	Operation improvement	Holding monthly meetings with the process departments and body departments holding daily meetings	Reduction of the fuel intensity for the heating furnace by DPCR	
1992	FE92092	Petroleum refinery	Heavy oil hydrogenation desulfurizer	Hydrogen manufacturing equipment	Important items to be implemented	Important items to be implemented	Equipment improvement	A hydrogen film separating unit was newly installed to desulfurize together with the existing equipment after being repaired	Enhancing the efficiency of the hydrogen supply system	
1992	FE92047	Automobile manufacture	Forge reheating furnace	High-frequency induction furnace	Promotion of energy conservation	Promotion of energy conservation	Equipment improvement	The skid rail for transport was substituted and ceramic was used instead	Using ceramic as the material for high-frequency induction heating furnace body	
1992	FE92041	Integrated steel-making	Blooming mill	Heating furnace	Small-for multi-ton production	Small-for multi-ton production	Auxiliary equipment	Burner modification and development of a device for removing the scales on the skid	Reduction of the fuel intensity for the heating furnace	
1992	FE92031	Integrated steel-making	Hot rolling mill	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Promotion of energy conservation	Operation control	Reverse charging of rejected hot slab into the furnace's extraction hole	Combustion intensity reduction measures for the heating furnace	
1991	FE91101	Iron and steel factories	Cast forging	Heating furnace	Annual target policy of the section	Annual target policy of the section	Operation control	Heat pattern and burner were changed	Energy conservation for the walking beam type continuous reheating furnace	
1991	FE91098	Steel-making by an electric furnace	Rolling mill	Large-size heating furnace	Promotion of energy conservation	Promotion of energy conservation	Operation control	Improvement of burner load distribution	Fuel intensity reduction for a large heating furnace	
1991	FE91047	Integrated steel-making	Large-size shape steel factory	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Promotion of energy conservation	Operation control	Air ratio, furnace internal pressure, heat holding damper, heat pattern, and furnace wall ceramic	Thoroughgoing on-site analysis for combustion improvement	
1991	FE91028	Petroleum refinery	Atmospheric distillation unit	Heating furnace	Raw oil quality change	Raw oil quality change	Operation control	Naphtha lead pressure setting was based on the type of raw oil, and control of washing tower NaOH	Pursuit of energy conservation for atmospheric distillation equipment	
1991	FE91011	Petroleum refinery	Vacuum light oil desulfurizer	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Promotion of energy conservation	Equipment improvement	Two-stage distilling operation was integrated into a single stage	Reduction of heating energy for the vacuum light oil desulfurizing equipment	
1991	FE91001	Petroleum refinery	All processes	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Promotion of energy conservation	Operation control	Development/display of management and control screens and setting of the standard for intermediate product quality	Energy conservation effort for shift-basis work system - Development and utilization of the management and control screens	
1990	FE90147	Electric enterprises	Thermal power station	Boiler	Cost reduction	Cost reduction	Operation control	Operation control of auxiliary machine/desulfurizer operation and temperature control of chamber gas layout in the convection section, and weighing/heat insulation	Reduction of DSS start-up losses	
1990	FE90144	City gas manufacture	Coal tar distillation equipment	Heating furnace	Furnace retrofitting	Furnace retrofitting	Equipment improvement	Combustion volume distribution, tube layout and weighing/heat insulation	Energy conservation measures for the coal tar distiller heating furnace	
1990	FE90088	Petroleum refinery	Vacuum distillation, waste water treatment	Heating furnace	Integration of formal organizations	Integration of formal organizations	Equipment improvement	Lowering boiler pressure and modifying the gas burners in order to adopt natural draft	Energy conservation activity challenging the environmental changes with reinforced determination	
1990	FE90087	Petroleum refinery	Naphtha catalytic reforming device	Waste heat boiler	Promotion of energy conservation	Promotion of energy conservation	Equipment improvement	Advanced control of water supply distribution to three waste heat boilers based on temperature	Maximization of waste heat recovery through advanced control	
1990	FE90086	Petroleum refinery	Heavy oil desulfurizer	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Promotion of energy conservation	Equipment improvement	Exhaust heat recovery was changed from the boiler to raw oil plus hydrogen	Waste heat recovery by improving the heating furnace for the heavy oil desulfurizing equipment	
1990	FE90084	Petroleum refinery	Naphtha desulfurization reforming device	Stripper	Raw oil quality change	Raw oil quality change	Operation control	Stripper temperature/pressure control according to the raw oil	Energy conservation by improving the stripper running method	
1990	FE90082	Petroleum refinery	Pour point depressing unit	Raw oil heat exchanger	Improvement of maintenance	Improvement of maintenance	Operation control	Reduction of dirt in the heat exchanger through control of raw oil quality	Energy conservation by preventing dirt in the raw oil heat exchanger	
1990	FE90038	Integrated steel-making	Sizing mill heating furnace	Heating furnace	Changing the operation in the upstream process	Changing the operation in the upstream process	Auxiliary equipment	Dual slab cutting torch, and roll cooling by spraying air/water	Further efforts for improvement of the continuous cast steel temperature	

Table 12.12 Examples of Energy Conservation (heating furnace) (3/5)

Year	ID/ECC	Industrial categories	Process I	Process 2	Motivation	Pattern	Improvements	Title for presentation
1990	FE90028	Steel tubes manufacture	Erhart tube manufacture	Heating equipment	Promotion of energy conservation	Auxiliary equipment	Air ratio, preheated air temperature, ceramic fiber, and variable flame	Reduction of the heating energy in the Erhart tube manufacturing process
1990	FE90020	Steel-making by an electric furnace	Heating furnace		Worsening of the energy intensity	Operation control	Temperature measuring position, combustion air temperature, and burner fuel distribution	Improving measures for fuel oil intensity of the heating furnace
1990	FE90018	Steel-making by an electric furnace	Forging mill	High-frequency heating furnace	Development of equipment	Equipment improvement	Development of a vertical high-frequency heating furnace	Development of the vertical high-frequency heating furnace
1990	FE90013	Integrated steel-making	Hot rolling mill		Controlling the temperature of the material to be heated	Operation control	Changing schedule and operation improvement for empty furnace	Energy conservation activities by using a more efficient operation mode
1990	FE90011	Integrated steel-making	Steel plate factory	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Operation control	High-temperature charging and lead time reduction	Improvement of the hot steel product charging temperature for steel plate manufacture
1990	FE90008	Petroleum refinery	Atmospheric/vacuum distillation unit		Reviewing the integration of processes	Equipment improvement	Development of an ideal heat recovery calculation program	Reduction measures for heating furnace intensity for the petroleum refinery
1989	FE89143	City gas manufacture	Naphthalene heating furnace		Promotion of energy conservation	Equipment improvement	Preheating the combustion air by using the exhaust from the air cooler	Energy conservation for the heating furnace through recovery of waste gas and hot air
1989	FE89093	Steel-making by an electric furnace	Roll heating furnace		Promotion of energy conservation	Equipment improvement	An air preheater was newly installed; DDC was adopted for instrumentation	Energy conservation measures for the continuous heating furnace
1989	FE89092	Steel-making by an electric furnace	Fuel oil tank	Tank preheating electric heater	Promotion of energy conservation	Auxiliary equipment	Switching from constant heating to oil supply temperature detection control	Fuel oil tank and heater temperature control
1989	FE89091	Steel-making by an electric furnace	High-frequency heating furnace		Promotion of energy conservation	Equipment improvement	Heating coil shape was changed	Reduction of the electricity intensity for the high-frequency heating furnace by improving the coil efficiency and eliminating minor stoppages
1989	FE89051	Steel-making by an electric furnace	Roll heating furnace		Small-hot multi-item production	Operation control	Heating temperature pattern and control standard	Activities for improving the fuel intensity
1989	FE89047	Integrated steel-making	Hot rolling mill	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Operation control	Pressure setting for the air blower according to the combustion volume	Improvement of the electricity intensity through automatic control of the combustion air pressure
1989	FE89033	Iron and steel factory	Tube manufacturing factory	Heating furnace	Cost reduction	Operation control	Changing the combustion gas route and temperature rise pattern	Improvement of heavy oil A intensity for the pipe in coil
1989	FE89032	Petroleum refinery	Distillator heating furnace		Promotion of energy conservation	Auxiliary equipment	Using a microcomputer for control of oxygen in the exhaust gas	Energy conservation by improving the heating furnace control system
1989	FE89027	Integrated steel-making	Tube manufacturing factory	Rotary furnace floor heating furnace	Worsening of energy intensity due to low production	Operation improvement	Burner distribution, temperature control standard, and door improvement	Reduction of the fuel intensity for the heating furnace in the medium-size tube plant
1989	FE89007	Petroleum refinery	Fuel oil desulfurizer		Change in demand	Auxiliary equipment	Controlling the number of exhaust gas damper impellers on a variable basis, setting it according to the combustion load, and burner control	High-efficiency operation of raw oil heating furnace implemented by a team — Energy conservation achieved by modifying the damper
1988	FE88142	Petroleum refinery	Atmospheric distillation unit	Raw oil heating furnace	Decline in production	Operation improvement	Dropping the air preheater dew point control temperature because of reduction of sulfur in the raw oil	Energy conservation by reviewing the air preheater control temperature
1988	FE88129	City gas manufacture	Naphthalene heating furnace		Promotion of energy conservation	Equipment improvement	A stud was installed in the floating pipe and heat pipes, installed for air	Energy conservation measures for the naphthalene heating furnace
1988	FE88094	Integrated steel-making	Large-size shape steel factory	Heating furnace	Decline in production	Operation improvement	Monthly gas analysis for air, furnace operation control, and temperature rise/extraction	Reduction of the fuel intensity for the heating furnace by the One by One activity
1988	FE88060	Integrated steel-making	Service water supply	Electric power for service water	Promotion of energy conservation	Operation improvement	Temperature suitable for holidays implementation of 100 items for energy conservation (with small investments), and control in terms of kWh/ton	Effort for service water electricity reduction of 1000 kW with zero investment
1988	FE88041	Integrated steel-making	Steel plate factory	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Operation improvement	Control including that for the preceding process for hot charge improvement and use of the heating model	Reduction of the fuel intensity for the plate heating furnace — Efforts for continuous integrated operation from tapping to rolling
1988	FE88038	Integrated steel-making	Steel plate factory	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Auxiliary equipment	Temperature unevenness was eliminated by developing a slab surface scale removing equipment	Energy conservation by removing scale from the charged slab
1988	FE88002	Petroleum refinery	Heating furnace	Steam line	To cope with the cold region conditions	Auxiliary equipment	Temperature control trap was adopted (to avoid freezing), and heat insulation of the heating furnace was enhanced	Energy conservation activity for the oil refinery equipment in cold districts
1987	FE87052	Petroleum refinery	Atmospheric distillation unit		Limit in the utilization of microcomputer	Operation improvement	Application of a computer and improvement of analysis meter accuracy	Energy conservation for the atmospheric distilling equipment by computer

Table 12.12 Examples of Energy Conservation (heating furnace) (4/5)

Year	ID/ECC	Industrial categories	Process 1	Process 2	Motivation	Pattern	Improvements	Title for presentation
1987	FEX7036	Integrated steel-making	Steel plate factory	Heating furnace	With the newly modified heating furnace	Operation improvement	Hot charge was improved and oxygen load factor was controlled with Nox. fuel distribution	Reduction of the fuel intensity for the plate continuous heating furnace
1987	FEX7033	Integrated steel-making	Steel plate factory	Heating furnace	Comparison with competing companies	Auxiliary equipment	Preventive maintenance was enhanced and a heat insulating cover was installed on the transfer table.	Effort for fuel intensity ~25% for the plate continuous heating furnace
1987	FEX7031	Iron and steel factories	Heating furnace		Promotion of energy conservation	Auxiliary equipment	Controlling the furnace internal atmosphere by installing an oxygen meter and prevention of oxidative atmosphere by LFG injection	Reduction of the butane gas intensity for the heating furnace by O ₂ meter control
1987	FEX7024	Integrated steel-making	Steel bar factory	Heating furnace	Frequent occurrence of troubles and shutdowns	Auxiliary equipment	A partition was installed on the top of the heating zone to improve the furnace heat hold-up control	Improvement of the bar steel heating furnace
1987	FEX7016	Petroleum refinery	Vacuum distillation unit	Raw oil heating furnace	Frequent occurrence of burner troubles	Operation improvement	Optimization of atomizing and control of the register opening degree	Efforts for optimization of the heating furnace operation
1986	FEX6116	Petroleum refinery	Vacuum distillation unit	Heating furnace	To achieve a substantial effect with a large-size furnace	Operation improvement	O ₂ reduction, clearance joint cawking and red indication of the O ₂ meter	Reduction of control values for the heating furnace of the vacuum distilling equipment
1986	FEX6105	Petroleum refinery	Indirect desulfurizer	Heating furnace	A large fluctuation in O ₂	Operation improvement	Improvement of the seal for the operating lever of the air register	Thorough implementation of O ₂ control for the heating furnace
1986	FEX6084	Integrated steel-making	Wire and steel rod rolling	Heating furnace	Energy conservation along with maintenance of high quality	Operation improvement	Setting of the furnace internal temperature distribution with consideration given to the decarbonized depth	Energy conservation by the computer control activity for the heating furnace
1986	FEX6068	Integrated steel-making	Steel tube manufacture	Rotary heating furnace	Cost reduction	Auxiliary equipment	Reduction of extraction door opening/closing time by improving the hydraulic device	Energy conservation activity for the extraction zone of the rotary heating furnace
1986	FEX6060	Integrated steel-making	Hot rolling mill	Heating furnace	Cost reduction	Equipment improvement	Recuperator was improved, an exhaust heat boiler and skid boiler were installed	Total exhaust heat recovery for the heating furnace in the hot rolling plant
1986	FEX6021	Petroleum refinery	Reforming furnace for hydrogen manufacture		Promotion of energy conservation	Equipment improvement	Natural ventilation was introduced by stopping the forced draft ventilation fan when the load is small	Energy conservation by stopping the blower for the heating furnace
1985	FEX5133	Chemistry	Manufacture of man-made fiber intermediate material	Thermal heating furnace	A large fluctuation in fuel consumption	Operation control	Making the load uniform at the heat medium consumers and improvement of fuel control valve sensitivity	Fuel reduction for the COG heating furnace
1985	FEX5071	Integrated steel-making	Semi-finished steel product manufacturing factory	Semi-finished steel product heating furnace	Black smoke emitted at setting change	Operation control	Fuel-air control software was changed (to avoid extraction door's external disturbance)	Reduction of the fuel intensity by improving O ₂ control in the heating furnace
1985	FEX5069	Iron and steel factory	Rolling mill	Semi-finished steel product heating furnace	Review based on heat balance results	Equipment improvement	Prevention of leak from the recuperator and additional recycling of air	Improvement of the fuel intensity for the bar steel heating furnace
1985	FEX5026	Petroleum refinery	Naphtha reforming unit	Hydrogenation desulfurizer	Cost reduction	Operation improvement	Cleaning of recuperators preventing air invasion	Challenge of expanding the limit for reducing O ₂ in the heating furnace
1985	FEX5021	Integrated steel-making	But-welded steel tube manufacturing equipment	Heating furnace	Cost reduction	Equipment improvement	Adopting the air-cooled skid instead of water-cooled skid to recover hot air for use	Energy conservation measures for the forge-welded steel tube skelp heating furnace
1985	FEX5010	Aluminium processing	Rolling mill	Ingot heating furnace	Promotion of energy conservation	Equipment improvement	Reduction of the rotational speed of the hot air circulation fan in the furnace	Energy conservation for the aluminium ingot heating furnace in the hot rolling plant
1985	FEX5007	Integrated steel-making	Hot rolling mill	Heating furnace	Reinforcement of measurement control	Auxiliary equipment	Improvement of O ₂ control during minimum combustion, and high selection of the pyrometer in the furnace	Reduction of the fuel intensity for the hot-rolled slab heating furnace by applying the functional control technique
1984	FEX4096	Integrated steel-making	Steel bar factory	Heating furnace	Switching to by-product gas	Auxiliary equipment	Modification of the burner wall and control according to the LD gas holder level	Improvement of the fuel intensity for the heating furnace by using the converter gas
1984	FEX4084	Steel-making by an electric furnace	Special steel tube manufacture	Batch heating furnace	Small-lot multi-item production	Equipment improvement	Fuel charging pattern was improved, and a recuperator was installed	Reduction of fuel intensity for batch type heating furnace
1984	FEX4075	Integrated steel-making	Steel bar factory	Heating furnace	Cost reduction	Auxiliary equipment	Flue damper was adjusted under low load.	Improvement of the downstream flue damper for the heating furnace
1984	FEX4060	Integrated steel-making	Large-size shape steel factory	Heating furnace	Reinforcing the effort for energy conservation which has been less active	Operation improvement	Track time was reduced, and the recuperator's heating surface was expanded.	Reduction of the fuel intensity for the large heating furnace
1984	FEX4058	Integrated steel-making	Small-diameter tube factory	But-welded tube heating furnace	Cost reduction	Auxiliary equipment	Modification of burners, and oxygen-enriched combustion	Energy conservation by raising the flame temperature of the forge-welded steel tube heating furnace

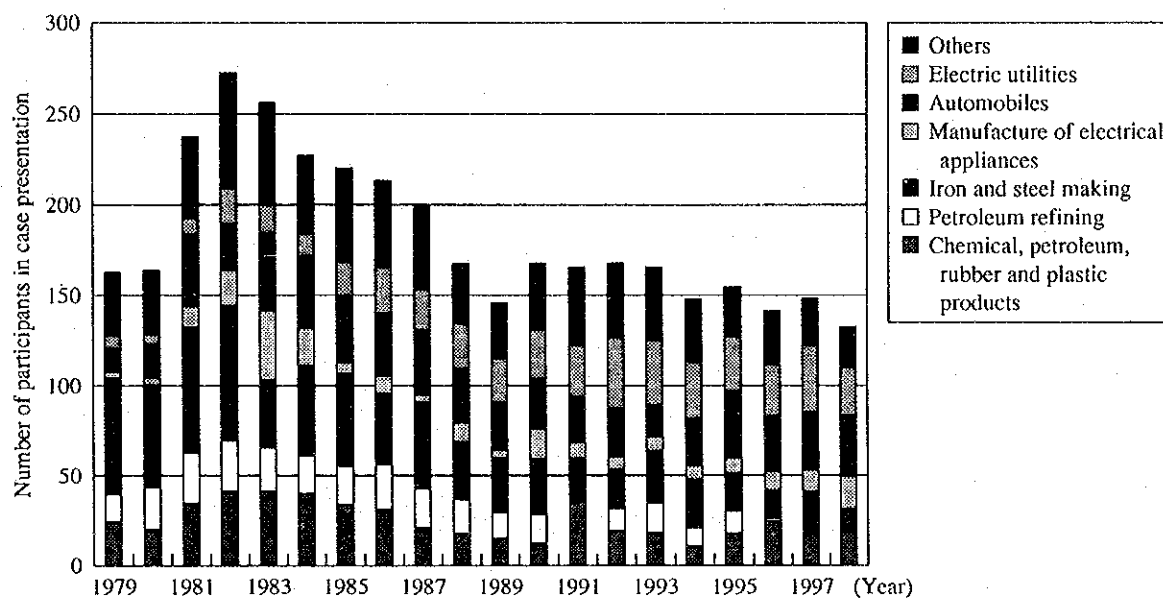
Table 12.12 Examples of Energy Conservation (heating furnace) (5/5)

Year	ID/ECCC	Industrial categories	Process		Motivation	Pattern	Improvements	Title for presentation
			Process 1	Process 2				
1984	FES4057	Integrated steel-making	Steel plate factory	Heating furnace	Cost reduction	Auxiliary equipment	Use of an electrical combustion fan damper, and automated control of air/fuel ratio	Energy conservation for the plate steel slab heating furnace
1984	FES4043	Integrated steel-making	Hot rolling factory	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Operation improvement	Dual charging door, reduced flue, and a partition in the preheating zone	Improvement of the fuel intensity by preventing air invasion to the hot heating furnace
1984	FES4022	Integrated steel-making	Seamless steel pipe factory	Rotary heating furnace	Promotion of energy conservation	Equipment improvement	Energy conservation incorporated into the newly installed heating furnace	Effort toward No. 1 ranking in the world with regard to the fuel intensity of the new heating furnace in the integrated tube plant
1983	FES3255	Brick burning	Refractory heating furnace	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Equipment improvement	Use of ceramic fiber, utilization of sintering furnace exhaust, reinforcement of seal	Energy conservation for the refractory heating furnace by exhaust heat recovery
1983	FES3158	Construction heavy machinery manufacture	Electric heat-treatment furnace	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Operation improvement	Weight reduction of jigs, stopping of cooling fans, and adjustment of the door opening degree	Energy conservation for the large electrical heating furnace by operation improvement
1983	FES3097	Integrated steel-making	Hot rolling factory	Heating furnace	Trouble with the exhaust gas analyzer	Operation improvement	Countermeasures against failures of the meters for the newly installed furnace, and clogging of sample pipes	Reduction of the fuel intensity by stabilized operation of O ₂ control for the continuous heating furnace
1983	FES3087	Integrated steel-making	Hot rolling factory	Heating furnace	Cost reduction	Auxiliary equipment	Measurement of in-furnace slab temperature, reduction of the cooling zone, furnace floor, and semi-slab skid	Substantial reduction of the fuel intensity for the heating furnace in the hot roll plant — Challenge of expanding the limit based on a viewpoint from a different angle
1983	FES3057	Integrated steel-making	Steel plate factory	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Operation improvement	Hot slab charge expansion, and heat pattern suitable for hot slab	Reduction of the fuel intensity for the heating furnace
1983	FES3056	Integrated steel-making	Steel pipe manufacture	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Auxiliary equipment	Heat insulation boards on the furnace body (ceiling, side walls, and furnace floor)	Energy conservation for the roll heating furnace
1983	FES3037	Petroleum refinery	Atmospheric distillation and hydrogenation desulfurizing	Heating furnace	Promotion of energy conservation	Auxiliary equipment	Prevention of air leak from the furnace floor, and damper control according to oxygen in the furnace	Effort toward reduction of exhaust gas O ₂ in the heating furnace to 25 %
1983	FES3030	Integrated steel-making	Steel plate factory	Heating furnace	Improvement of computerized control	Operation improvement	Changing the control logic and mixing of hot and cold slabs	Improvement of the actual operation by application of computer control to the heating furnace

12.5.2 省エネルギー事例発表大会

省エネルギーの改善事例発表会は、1975年に第1回が開催され、これ以降1998年までに延べ3646件の参加があった。これを業種区分とともに Figure 12.24 に示す。

Figure 12.24 Entries to the Case Presentation Convention



事例発表大会への参加は省エネルギーセンターの会員工場が主体となるので、多くの場合に大規模工場である。

改善の動機は、先に Figure 12.22 に示した。生産設備や操業は当初に計画された状況よりは常に変化している。すなわち、生産量の変化、生産品質の変化、周辺設備技術の進歩、原材料の変化、等々が常に生じており、これらの変化に対応した省エネルギー上の最適化を追求した結果が事例発表に表れている。

このような生産環境の変化は各工場に固有のものであるので、発表事例をそのまま他の工場に適用しても、必ずしもよい結果は得られないであろう。しかし、発表された改善は多岐に亘っており、その内容は自工場における改善にヒントを与えるであろう。

JICA