

タイ王国省エネルギー計画アフターケア調査

エネルギー診断技術ワークショップテキスト

---

## 7. ボイラ運転の省エネルギー

---

1994年3月

国際協力事業団 (JICA)  
財団法人 省エネルギーセンター (ECCJ)



## 1. 分類

### 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 1 のようになる。

**Table 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.

#### 1.1 丸ボイラ

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

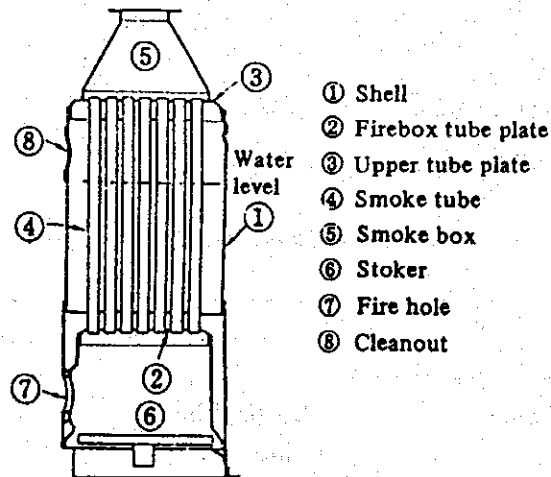
丸ボイラは水管ボイラに比べて容量当たりの水保有量が大きいので、スタートアップに時間がかかるが、反面負荷変動に対する圧力変動は小さくてすむ。

##### a. 立てボイラ

Figure 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。

床面積が少なくてすみ、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 1 Vertical boiler (multitubular type)**



b. 炉筒ボイラ

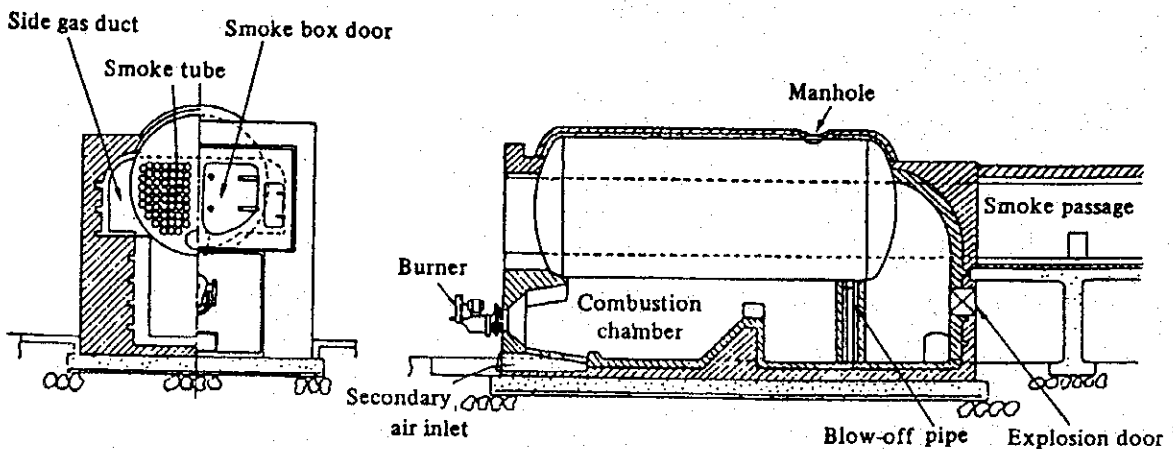
胴部を貫通して1本又は2本の炉筒を設け、炉筒内にバーナを取り付けてある。炉筒1本のものゝをコルニシュボイラ、2本のものゝをランカシャボイラと呼ぶ。伝熱面積が小さく効率が悪いので、最近はほとんど作られていない。

c. 煙管ボイラ

Figure 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。

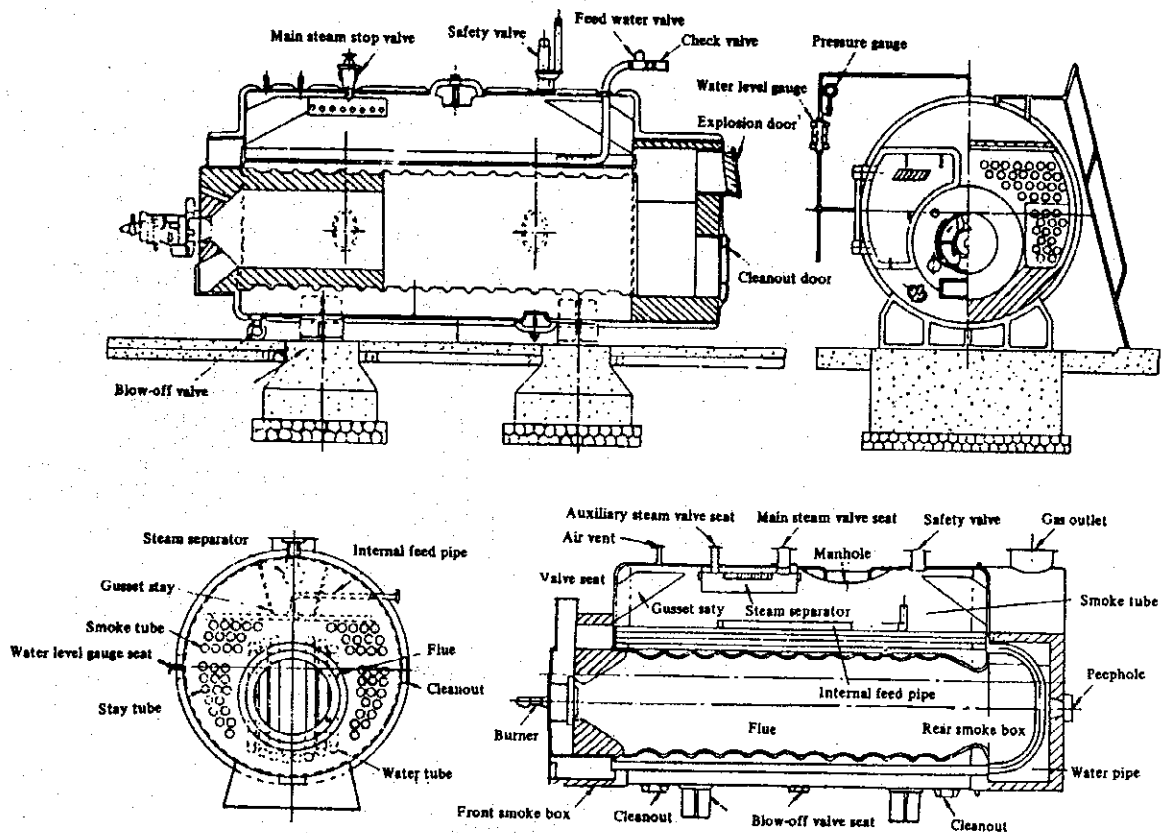
**Figure 2 Externally fired horizontal smoke tube boiler**



#### d. 炉筒煙管ボイラ

Figure 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%の効率が得られる。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 3 Flue smoke tube boiler



#### 1.2 水管ボイラ

Figure 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。

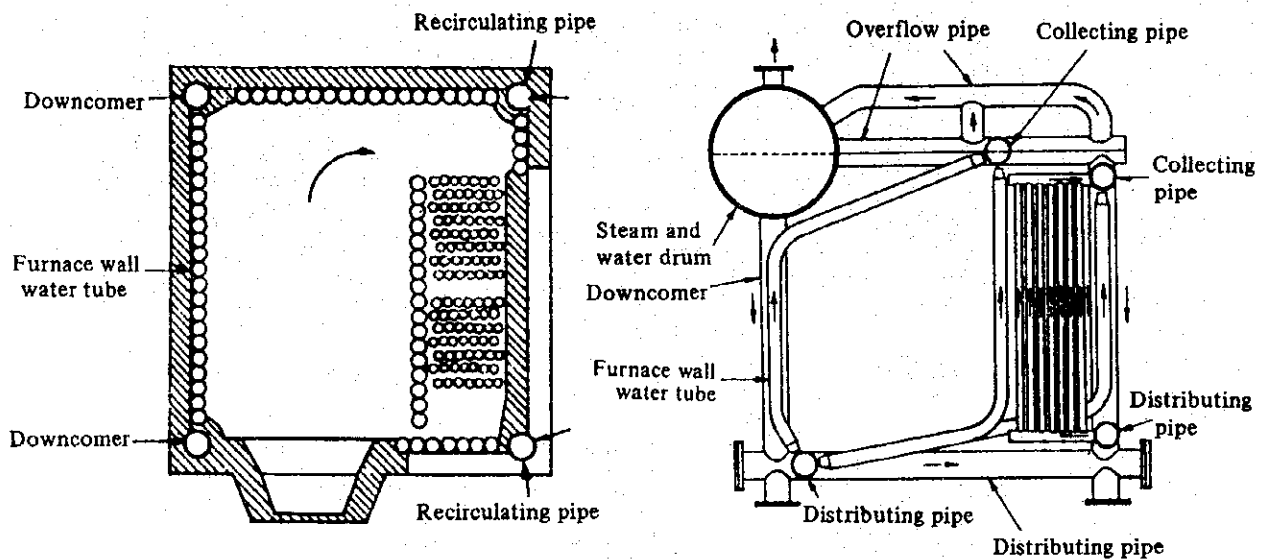
水管ボイラの特徴は、次のとおりである。

- 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。

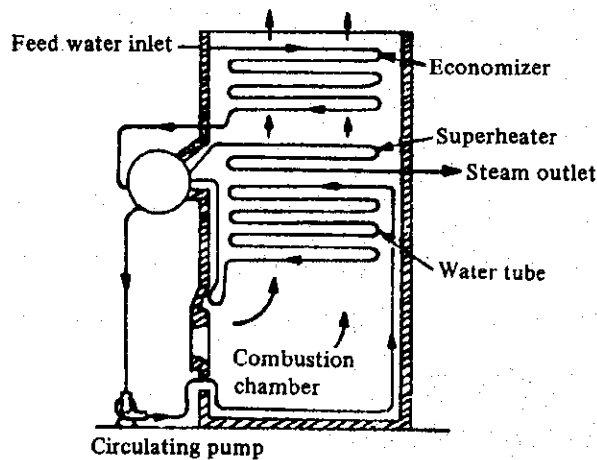
- b. 伝熱面積を大きくとれるので、熱効率が高い。
- c. 伝熱面積当たりの保有水量が少ないので、起動時間が短い。一方、負荷変動により圧力や水位が変動しやすいので、敏感な調整を必要とする。
- d. 給水及びボイラ水処理に注意を要する。

水管ボイラには、ボイラ水の循環を蒸気と水の比重差を利用して行う自然循環式と、ポンプを用いる強制循環式 (Figure 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 4 Bending water tube boiler**

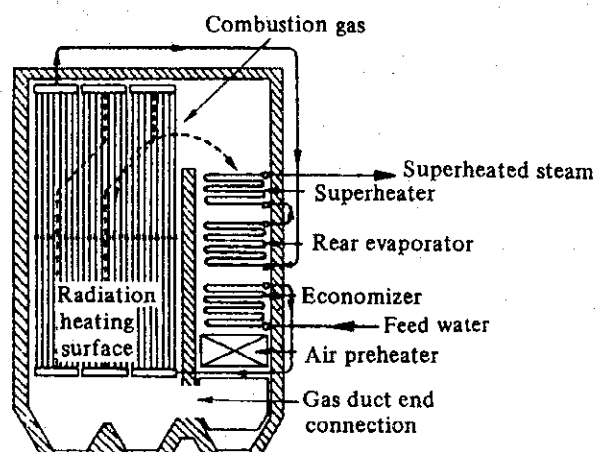


**Figure 5 Forced circulation boiler**



一連の長い水管だけから成る貫流ボイラは、管の一端からポンプで押し込まれた給水が、順次昇温、蒸発、過熱して管の他端から過熱蒸気として取り出されるようになっていて、ボイラ水の循環がない (Figure 6 参照)

Figure 6 Schematic flow diagram of Benson boiler



この貫流ボイラの特徴は、次のとおりである。

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

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

### 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鑄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。

## 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。

## 2.1 運転及び点検マニュアル設定と教育

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。

## 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 2にボイラの日常点検項目を示す。



**Table 2 Daily Inspection of Boiler (1/14)**

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

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

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

**Table 2 Daily Inspection of Boiler (3/14)**

Type of inspection	Place of inspection	Cycle				Inspection item	Procedure
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day	At any time		
Daily inspection	6. Automatic feed water adjustable device. Low level breaker. High and low water level alarm.		○			1. Purge scale and sludge in the interconnecting pipe.	1. Make sure the open and close condition of the interconnecting line. Clean the inside (blow enough) in a condition of lower pressure if possible.
			○			2. Make sure the operation with lowering of the water level by blowing.	2. Make sure the operation with blowing. If impossible to blow, remove the electric wire to make sure the operation (burner cut).
					○	3. Check the internal mercury switch and bellows.	3. Check a scattering of mercury and balance. Check leakage from the bellows.
					○	4. Check the electric wiring.	4. Check damage due to heat. Rewire with a heat resistance wire.
					○	5. Check a wrong operation due to vibration.	5. Mount a stay in a change orientation.
					○	6. Check contamination, crack and leakage of the electrode holder.	6. Replace the cracked and leaking insulator with a new one and clean the electrode. Insulation shall be more than 100 MΩ.
	Automatic equipment (accessory of the body)	7. Automatic feed water adjustable device (single element type)			○	1. Discharge scale and sludge in the interconnecting pipe of the thermostat.	1. Make sure the open and close condition of the valve in the connecting pipe and clean the inside.
					○	2. Make sure and adjust each interconnecting place.	2. Make sure the specified position of the slide sprocket weight.
				○		3. Adjust the water level due to a boiler load.	3. The level lowers by loosening the adjustable nut of the heel piece of thermostat until the valve lever comes to horizontal position.

**Table 2 Daily Inspection of Boiler (4/14)**

Type of inspection	Place of inspection	Cycle			Inspection item	Procedure	
		Constantly monitoring	One hour	A week or a day			At any time
Daily inspection Automatic equipment (accessory of the body)	8. Flame detector			<input type="radio"/>	1. Make sure fire going-out, no ignition and burner cut.	1. Stop an ignition fuel for detection of the pilot and make sure not to transfer to the main. For detection of the main, remove the cap or the detector and make sure no ignition. A flame response delays for 2 to 4 seconds.	
					<input type="radio"/>	2. Check the degree of fatigue of a detector.	2. Measure the current by a microammeter, test by a false flame.
					<input type="radio"/>	3. Defect of electric wiring. Influence of induced current of power.	3. Change to the shield wire or a single wire.
					<input type="radio"/>	4. Detection of false flame. Self-discharge. Check by a protect relay, no ignition.	4. Check mistake to detect red heat refractory and change the position of installation. Inferior tube shall be replaced.
				<input type="radio"/>		5. Contamination of lens and glass tube and mounting position.	5. Cleaning of contamination.
					<input type="radio"/>	6. Check + or - phase of the electric wiring and loosening of connection.	6. Change the wiring and tighten it.
					<input type="radio"/>	7. Check the amplifier and the flame relay.	7. Replace the defective. If current is normal in measuring current by a microammeter but fire is not ignited, the amplifier or the flame relay is defective.

**Table 2 Daily Inspection of Boiler (5/14)**

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

**Table 2 Daily Inspection of Boiler (6/14)**

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

**Table 2 Daily Inspection of Boller (7/14)**

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

**Table 2 Daily Inspection of Boiler (8/14)**

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



**Table 2 Daily Inspection of Boiler (9/14)**

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

**Table 2 Daily Inspection of Boiler (10/14)**

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

**Table 2 Daily Inspection of Boiler (11/14)**

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

**Table 2 Daily Inspection of Boiler (12/14)**

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

**Table 2 Daily Inspection of Boiler (13/14)**

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

Table 2 Dally Inspection of Boller (14/14)

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

### 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ししやすい。

以上のような障害を防ぐため、日本工業規格(JIS)ではTable 3及びTable 4に示す水質標準値を定めてある。

ボイラの水処理法にはボイラ外処理とボイラ内処理がある。

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

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

Table 3 Quality of Feed Water and Boiler Water for Circulating Boiler

Classification	Cylindrical boiler				Water-tube boiler				
	From 30 to 60	From 30 to 50	From 10 to 20	From 10 to 30	From 75 to 100	From 100 to 125	From 125 to 150	From 150 to 200	
Max. servicing pressure (MPa)	Below 30	Below 50	Below 10	From 10 to 20	From 30 to 50	From 75 to 100	From 100 to 125	From 125 to 150	From 150 to 200
Rate of evaporation of heating surface (bar-h)	Below 30	Below 50	Below 10	From 10 to 20	From 30 to 50	From 75 to 100	From 100 to 125	From 125 to 150	From 150 to 200
pH (25°C)	7-9	7-9	7-9	7-9	8-9.5	8.5-9.5	8.5-9.5	8.5-9.5	8.5-9.5
Hardness (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Below 2	Below 1	Below 1	Below 1	0	0	0	0	0
Fat and oil (mg/l)	Maintain as low level as possible	Maintain as low level as possible	Maintain as low level as possible	Maintain as low level as possible	Maintain as low level as possible	Maintain as low level as possible	Maintain as low level as possible	Maintain as low level as possible	Maintain as low level as possible
Dissolved oxygen (mgO <sub>2</sub> /l)	Maintain in low level	Maintain in low level	Maintain in low level	Maintain in low level	Maintain as low as possible	Maintain as low as possible	Maintain as low as possible	Maintain as low as possible	Maintain as low as possible
Total iron (mgFe/l)	—	—	—	—	Below 0.1	Below 0.03	Below 0.007	Below 0.007	Below 0.007
Total copper (mgCu/l)	—	—	—	—	Below 0.1	Below 0.03	Below 0.03	Below 0.02	Below 0.02
Hydrazine <sup>b</sup> (mgNH <sub>2</sub> /l)	—	—	—	—	Over 0.2	Over 0.01	Over 0.01	Over 0.01	Over 0.01
Electrical conductivity (25°C) (μS/cm)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Treatment method	Alkali treatment	Alkali treatment	Alkali treatment	Alkali treatment or phosphating	Phosphating	Phosphating	Phosphating	Phosphating	Phosphating
Alkalinity (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	11.0-11.5	11.0-11.5	11.0-11.5	10.5-11.0	9.0-9.5	8.5-9.5	8.5-9.5	8.5-9.5	8.5-9.5
Total solids (mg/l)	Below 4000	Below 3000	Below 3000	Below 2500	Below 1000	Below 500	Below 200	Below 100	Below 50
Electrical conductivity (μS/cm)	Below 6000	Below 4500	Below 4500	Below 4000	Below 3000	Below 2000	Below 1000	Below 500	Below 200
Chloride ion (mgCl <sup>-</sup> /l)	Below 600	Below 500	Below 400	Below 300	Below 100	Below 80	Below 50	Below 30	Below 20
Phosphate ion <sup>b</sup> (mgPO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /l)	20-40	20-40	20-40	20-40	5-15	5-15	3-10	2-6	1-5
Sulfite ion <sup>c</sup> (mgSO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> /l)	10-20	10-20	10-20	10-20	5-10	5-10	—	—	—
Hydrazine <sup>b</sup> (mgNH <sub>2</sub> /l)	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	—	—	—	—	—
Silica (mgSiO <sub>2</sub> /l)	—	—	—	—	Below 50	Below 20	Below 10	Below 5	Below 2

Notes (1) Apply it when using live steam and using constantly make-up water in a cast iron boiler.  
 (2) It means hexane extract (see JIS B 8224).  
 (3) Apply it when hydrazine may be poured in the feed water as an oxygen scavenger.  
 (4) It means an acid consumption (pH 4.9).  
 (5) It means an acid consumption (pH 8.3).  
 (6) Apply it when phosphate may be poured in water.  
 (7) Apply it when sulfite may be poured in water as an oxygen scavenger.  
 (8) Apply it when hydrazine may be poured as an oxygen scavenger in a cylindrical boiler or a water-tube boiler in a pressure less than 20 bar (2 MPa) of the maximum servicing pressure.  
 (9) Where the pipe material in the heater for a high pressure feed water is steel pipe, pH is desirable to be adjusted to a higher.  
 (10) It is desirable to maintain below 0.02 mgFe/lit.  
 (11) A make-up water passed through a hydrogen form strong acidity cation exchange resin should be measured.  
 (12) The pH is desirable to maintain below 10.  
 (13) The pH is desirable to maintain below 10.  
 (14) The pH is desirable to maintain below 10.  
 (15) The pH is desirable to maintain below 10.

Remarks  
 1. The concentration unit of mg/lit. shall be regarded as the same as ppm.  
 2. For a make-up water to a water-tube boiler of the maximum servicing pressure of 20 bar (2 MPa) (cast iron boiler), the concentration of boiler water (See paragraph 1.3.1 of the description).  
 3. Hydrazine or sulfite as an oxygen scavenger, as a rule, either one of them shall be applied.



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 4 Quality of Feed Water for Once-through Boiler

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

Notes

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

Remarks

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

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

ボイラ水中の不純分の蓄積を防ぐため、吹き出し（ブロー）は重要な操作である。ブローは給水量と連動させて連続的に行う方が間欠ブローに比べて量の調節が容易で、熱回収もできるので経済的である。ブロー量は給水水質と、Table 3, 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

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

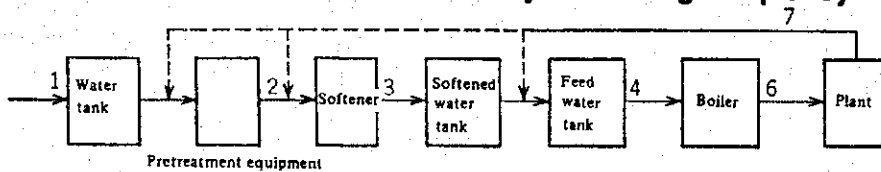
$$\therefore y = \frac{a}{b-a} x$$

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

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 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 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

### 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。

#### 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。

#### 3.2 換算蒸発量

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

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

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

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

### 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。

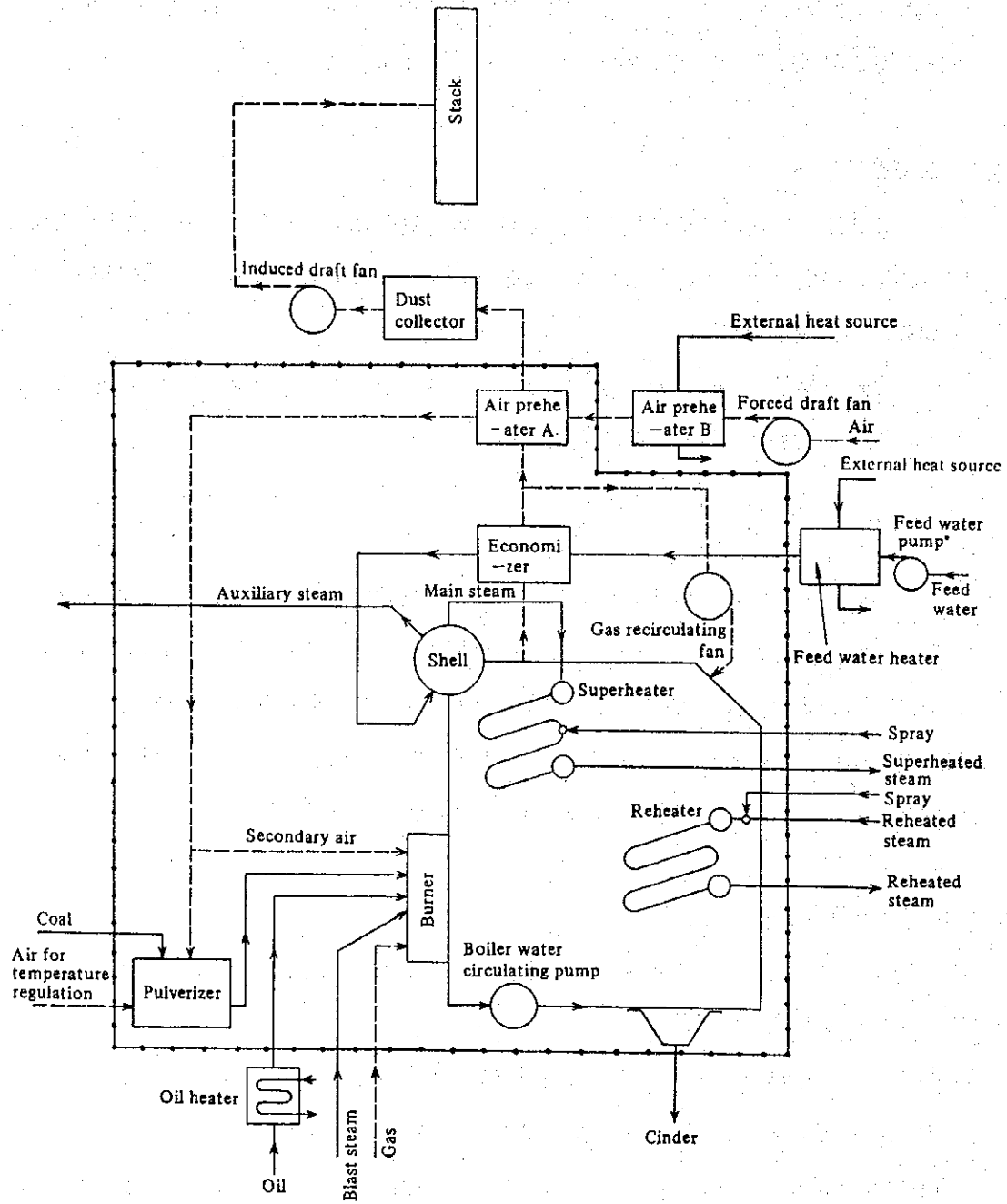
熱勘定は、定常的な状態で1時間以上運転した結果により外気温を基準温度として行う。この間はブローやスタートブローは行わない。

最初に、Figure 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 6に示す項目に従って調査し、Table 7の事項について運転記録をとる。熱勘定の結果は、Table 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 7 Standard range of boiler heat balance



**Table 6 Outline of Equipment**

Outlines of the installation shall be indicated as follows.

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

Note<sup>(1)</sup> The pressure is a gage pressure.

**Table 7 Results of Measurement (1/2)**

The test results shall be indicated as follows.

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

**Table 7 Results of Measurement (2/2)**

Air for combustion	Air ratio	Outlet of boiler proper Outlet of economizer Outlet of air preheater	
	Exhaust gas quantity per unit volume of fuel $m_1^2/kg(m_1^3)$		
Exhaust (combustion) gas	Temperature and pressure	Furnace inside	°C, mmAq
		Outlet of boiler proper	°C, mmAq
		Economizer inlet	°C, mmAq
		Economizer outlet	°C, mmAq
		Air preheater inlet	°C, mmAq
		Air preheater outlet	°C, mmAq
		Induced fan suction	°C, mmAq
		Induced fan delivery	°C, mmAq
	Gas analysis	Outlet of boiler proper (CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO)	%
		Outlet of economizer (CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO)	%
Outlet of air preheater (CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO)		%	
Unburned component Refuse quantity per unit volume of fuel		kg/kg	% Calculate from the fuel consumption, ash in fuel, unburned fuel in cinder.
Condition of smoke			
Auxiliary	Steam consumption		kg
	Electric power consumption		kWh
Remark			

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

2. Load factor shall be as follows.

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

3. Condition of firing equipment means as follows.

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

4. Condition of water feeding equipment means as follows.

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

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

**Table 8 Heat Balance Table (1/2)**

Heat input		kcal/kg(m <sub>n</sub> <sup>2</sup> )	%
(1)	Calorific value of fuel	H <sub>1</sub> (°)	
(2) (°)	Sensible heat of fuel	Q <sub>2</sub>	
(3) (°)	Sensible heat of air	Q <sub>3</sub>	
(4) (°)	Carrying heat of furnace blast steam	Q <sub>4</sub>	
Total		H <sub>1</sub> (°) + Q	100

Note (°) (2), (3) and (4) are due to the external heat source.

(°) In case of a high heating value basis, it shall be taken as H<sub>1</sub>(H<sub>h</sub>').

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

Effective heat

Heat loss			
(1)	Heat loss in exhaust gas	L <sub>11</sub> (°)	(1) Actual exhaust gas quantity (including moisture) per 1 kg (m <sub>n</sub> <sup>2</sup> ) of fuel × mean specific heat of exhaust gas × (Temp. of exhaust gas - ambient temp.) See item (f) See item (g) See item (h) See item (i) See item (j)
(2)	Heat loss due to furnace blast steam	L <sub>2</sub>	
(3)	Heat loss due to incomplete burning exhaust gas	L <sub>3</sub>	
(4)	Heat loss due to combustible in refuse	L <sub>4</sub>	
(5)	Heat loss due to release	L <sub>5</sub>	
(6)	Heat loss due to others	L <sub>6</sub>	
Subtotal		L <sub>7</sub> (°)	
Total			100

Note (°) In case of a high heating value basis L<sub>11</sub>(L<sub>11</sub>') shall be taken as L<sub>11</sub> (L<sub>11</sub>') and L<sub>7</sub> (L<sub>7</sub>') be taken as shall be taken as L<sub>7</sub> (L<sub>7</sub>').

**Table 8 Heat Balance Table (2/2)**

Boiler efficiency		%
(1)	Input-and-output heat method	
$\eta_1 = \frac{Q_5}{H_1 + Q} \times 100,$		
(2)	Heat loss method	
$\eta_2 = \left( 1 - \frac{L_1 - L_6}{H_1 + Q} \right) \times 100,$		



a. 高発熱量から低発熱量を求める方法

固体燃料及び液体燃料： $H_l = H_h - 5.9(9h + w)$  kcal/kg Fuel

ここで  $h$ ：使用状態での水素含有率（重量％）

$w$ ：使用状態での水分含有率（重量％）

元素分析を行わない場合、 $h$ は次の値とする。

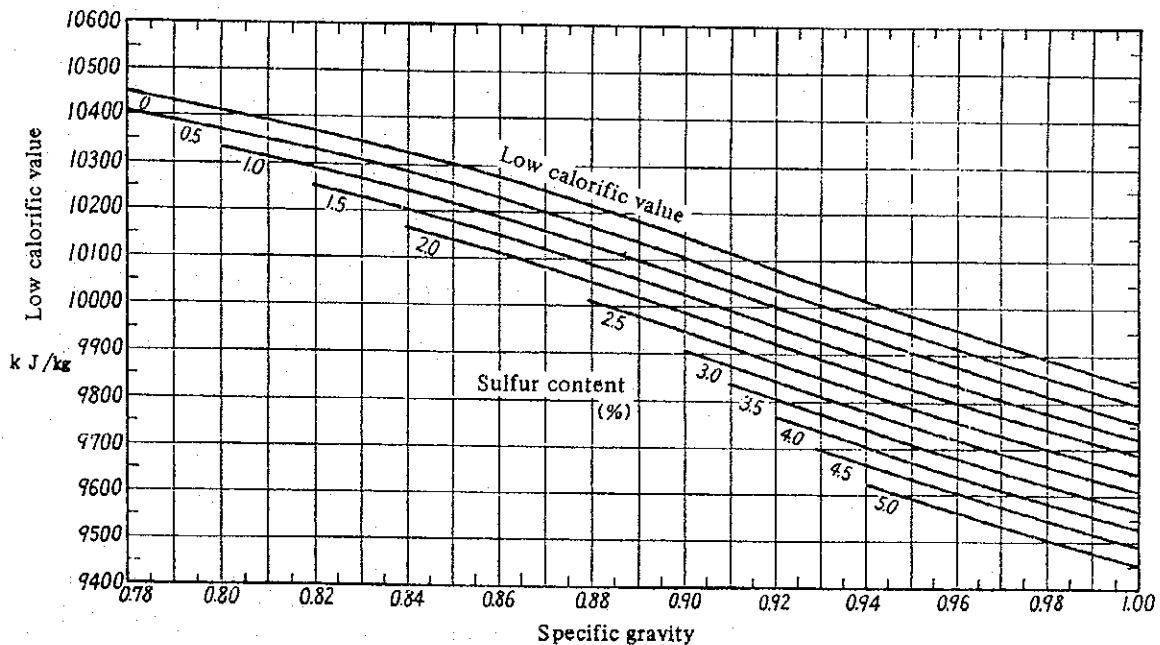
灯油，軽油，原油，A重油  $h = 13\%$

B重油  $h = 12\%$

C重油  $h = 11\%$

これとは別に、石油系燃料については比重と発熱量の関係を示す図表が発表されている。（Figure 8 参照）。 $t$ ℃で測定した比重が  $d_t$  のとき、15℃の比重  $d_{15}$  を求めるのは次式による。

Figure 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： $H_l = 25.7(H_2) + 30.2(CO) + 85.5(CH_4) + 143(C_2H_2)$   
 $+ 154(C_2H_6) + 211(C_3H_8) + 224(C_3H_6) + 272(C_4H_{10})$   
 $+ 295(C_4H_{10})$  kcal/m<sup>3</sup>-Fuel

ここで（ $H_2$ ）等は、各成分の容積％とする。

**Table 9 Specific Gravity, Sulfur Content and Mean Calorific Value of Petroleum Fuel**

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

b. 燃料及び空気の比熱

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

c. 空気量

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

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

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

・石炭の場合

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

・重油の場合

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

・気体燃料の場合

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

(炭化水素混合ガスするとき)

実際投入空気量(A)は、次式によって求める。

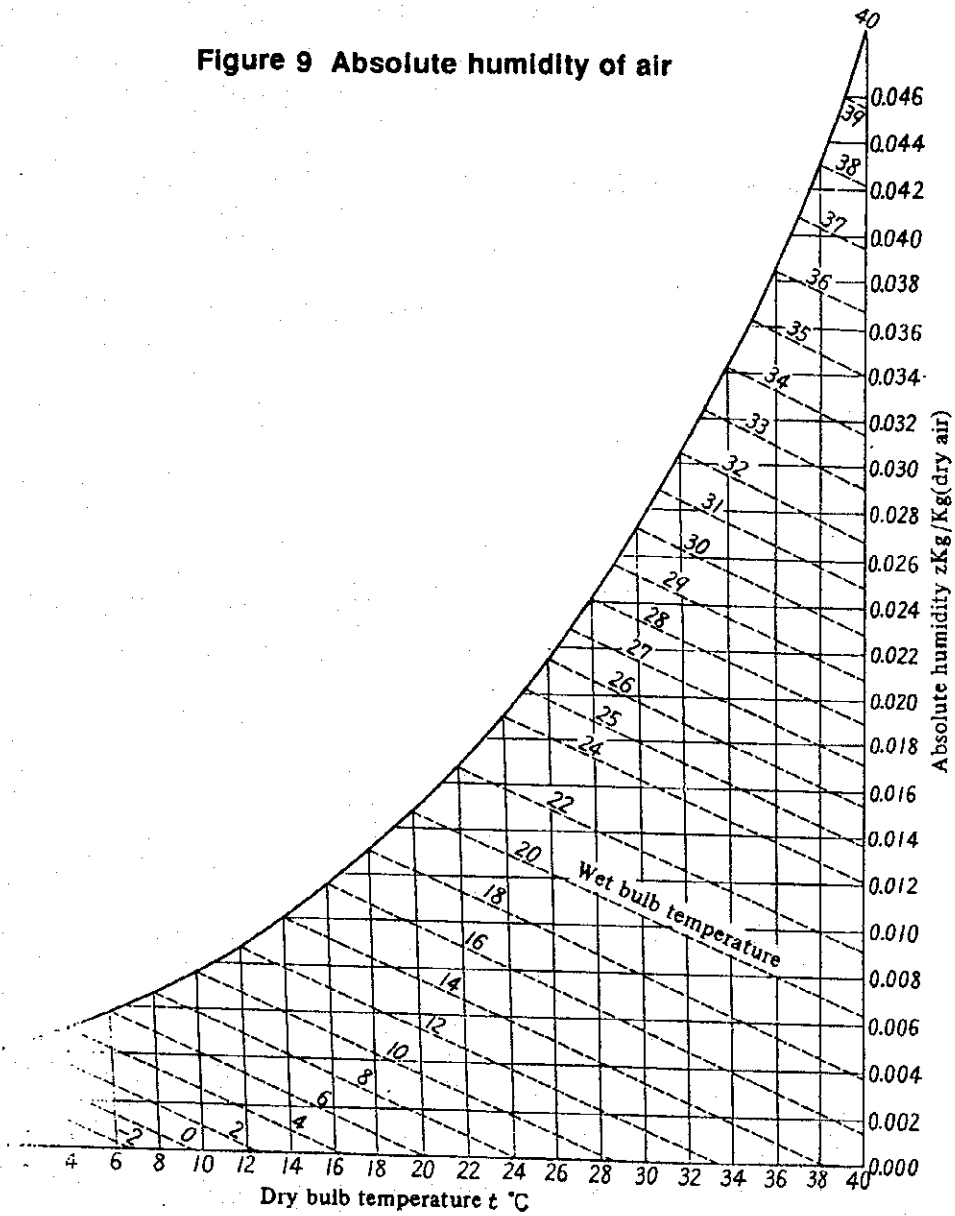
$$A = mA_o (1 + 1.61 z) \text{ m}^3_{\text{N}} / \text{kg} (\text{m}^3_{\text{N}}) \text{ Fuel}$$

m : 空気比

z : 外気の絶対湿度 kg / kg乾燥空気

zの値は Figure 9 から求められる。

Figure 9 Absolute humidity of air



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

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

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

また燃料中の水素が少い場合は

$$m = \frac{(CO_2)_{\max}}{(CO_2)}$$

(CO<sub>2</sub>)                  排ガス中炭素ガス濃度%

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

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

d. 発生蒸気の吸収した熱

発生蒸気の吸収した熱は、発生蒸気の保有熱から給水の顕熱を減じたもので示される。過熱器でスプレーしている場合はスプレー水の吸収した熱量を、再熱器のある場合はそこで蒸気やスプレー水が得た熱を加える。蒸気のエンタルピは Table 10 及び11による。

e. 排ガス損失

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

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

• 石炭の場合

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

• 重油の場合

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

• 気体燃料の場合

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

(炭化水素混合ガスのとき)

実際排ガス量は次式のようなになる。

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

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 10 Thermodynamic properties of saturated water and saturated steam  
(Temperature reference)**

Temperature (°C)	Saturation pressure		Specific volume (m <sup>3</sup> /kg)		Specific enthalpy (kcal/kg)		
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(mm Hg)	<i>v'</i>	<i>v''</i>	<i>h'</i>	<i>h''</i>	<i>r = h'' - h'</i>
0.01	0.00623	4.6	0.0010002	206.16	0.00	597.5	597.5
5	0.00889	6.5	0.0010000	147.16	5.02	599.7	594.7
10	0.01251	9.2	0.0010003	106.43	10.03	601.9	591.8
15	0.01738	12.8	0.0010008	77.98	15.03	604.1	589.0
20	0.02383	17.5	0.0010017	57.84	20.03	606.2	586.2
25	0.03228	23.7	0.0010029	43.40	25.02	608.4	583.4
30	0.04325	31.8	0.0010043	32.93	30.01	610.6	580.6
35	0.05732	42.2	0.0010060	25.24	35.01	612.7	577.7
40	0.07520	55.3	0.0010078	19.55	40.00	614.9	574.9
45	0.09771	71.9	0.0010099	15.28	44.99	617.0	572.0
50	0.12578	92.5	0.0010121	12.05	49.98	619.1	569.2
55	0.16051	118.1	0.0010145	9.579	54.98	621.2	566.3
60	0.20313	149.4	0.0010171	7.679	59.97	623.3	563.3
65	0.2550	187.6	0.0010199	6.202	64.97	625.4	560.4
70	0.3178	233.7	0.0010229	5.046	69.98	627.4	557.5
75	0.3931	289.1	0.0010259	4.134	74.98	629.5	554.5
80	0.4829	355.2	0.0010292	3.409	79.99	631.5	551.5
85	0.5894	433.6	0.0010326	2.829	85.01	633.4	548.4
90	0.7149	525.9	0.0010361	2.361	90.03	635.4	545.3
95	0.8619	634.0	0.0010399	1.982	95.06	637.3	542.2
100	1.0332	760.0	0.0010437	1.673	100.1	639.2	539.1
110	1.4609		0.0010519	1.210	110.2	642.8	532.6
120	2.0246		0.0010606	0.8915	120.3	646.3	526.0
130	2.7546		0.0010700	0.6681	130.5	649.6	519.2
140	3.685		0.0010801	0.5085	140.7	652.8	512.1
150	4.854		0.0010908	0.3924	151.0	655.7	504.7
160	6.303		0.0011022	0.3068	161.3	658.4	497.1
170	8.076		0.0011145	0.2426	171.8	660.9	489.1
180	10.224		0.0011275	0.1938	182.3	663.1	480.8
190	12.799		0.0011415	0.1563	192.9	665.0	472.1
200	15.855		0.0011565	0.1272	203.6	666.6	463.0
210	19.454		0.0011726	0.10424	214.4	667.9	453.4
220	23.656		0.0011900	0.08604	225.4	668.8	443.4
230	28.528		0.0012087	0.07145	236.5	669.2	432.7
240	34.138		0.0012291	0.05965	247.8	669.3	421.5
250	40.560		0.0012513	0.05004	259.3	668.9	409.5
260	47.869		0.0012756	0.04213	271.1	667.9	396.8
270	56.144		0.0013025	0.03559	283.1	666.4	383.3
280	65.468		0.0013324	0.03013	295.4	664.1	368.7
290	75.929		0.0013659	0.02554	308.1	661.0	352.9
300	87.621		0.0014041	0.02165	321.3	657.1	335.8
310	100.65		0.0014480	0.01833	335.0	652.1	317.1
320	115.12		0.0014995	0.01548	349.3	645.8	296.4
330	131.16		0.0015615	0.01299	364.6	637.8	273.2
340	148.93		0.0016387	0.01078	381.1	627.3	246.2
350	168.61		0.0017411	0.00880	399.3	613.3	213.9
360	190.43		0.0018959	0.006940	421.4	593.6	172.3
374.15	225.56		0.0031700	0.003170	503.3	503.3	0

**Table 11 Thermodynamic properties of saturated water and saturated steam  
(Pressure reference)**

Pressure $P$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Saturation temperature (°C)	Specific volume (m <sup>3</sup> /kg)		Specific enthalpy (kcal/kg)			Specific entropy (kcal/kg·K)	
		$v'$	$v''$	$h'$	$h''$	$r = h'' - h'$	$s'$	$s''$
0.01	6.699	0.0010001	131.6	6.72	600.4	593.7	0.0243	2.1458
0.03	23.775	0.0010026	46.52	23.80	607.9	584.1	0.0836	2.0506
0.05	32.55	0.0010051	28.72	32.56	611.7	579.1	0.1126	2.0070
0.10	45.45	0.0010101	14.95	45.44	617.2	571.8	0.1539	1.9485
0.20	59.66	0.0010170	7.791	59.64	623.2	563.5	0.1975	1.8908
0.30	68.68	0.0010221	5.326	68.65	626.9	558.2	0.2242	1.8573
0.5	80.86	0.0010298	3.300	80.86	631.8	550.9	0.2593	1.8156
0.7	89.45	0.0010357	2.408	89.47	635.2	545.7	0.2833	1.7882
1.0	99.09	0.0010430	1.725	99.17	638.8	539.6	0.3097	1.7594
1.033	100.00	0.0010437	1.673	100.09	639.2	539.1	0.3121	1.7568
1.2	104.25	0.0010471	1.454	104.37	640.7	536.4	0.3235	1.7448
1.4	108.74	0.0010508	1.259	108.91	642.4	533.5	0.3355	1.7324
1.6	112.73	0.0010542	1.111	112.94	643.8	530.8	0.3460	1.7217
1.8	116.33	0.0010573	0.9952	116.59	645.0	528.5	0.3554	1.7122
2.0	119.61	0.0010603	0.9018	119.92	646.2	526.3	0.3639	1.7038
2.2	122.64	0.0010631	0.8248	123.00	647.2	524.2	0.3717	1.6961
2.6	128.08	0.0010682	0.7053	128.53	649.0	520.5	0.3855	1.6828
3.0	132.88	0.0010728	0.6168	133.42	650.6	517.2	0.3976	1.6713
4	142.92	0.0010831	0.4708	143.70	653.7	510.0	0.4226	1.6483
5	151.11	0.0010920	0.3816	152.13	656.0	503.9	0.4426	1.6303
6	158.08	0.0011000	0.3213	159.34	657.9	498.6	0.4594	1.6156
7	164.17	0.0011072	0.2778	165.67	659.5	493.8	0.4739	1.6031
8	169.61	0.0011140	0.2448	171.35	660.8	489.5	0.4867	1.5922
9	174.53	0.0011203	0.2188	176.51	661.9	485.4	0.4983	1.5826
10	179.04	0.0011262	0.1980	181.25	662.9	481.7	0.5087	1.5739
11	183.20	0.0011319	0.1807	185.65	663.7	478.1	0.5184	1.5660
12	187.08	0.0011373	0.1663	189.77	664.5	474.7	0.5273	1.5588
13	190.71	0.0011425	0.1540	193.63	665.1	471.5	0.5356	1.5521
14	194.13	0.0011476	0.1434	197.29	665.7	468.4	0.5434	1.5458
15	197.37	0.0011524	0.1342	200.75	666.2	465.5	0.5507	1.5400
16	200.43	0.0011572	0.1260	204.05	666.7	462.6	0.5577	1.5345
17	203.36	0.0011618	0.1189	207.21	667.1	459.9	0.5642	1.5293
18	206.15	0.0011663	0.1124	210.23	667.4	457.2	0.5705	1.5244
19	208.82	0.0011706	0.1067	213.14	667.7	454.6	0.5765	1.5197
20	211.39	0.0011749	0.1015	215.94	668.0	452.1	0.5822	1.5152
30	232.76	0.0012142	0.06794	239.62	669.3	429.7	0.6295	1.4788
40	249.18	0.0012494	0.05076	258.38	668.9	410.6	0.6654	1.4514
50	262.69	0.0012826	0.04025	274.28	667.6	393.3	0.6949	1.4288
60	274.28	0.0013149	0.03313	288.32	665.5	377.2	0.7203	1.4092
70	284.47	0.0013469	0.02798	301.04	662.8	361.8	0.7427	1.3915
80	293.61	0.0013791	0.02406	312.80	659.7	346.9	0.7631	1.3752
90	301.91	0.0014119	0.02098	323.83	656.2	332.4	0.7818	1.3598
100	309.53	0.0014458	0.01848	334.30	652.3	318.0	0.7993	1.3451
120	323.15	0.0015177	0.01466	354.04	643.5	289.4	0.8316	1.3170
140	335.10	0.0015985	0.01183	372.83	632.8	260.0	0.8616	1.2890
160	345.75	0.0016935	0.009615	391.3	619.7	228.4	0.8905	1.2595
180	355.35	0.001814	0.007795	410.8	603.7	192.9	0.9205	1.2274
200	364.07	0.001990	0.00619	431.6	582.8	151.2	0.9520	1.1892
220	372.05	0.002369	0.00442	462.7	545.8	83.2	0.9988	1.1276
225.56	374.15	0.00317	0.00317	503.3	503.3	0	1.0612	1.0612

f. 炉内吹き込み蒸気

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

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

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

g. 不完全燃焼ガスによる熱損失

次式による。

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

ただし (CO) は、乾き排ガス中の一酸化炭素含有量%、G<sub>0</sub> は理論乾き排ガス量

h. 燃えがら中の未燃分による熱損失

未燃炭素分(c)%は、次式により求める。

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

ここで、a : 使用燃料中の灰分%

u : 燃えがら中の平均未燃炭素分%

熱損失は 81 kcal/kg Fuel となる。

i. 放散熱による熱損失

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

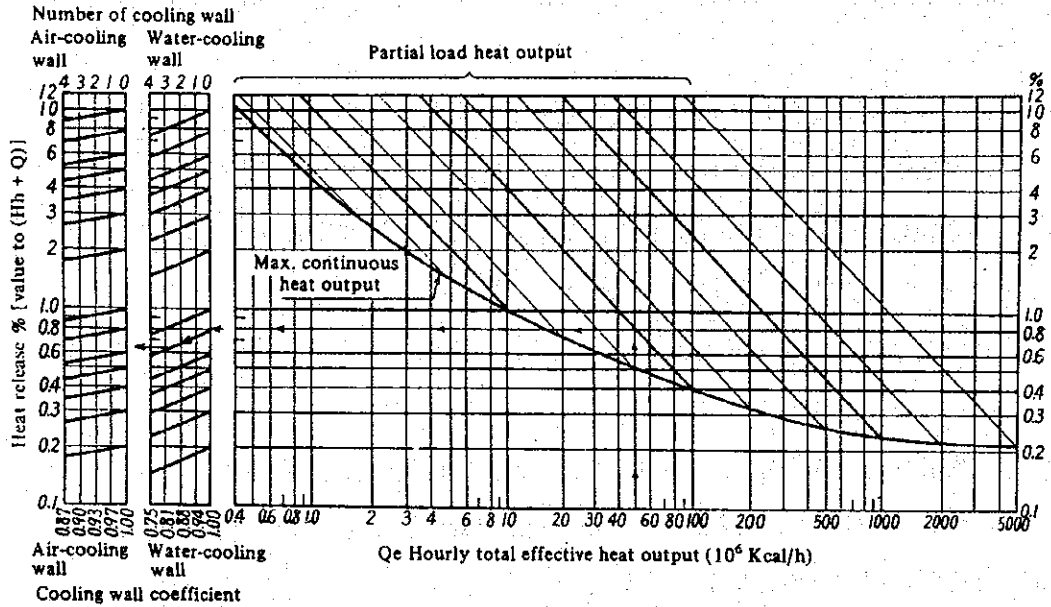
熱損失率の目安としては、次の数字が示されている。

**Table 12 Radiant Heat Loss**

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

参考までに ASME (American Society of Mechanical Engineering) Power Test Code に示されている線図を Figure 10 に示す。この図は熱放散面と外気温度との差が 28 °C で、その面上の空気速度が 0.5 m/s のときの図であり、他の条件のときは Figure 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<sub>h</sub> / H<sub>l</sub> 倍しなければならない。

**Figure 10 Heat loss chart (From ABMA chart in power test code of ASME)**

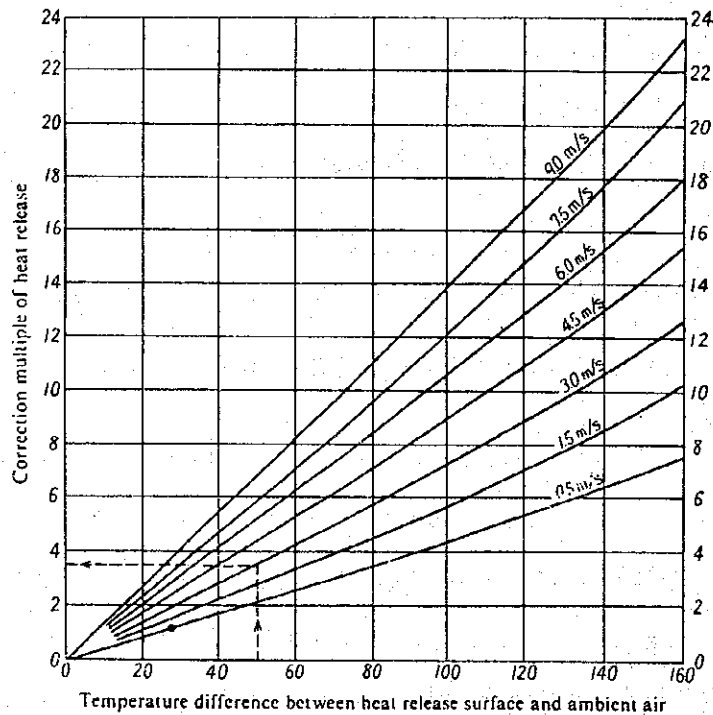


(The figure shows the case that the temperature difference between the heat release surface and the ambient air is 28°C and the wind velocity on the heat release surface is 0.5 m/s. Correction multiples in other condition are based on it of Fig. III-7-11.)

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

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

**Figure 11 Correction multiple of temperature difference and air velocity to Figure 10**





- j. その他の熱損失  
誤差項である。

## 5. ボイラの性能表示

ボイラ効率の表わし方は、Table 8 のように 有効出熱の全入熱に対する割合で示す入出熱法と、熱損失率を差し引く熱損失法がある。

ボイラ性能を示すものとして、換算蒸発倍数がよく使われる。

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

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

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

## 6. 設備段階での配慮

### 6.1 コージェネレーション

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

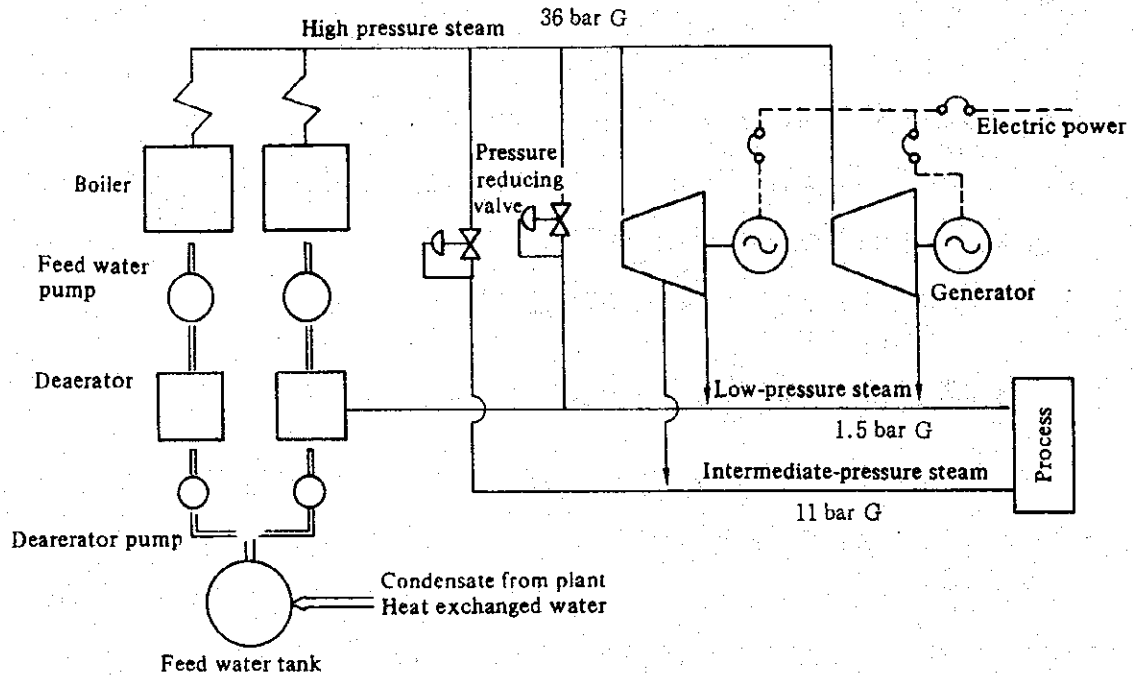
熱を仕事に交換する熱機関の基本はカルノーサイクルである。作動流体が高温熱源から温度  $T_1$  K で熱を受け、低温熱源に温度  $T_2$  K で熱を捨てることによってサイクルを完結し有効仕事を発生するとき、カルノーサイクルの理論効率は次の式で表わされる。

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

従って、 $T_1$  を高くとるほど効率が高くなる。

コージェネレーションは、燃料を燃焼させたときの高温を利用して仕事（電力）をとり、その後の排熱を熱として利用しようとするものであり（Figure 12 参照）、次のようないろいろな方式が考えられる。

Figure 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い、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。

## 6.2 蒸気需要変動への対処

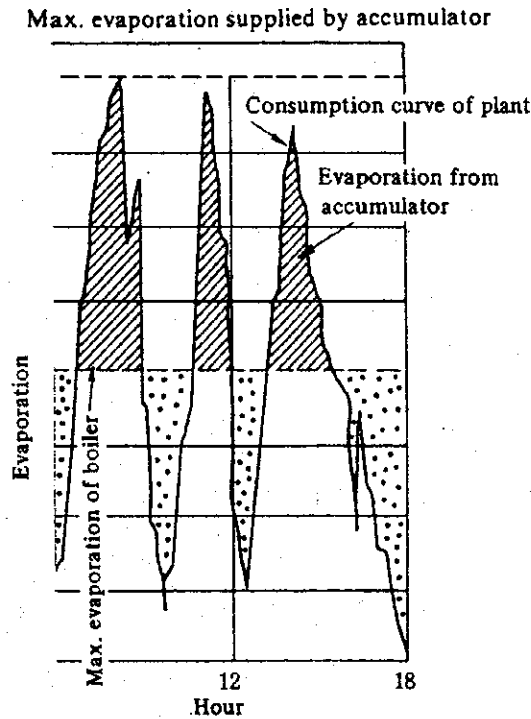
短時間に蒸気需要が大きく変動する場合や昼夜間の蒸気需要の差が大きいときは、平均負荷に比べて過大なボイラを設置しなければならず、また負荷変動時の黒煙発生を防ぐため、空気比も高目に保たなければならなくなる。

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

その一つは、スチームアキュムレーターを設置し、余剰蒸気を蓄積し、不足時に使用する方法である (Figure 13 参照)。ボイラ設置時からアキュムレータを組み合わせれば、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 13 Effect of steam accumulator**



もう一つの方法は、起動の早い貫流ボイラを複数基設置し、負荷に応じて自動的に台数制御を行う方法である (Figure 14 参照)。単独の場合に比べて低負荷時の効率が向上するので (Figure 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 14 Operation number control**

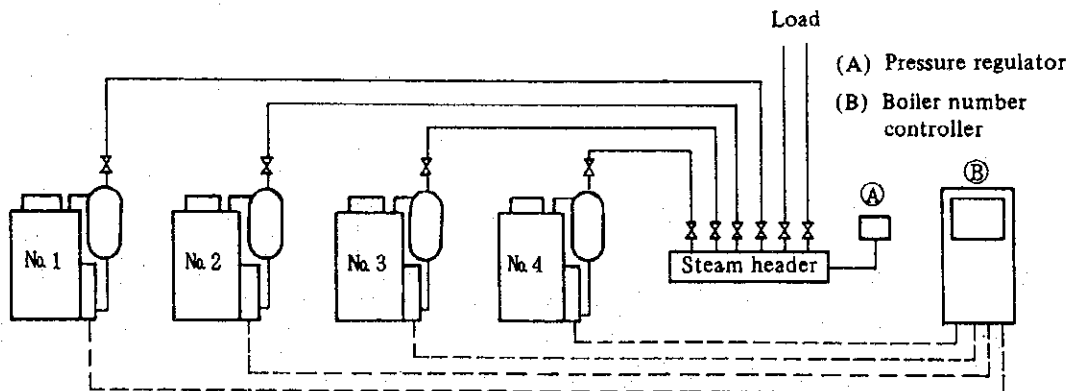
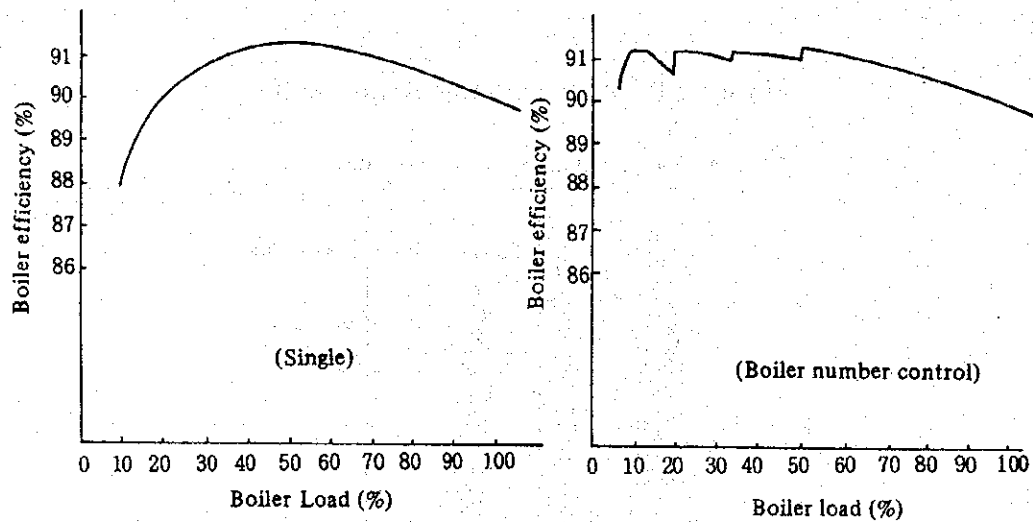


Figure 15 Boiler efficiency Improvement by operation number control



### 6.3 適正な容量のボイラ設置

過大なボイラを設置することは単に設備費が高くなるだけでなく、使用量に比べて相対的に起動時間が長く、放熱量も多いことになる。更にON-OFFの回数が多くなると、その際のパー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。

## 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 16 に締める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。

### 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 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 16 Energy conservation Items of boiler

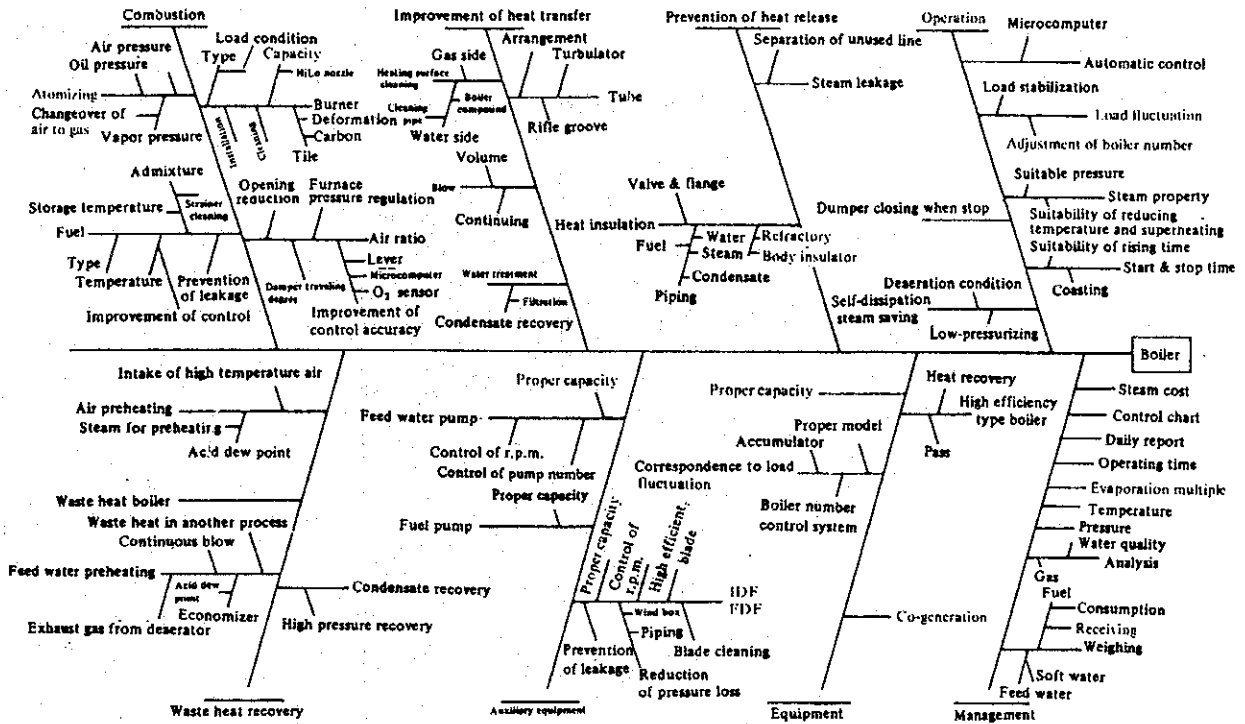
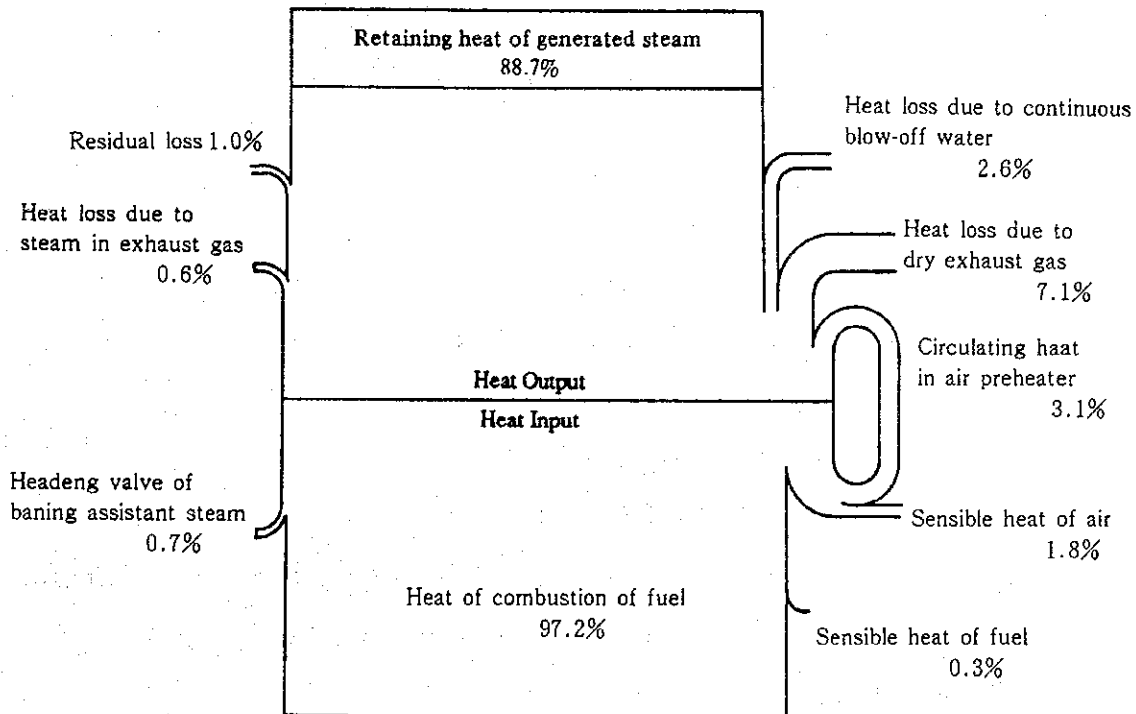


Figure 17 Example of 20 T/H boiler heat balance

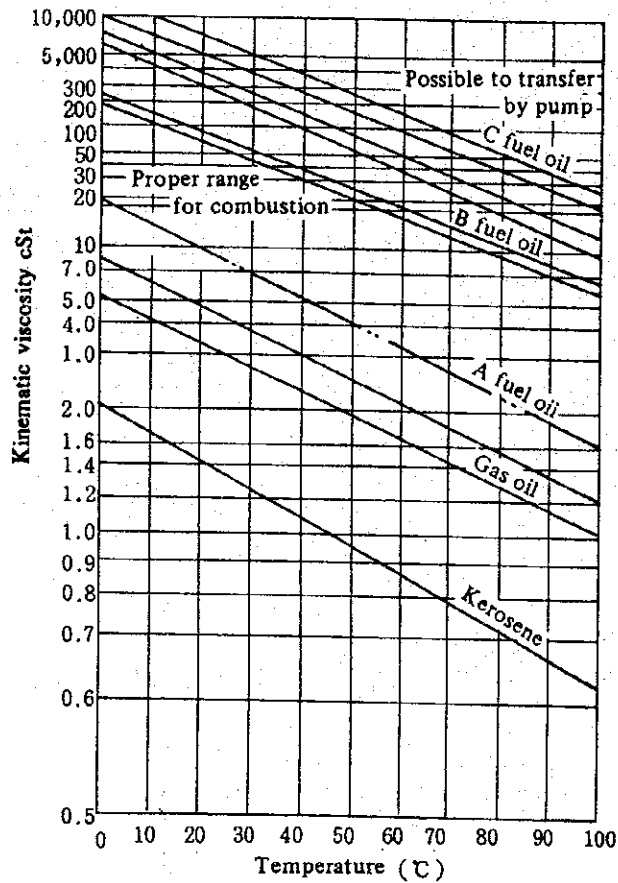


$$\text{Evaporation multiple} = \frac{13.67 \text{ kg}}{1 \text{ kg} \times 0.93 \text{ kg/lit.}} \times 1000 = 14.7 \text{ ton/kl.}$$

(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 18 参照)。

Figure 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 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 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		mm H <sub>2</sub> O (400 - 2,000)	mm H <sub>2</sub> O (400 - 2,000)	3 - 10 bar	2 - 8 bar	—	—	1 - 3 bar
Atomizing medium amount	(ANm <sup>3</sup> /kg S kg/kg)	2 - 3 m <sup>3</sup> /kg	1 - 3 m <sup>3</sup> /kg	A 0.2 m <sup>3</sup> /kg S 0.25 kg/kg	A 0.26 m <sup>3</sup> /kg S 0.33 kg/kg	—	—	
Atomizing medium		Air	Air	Air or steam	Air or steam			Air, rotation of cup
Combustion air pressure	mm H <sub>2</sub> O	400 - 2,000	100 - 2,000	0 - 250	0 - 50	100	100	0 - 100
Combustion regulation range		4 - 6 : 1	4 - 8 : 1	8 : 1	6 : 1	3 : 1	3 : 1	2 - 10 : 1
Flame characteristic		Short flame	Slightly short flame, Long flame	Short flame, Long flame	Slightly long flame	Short flame	Short flame	Short flame
Merit		Possible for proportional control by one lever. Low cost of installation and operation	Easy handling. Same as left.	Good atomizing. Small clogging	Same as left	Low combustion noise. Low cost of operation	Same as left	Low cost, Easy handling
Weakness		Blower required	Same as left	Power cost required	Power cost required	Not respond to load fluctuation High pressure pump required	Same as left	Result in large size
Boiler application	Flue smoke tube	○	○	○	○	○	○	○
	Onethrough			○	○	○	○	
	Vertical	○	○		○			○
	Water-tube	○		○	○	○	○	○

(5) 空気量調節

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

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

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

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

(6) 自動制御

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

Figure 19 Boiler air ratio controller (1)

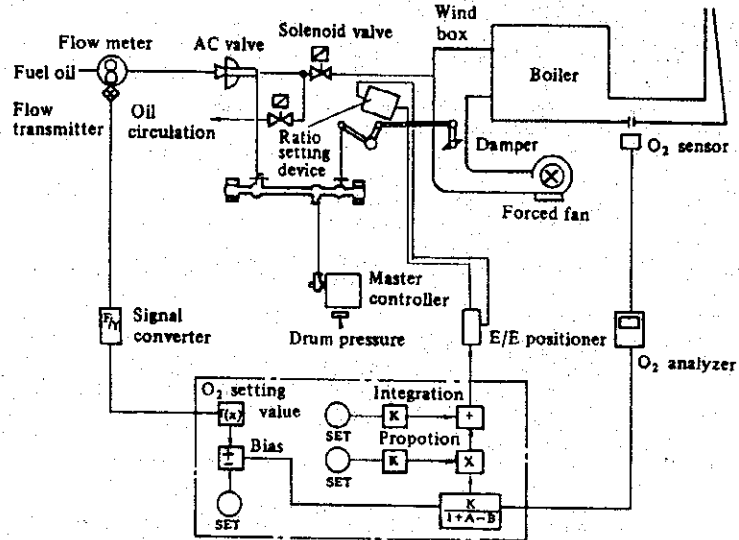
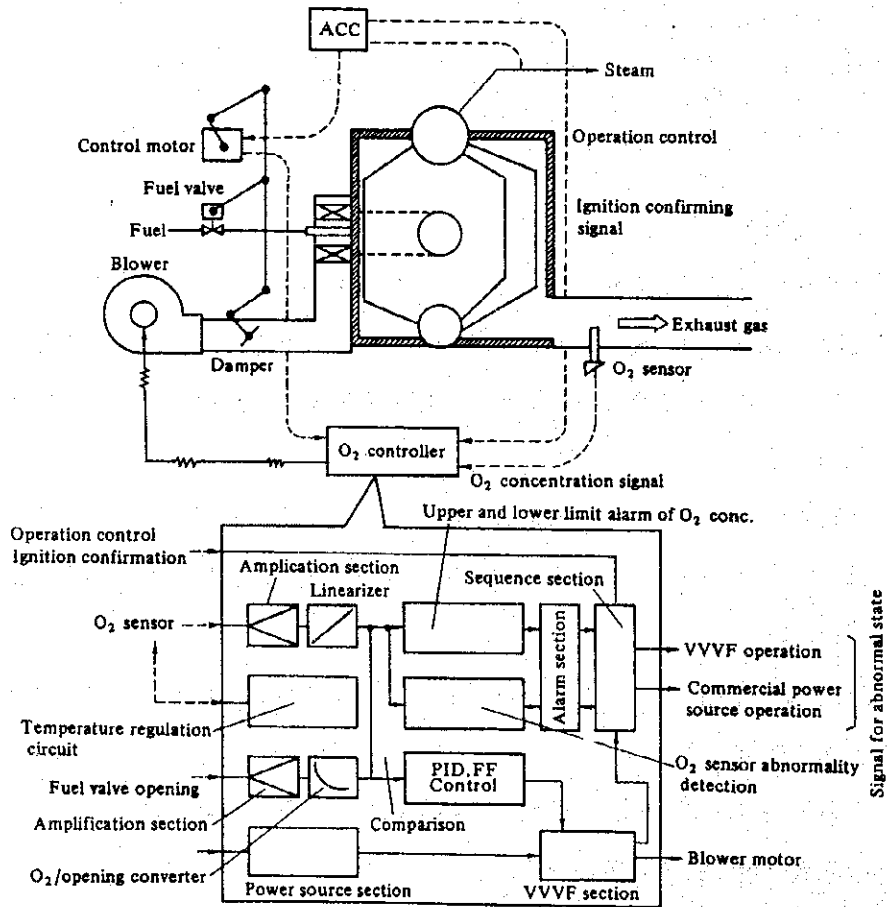


Figure 20 Boiler air ratio controller (2)





生しないよう空気比を高目に設定しがちである。

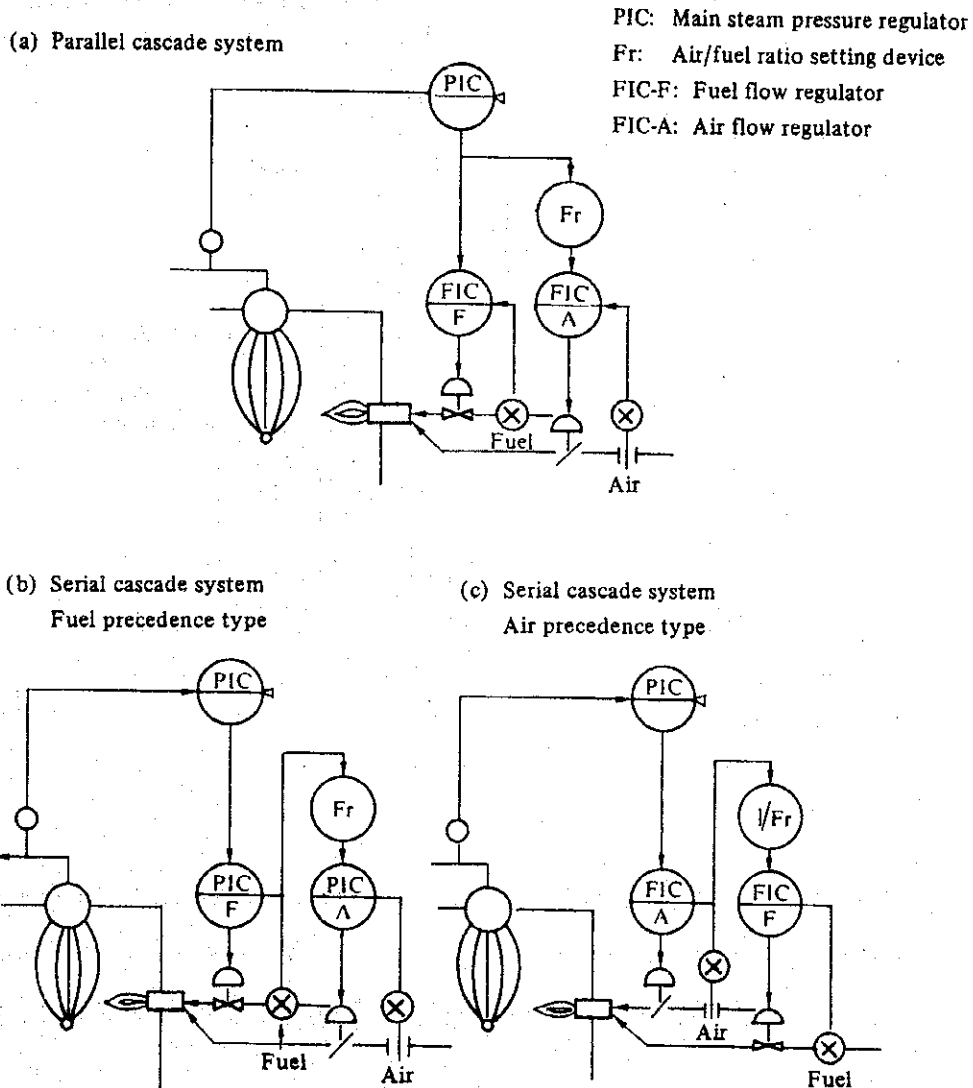
このため、この方式に一部改良を加えたものがある。

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

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

**Figure 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 22 Block diagram of single cross limit combustion control system

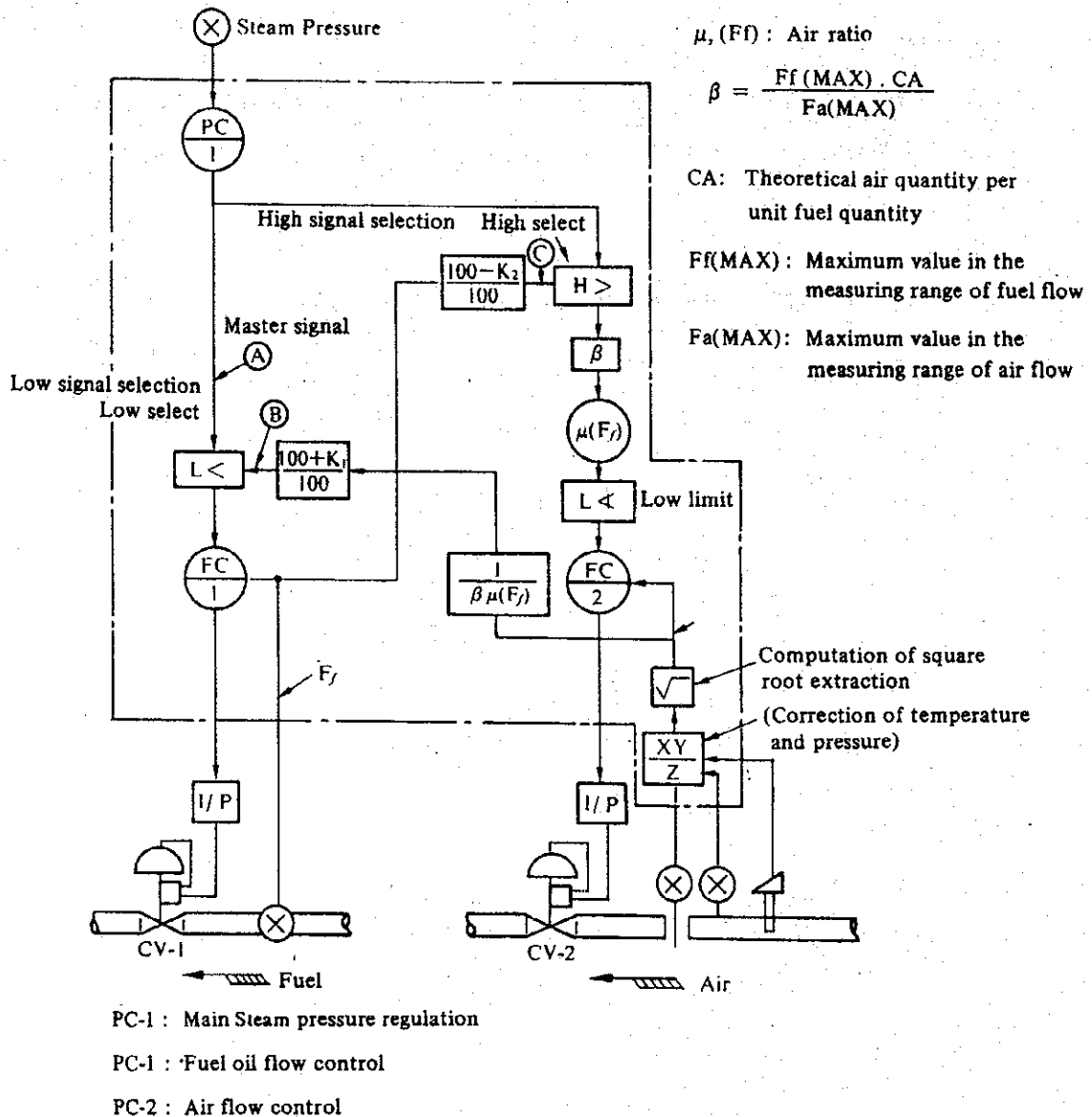


Figure 22はこの欠点を解消するため、燃料及び空気の流量設定をする際に、互に他の実際流量と適合するかをチェックするようにクロスリミットをかけたものである。すなわち、燃料については蒸気圧力計からくるマスター信号と、実際

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

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

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

#### (7) 空気比判断基準

空気比は燃料種別、負荷率、制御装置の構成などによって左右されるので、標準の設定に当たっては、その点を考慮しなければならない。参考までに日本の判断基準の値を Table 14 に示す。

**Table 14 Standard Air Ratio of Boiler**

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

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

## 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 15 に示すように軟鋼の場合の1/100ないし1/1,000に過ぎない。従って、これらが付着することは伝熱面に断熱を施したのと同様で著しくボイラの熱効率を低下せしめる（Figure 23 及び Figure 24 参照）。

**Table 15 Thermal Conductivity of Scale and Other Substance**

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

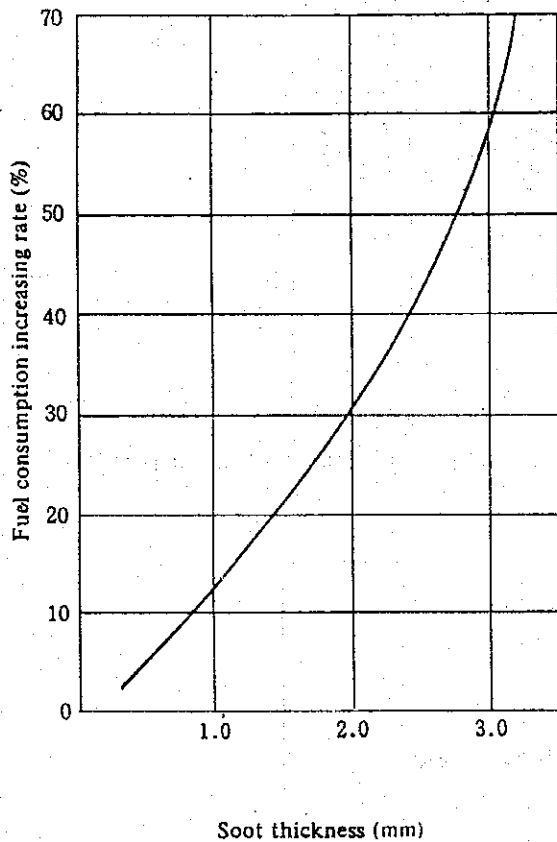
スケールによる障害を避けるためには、2. 3 の(3)で述べたように、水処理及びブローを正しく実施すること、及び定期的な掃除が必要である。

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

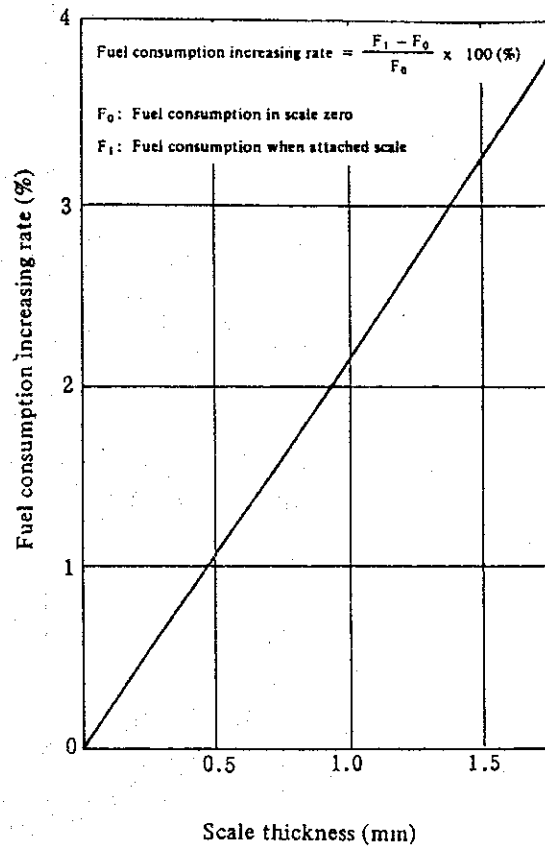
ガス側伝熱面については、煙管ボイラでは1~3カ月毎にブラシにより掃除を行う。その期間内であっても、排ガス温度が掃除直後に比べて30℃程度高くなったときは掃除を行う必要がある。水管ボイラでは定期的にスートブローを行う。

能力に余裕のある炉筒煙管ボイラでは煙管内に特殊鋼製の曲板（タブレット）を挿入し、ガス流れに乱流を起こして境膜の熱伝達を改善することも行われる（7.7 (3)参照）。

**Figure 23 Example of fuel loss due to soot on heating surface**



**Figure 24 Example of relation between scale thickness and fuel loss**



(2) 排ガス排熱回収

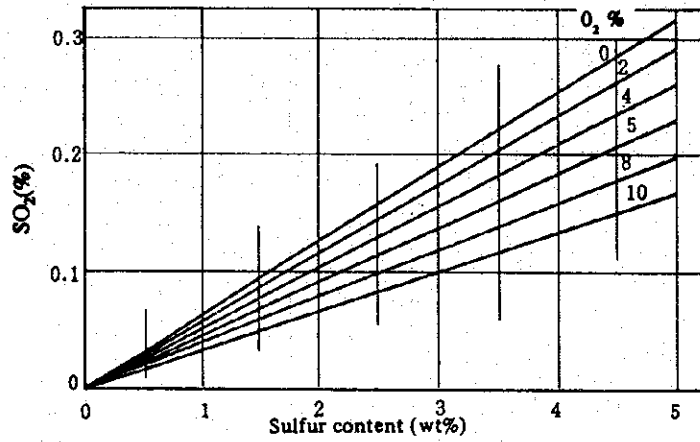
ボイラにおいては空気比を適正に保ち、伝熱面の汚れを少なくして、排ガス温度が上昇しないようにすることが基本であるが、なお排ガス温度が高い場合は、排ガスの排熱を回収して、給水や燃焼用空気を予熱し、全体としての熱効率を高めるようにする。一般的に大型のボイラでは、空気予熱器と給水予熱器の両方を備えている場合が多く、中小型ボイラではそのいずれかを備えている場合が多い。

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

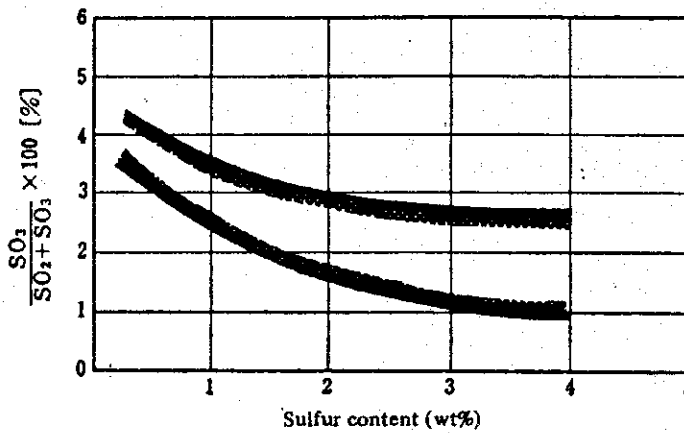
硫黄を含む燃料を燃焼すると  $\text{SO}_2$  が生成し、その一部は  $\text{SO}_3$  に転化する。従って、燃焼排ガスが熱交換器等の低温壁に接触して露点以下になると、この  $\text{SO}_3$  と水とが反応して高濃度の硫酸 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) を生成し、熱交換器やダクトを腐食する

ようになる。

**Figure 25 Relation between sulfur content in fuel and SO<sub>2</sub> content in fuel gas**



**Figure 26 Relation between sulfur content in fuel and conversion ratio from SO<sub>2</sub> to SO<sub>3</sub>**



**Figure 27 Relation between SO<sub>3</sub> concentration in exhaust gas and dew point temperature**

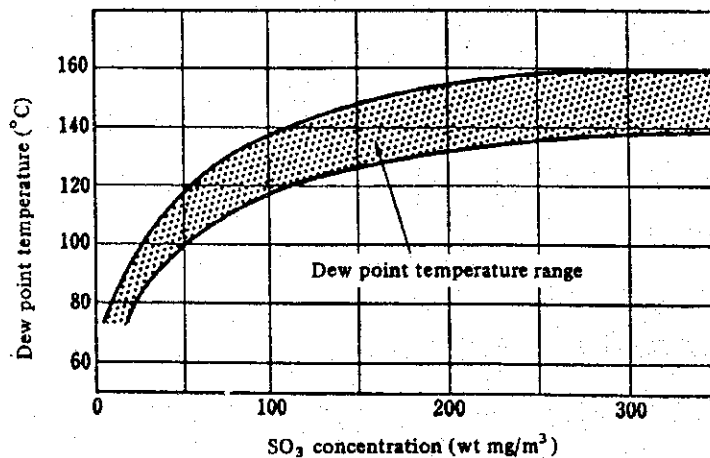


Figure 25 に燃料中硫黄含有量と排ガス中 SO<sub>2</sub> % の関係を、Figure 26 に、この SO<sub>2</sub> から SO<sub>3</sub> へ転化する割合を、Figure 27 に SO<sub>3</sub> 濃度と酸露点の関係を示す。熱交換器の低温流体入口付近では、部分的に温度の低い個所を生ずるので、図の酸露点温度より高目にガス温度を保つ必要がある。

この障害を避けるため熱交換器の材料としてガラス管や、鉛被覆管を使う例も出ている。また、熱勘定の項の Figure 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対策をとる場合もある。

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

空気予熱による燃料の節減率は次のようになる

Q : 燃焼ガスの持ち去る熱量 kcal/kg Fuel

P : 予熱空気の持ち込む熱量 kcal/kg Fuel

F : 燃料の発熱量 kcal/kg Fuel

H : 有効熱および固定的に必要な熱量 = F - Q kcal/kg Fuel

とすると、空気を予熱しないときは、

$$H_A = F - Q$$

空気を予熱するときは、

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

炉の所要熱量を X kJ/h とすれば、燃料消費量は空気を予熱しないとき、

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

空気を予熱するとき、

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

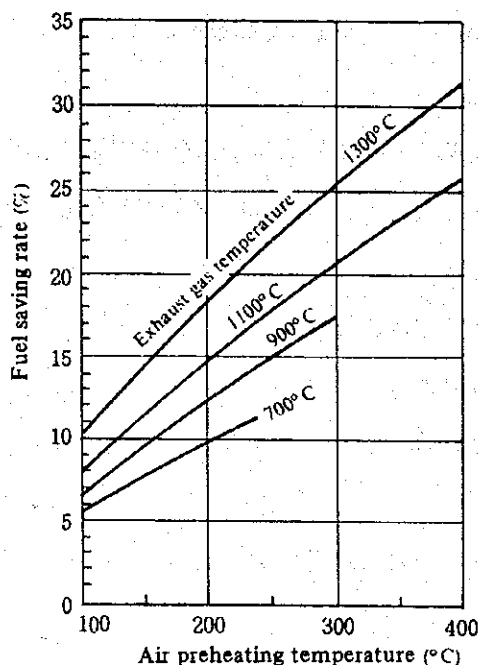
従って燃料節約率は、次のようになる。

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

空気比 1.2 の場合の燃料節約率を Figure 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 28 Fuel saving rate due to air preheating



一方、空気予熱を行う場合は火炎温度の上昇によるNO<sub>x</sub>発生量の増加、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

ボイラの熱効率も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 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 16 Standard Exhaust Gas Temperature of Boiler**

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

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

### 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 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、最経済になるように保温厚さを選ばばよいことになっている。（スチームの章参照のこと）

### 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、ブロウ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。

### 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。

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

Table 17 Daily Report of Boiler Operation

Chief Dry Night  
 Manager status service service  
 operator absent

Date	Weather	Ambient temperature inside °C	Outside °C																																																								
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Feed water</th> <th colspan="2">Feed oil quantity</th> <th colspan="2">Fuel oil temp.</th> <th colspan="2">Exhaust</th> <th colspan="2">Furnace</th> <th colspan="2">WB static</th> <th colspan="2">Outlet</th> </tr> <tr> <td>Pressure</td> <td>temp.</td> <td>Consump.</td> <td>Meter</td> <td>Service</td> <td>Heater</td> <td>Exhaust</td> <td>Exhaust</td> <td>pressure</td> <td>pressure</td> <td>pressure</td> <td>pressure</td> <td>pressure</td> <td>pressure</td> </tr> <tr> <td>bar</td> <td>°C</td> <td>ton</td> <td>reading</td> <td>°C</td> <td>outlet</td> <td>gas</td> <td>gas</td> <td>mmAq</td> <td>mmAq</td> <td>mmAq</td> <td>mmAq</td> <td>mmAq</td> <td>mmAq</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>lit</td> <td>°C</td> <td>°C</td> <td>°C</td> <td>% COs</td> <td>% COs</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Feed water		Feed oil quantity		Fuel oil temp.		Exhaust		Furnace		WB static		Outlet		Pressure	temp.	Consump.	Meter	Service	Heater	Exhaust	Exhaust	pressure	pressure	pressure	pressure	pressure	pressure	bar	°C	ton	reading	°C	outlet	gas	gas	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq			lit	°C	°C	°C	% COs	% COs						
Feed water		Feed oil quantity		Fuel oil temp.		Exhaust		Furnace		WB static		Outlet																																															
Pressure	temp.	Consump.	Meter	Service	Heater	Exhaust	Exhaust	pressure	pressure	pressure	pressure	pressure	pressure																																														
bar	°C	ton	reading	°C	outlet	gas	gas	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq																																														
		lit	°C	°C	°C	% COs	% COs																																																				
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Hours</th> <th colspan="2">Consump.</th> <th colspan="2">Oil pressure</th> <th colspan="2">Exhaust</th> <th colspan="2">Furnace</th> <th colspan="2">WB static</th> <th colspan="2">Outlet</th> </tr> <tr> <td>Start</td> <td>Stop</td> <td>ton</td> <td>Meter</td> <td>Primary</td> <td>Secondary</td> <td>gas</td> <td>gas</td> <td>pressure</td> <td>pressure</td> <td>pressure</td> <td>pressure</td> <td>pressure</td> <td>pressure</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>lit</td> <td>reading</td> <td>bar</td> <td>bar</td> <td>temp.</td> <td>temp.</td> <td>mmAq</td> <td>mmAq</td> <td>mmAq</td> <td>mmAq</td> <td>mmAq</td> <td>mmAq</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>°C</td> <td></td> <td></td> <td>°C</td> <td>°C</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Hours		Consump.		Oil pressure		Exhaust		Furnace		WB static		Outlet		Start	Stop	ton	Meter	Primary	Secondary	gas	gas	pressure	pressure	pressure	pressure	pressure	pressure			lit	reading	bar	bar	temp.	temp.	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq				°C			°C	°C						
Hours		Consump.		Oil pressure		Exhaust		Furnace		WB static		Outlet																																															
Start	Stop	ton	Meter	Primary	Secondary	gas	gas	pressure	pressure	pressure	pressure	pressure	pressure																																														
		lit	reading	bar	bar	temp.	temp.	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq																																														
			°C			°C	°C																																																				
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Blowing time</th> <th colspan="2">Pressure</th> <th colspan="2">Blowing quantity</th> <th colspan="2">Reading in previous day</th> </tr> <tr> <td>Start</td> <td>Stop</td> <td>bar</td> <td>kg</td> <td>ton</td> <td>lit</td> <td>Pressure <td>Blowing quantity</td> </td></tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>bar</td> <td>lit</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Blowing time		Pressure		Blowing quantity		Reading in previous day		Start	Stop	bar	kg	ton	lit	Pressure <td>Blowing quantity</td>	Blowing quantity							bar	lit																																
Blowing time		Pressure		Blowing quantity		Reading in previous day																																																					
Start	Stop	bar	kg	ton	lit	Pressure <td>Blowing quantity</td>	Blowing quantity																																																				
						bar	lit																																																				
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Contracting blow</th> <th colspan="2">Water quantity</th> <th colspan="2">NaCl quantity</th> <th colspan="2">Hardness analysis</th> <th colspan="2">Cool or so</th> </tr> <tr> <td>Start</td> <td>Stop</td> <td>lit</td> <td>ton</td> <td>kg</td> <td>ton</td> <td>Hardness</td> <td>analysis <td>Cool or so</td> <td>ton</td> </td></tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>ppm</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Contracting blow		Water quantity		NaCl quantity		Hardness analysis		Cool or so		Start	Stop	lit	ton	kg	ton	Hardness	analysis <td>Cool or so</td> <td>ton</td>	Cool or so	ton							ppm																													
Contracting blow		Water quantity		NaCl quantity		Hardness analysis		Cool or so																																																			
Start	Stop	lit	ton	kg	ton	Hardness	analysis <td>Cool or so</td> <td>ton</td>	Cool or so	ton																																																		
						ppm																																																					
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Chemical name</th> <th colspan="2">Input</th> <th colspan="2">Pressure</th> <th colspan="2">Sampling</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>kg</td> <td>ton</td> <td>bar</td> <td>bar</td> <td>Pressure <td>Pressure </td></td></tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>bar</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Chemical name		Input		Pressure		Sampling				kg	ton	bar	bar	Pressure <td>Pressure </td>	Pressure							bar	bar																																
Chemical name		Input		Pressure		Sampling																																																					
		kg	ton	bar	bar	Pressure <td>Pressure </td>	Pressure																																																				
						bar	bar																																																				
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Previous day</th> <th colspan="2">Today</th> <th colspan="2">Four</th> </tr> <tr> <td>Pressure</td> <td>Temp</td> <td>Pressure</td> <td>Temp</td> <td>Pressure</td> <td>Temp</td> </tr> <tr> <td>bar</td> <td>°C</td> <td>bar</td> <td>°C</td> <td>bar</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Previous day		Today		Four		Pressure	Temp	Pressure	Temp	Pressure	Temp	bar	°C	bar	°C	bar	°C																																						
Previous day		Today		Four																																																							
Pressure	Temp	Pressure	Temp	Pressure	Temp																																																						
bar	°C	bar	°C	bar	°C																																																						
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Water quality test</th> <th colspan="2">Description</th> </tr> <tr> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> </tr> <tr> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td></td> <td>pH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> </tr> <tr> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Phosphate ion</td> <td>ppm</td> <td>Phosphate ion</td> <td>ppm</td> </tr> </table>				Water quality test		Description		Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm	Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm	Hardness	ppm	Hardness	ppm	pH		pH		Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm	Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm	Hardness	ppm	Hardness	ppm	Phosphate ion	ppm	Phosphate ion	ppm																				
Water quality test		Description																																																									
Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm																																																								
Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm																																																								
Hardness	ppm	Hardness	ppm																																																								
pH		pH																																																									
Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm																																																								
Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm																																																								
Hardness	ppm	Hardness	ppm																																																								
Phosphate ion	ppm	Phosphate ion	ppm																																																								
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Boiler water</th> <th colspan="2">Boiler water</th> </tr> <tr> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> </tr> <tr> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td></td> <td>pH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> </tr> <tr> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Phosphate ion</td> <td>ppm</td> <td>Phosphate ion</td> <td>ppm</td> </tr> </table>				Boiler water		Boiler water		Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm	Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm	Hardness	ppm	Hardness	ppm	pH		pH		Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm	Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm	Hardness	ppm	Hardness	ppm	Phosphate ion	ppm	Phosphate ion	ppm																				
Boiler water		Boiler water																																																									
Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm																																																								
Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm																																																								
Hardness	ppm	Hardness	ppm																																																								
pH		pH																																																									
Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm																																																								
Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm																																																								
Hardness	ppm	Hardness	ppm																																																								
Phosphate ion	ppm	Phosphate ion	ppm																																																								
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Boiler water</th> <th colspan="2">Boiler water</th> </tr> <tr> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> </tr> <tr> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td></td> <td>pH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> </tr> <tr> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Phosphate ion</td> <td>ppm</td> <td>Phosphate ion</td> <td>ppm</td> </tr> </table>				Boiler water		Boiler water		Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm	Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm	Hardness	ppm	Hardness	ppm	pH		pH		Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm	Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm	Hardness	ppm	Hardness	ppm	Phosphate ion	ppm	Phosphate ion	ppm																				
Boiler water		Boiler water																																																									
Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm																																																								
Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm																																																								
Hardness	ppm	Hardness	ppm																																																								
pH		pH																																																									
Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm																																																								
Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm																																																								
Hardness	ppm	Hardness	ppm																																																								
Phosphate ion	ppm	Phosphate ion	ppm																																																								
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Boiler water</th> <th colspan="2">Boiler water</th> </tr> <tr> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> </tr> <tr> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td></td> <td>pH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> <td>Conductivity</td> <td>µΩ/cm</td> </tr> <tr> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> <td>Chloride ion</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> <td>Hardness</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Phosphate ion</td> <td>ppm</td> <td>Phosphate ion</td> <td>ppm</td> </tr> </table>				Boiler water		Boiler water		Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm	Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm	Hardness	ppm	Hardness	ppm	pH		pH		Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm	Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm	Hardness	ppm	Hardness	ppm	Phosphate ion	ppm	Phosphate ion	ppm																				
Boiler water		Boiler water																																																									
Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm																																																								
Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm																																																								
Hardness	ppm	Hardness	ppm																																																								
pH		pH																																																									
Conductivity	µΩ/cm	Conductivity	µΩ/cm																																																								
Chloride ion	ppm	Chloride ion	ppm																																																								
Hardness	ppm	Hardness	ppm																																																								
Phosphate ion	ppm	Phosphate ion	ppm																																																								

## 7.7 事例

### (1) 他のプロセスの排熱による給水予熱（石油化学会社）

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

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

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

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

### (2) ボイラ空気比の改善（建築材料製造業）

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

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

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

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

を行い、O<sub>2</sub> を 1.0% まで低下せしめた。

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

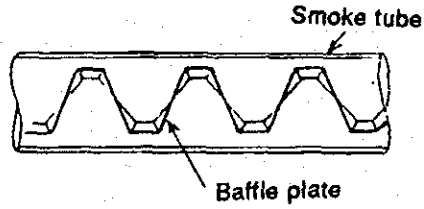
以上の結果、重油 37.5 kl/年減、電力 145 × 10<sup>3</sup> kWh/年減となり、メリットは 515 万円/年、設備費は約 1 年で回収できた。

### (3) 煙管の伝熱改善（Figure 29 参照）

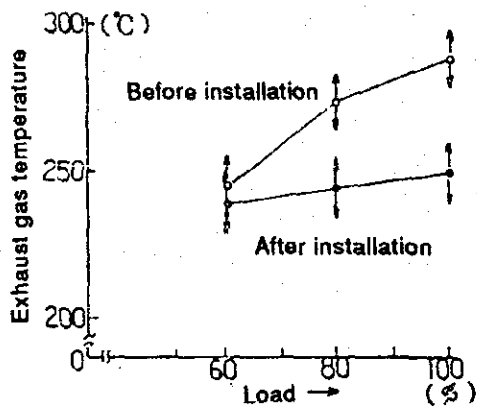
重油を燃料とする炉筒煙管式ボイラ（6 bar、7 t/h）の煙管内に特殊鋼製の曲板（タブレット）を挿入し、煙管内のガス流れに乱流を与えて熱伝達を良くした。

この結果、ボイラ効率が87.5%から89.7%に向上した。

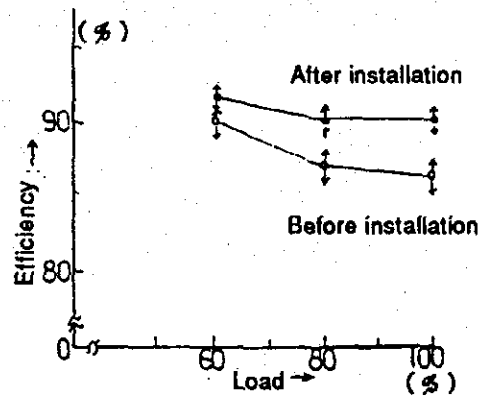
Figure 29 Turbulator Insertion effect



(a) Load - exhaust gas temperature



(b) Load - efficiency



タイ王国省エネルギー計画アフターケア調査

エネルギー診断技術ワークショップテキスト

---

## 8. スチーム取扱の省エネルギー

---

1994年3月

国際協力事業団 (JICA)  
財団法人 省エネルギーセンター (ECCJ)





# 1. スチーム取扱の省エネルギー

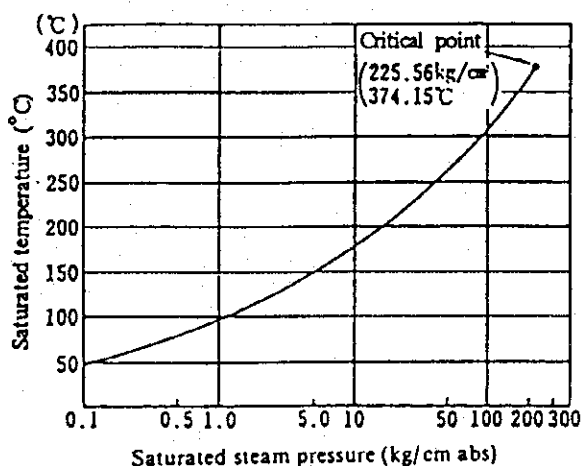
## 1. スチームの利用

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。

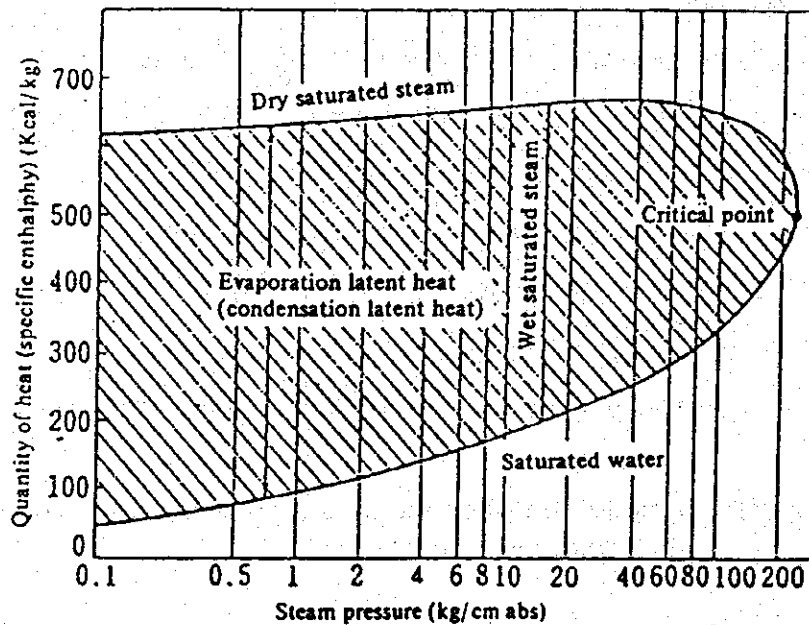
- (1) 飽和スチームは、その圧力と温度とが常に一定の関係にあり、スチーム圧力を一定に保つことにより、温度を一定に設定できる (Figure 1 参照)。
- (2) スチームは大きな蒸発潜熱を持ち、その蒸発中 (凝縮中) は温度が一定に保たれる。

Figure 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 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、凝縮したコンデンサ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 2 Relation between the saturated steam pressure and the quantity of heat**



## 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 1 Difference of steam effective heat by pressure**

Steam pressure (bar G)	Saturation temperature (°C)	Specific enthalpy of steam (kcal/kg)	Condensation latent heat (kcal/kg)
7	170	660.8	489.5
5	159	657.9	498.6

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9 kcal/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、

$$5,400 \times \frac{489.5}{498.6} \approx 5,300 \text{ t / 月}$$

となる。燃料の発熱量を10,000 kcal/kg、給水温度を20℃、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。

$$\frac{5,400 \times 10^3 \times (660.8 - 20)}{10,000 \times 0.85} - \frac{5,300 \times 10^3 \times (657.9 - 20)}{10,000 \times 0.85} = 9,347 \text{ kg / 月}$$

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、

$$481.65 \times 0.95 = 457.57 \text{ kcal / kg}$$

であり、湿りスチームのエンタルピーは、

$$181.25 + 457.57 = 638.82 \text{ kcal / kg}$$

となる。減圧後の潜熱量は、

$$638.82 - 133.41 = 505.41 \text{ kcal / kg}$$

となる。従って、減圧することにより、熱量は、

$$505.41 - 457.57 = 47.84 \text{ kcal / kg}$$

増加する。つまり減圧により  $(47.84 / 457.57 \times 100 = 10.6\%)$  だけ余分に熱量が利用できる。また、減圧後の乾き度(x)は、

$$638.82 = 133.41 + x \times 517.9 \quad x = 0.98$$

となる。

### 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

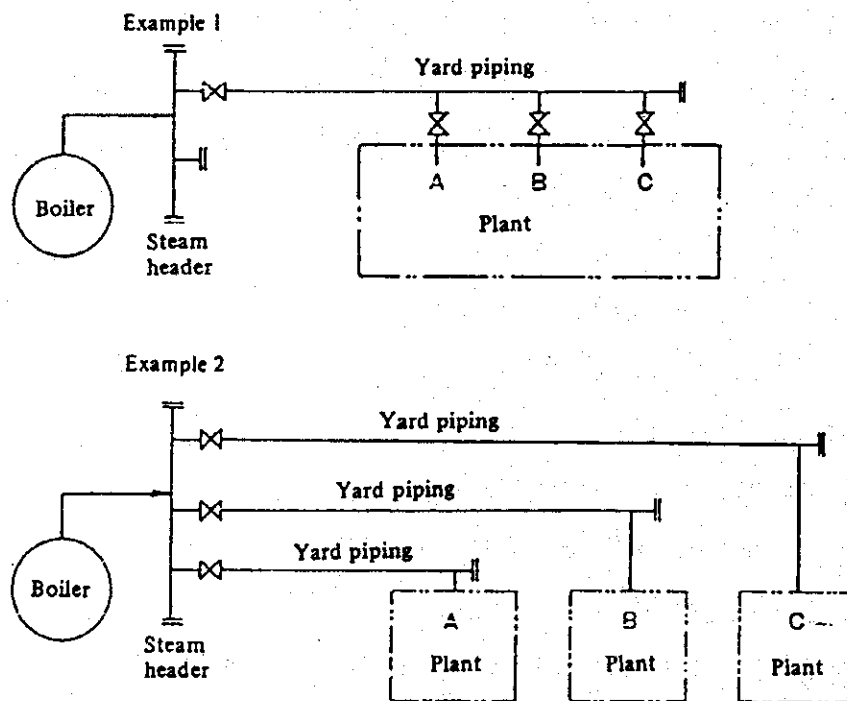
消費設備でのスチーム使用条件に関し、次の事項を明確にしておく。

- 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、配管の構想図を画き、ヤード配管とプラント配管の関係を明確にする。

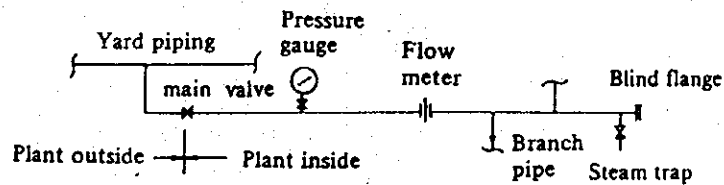
ヤード配管系統図の例を Figure 3 に示す。例1、例2のいずれにするかは工場の広さ、ヤード配管の長さ、管径、増設の時期、各プラントの稼働方法、設備費、熱損失を勘案して決めるとよい。同時に、昼間、夜間専用配管、高圧、低圧系の分離についても検討の必要がある。

Figure 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 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。またヘッダの末端は、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 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 2 に無機質保温材の種類と特徴を示す。

#### c. 保温材の選択

蒸気配管系統の保温材としては、最近では珪酸カルシウム、パーライト、ロックウール、石綿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 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"> <li>• Andesite, basalt, igneous rock, serpentinite, peridotite, chlorite-schist, slag of nickel ore and manganese ore and limestone</li> <li>• 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.</li> </ul> <p>SiO<sub>2</sub> : 40-50 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 10-20 % CaO : 20-30 % MgO : 3-7 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 2-5 %</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attacked by weak acid but not weathered.</li> <li>• Various shape products such as plate, cylinder, band and bracket.</li> <li>• Blacket is formed by set metal on both sides of the stratified rock wool and sew up with a wire. Good acoustic absorption effect.</li> </ul>	Density: < 0.3 g/cm <sup>3</sup> Thermal conductivity (70 °C): < 0.042 kcal/m. h. °C	600 °C or less
Glass wool insulator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manufactured by the similar manner to the rock wool.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plate, cylinder, bracket and band</li> </ul>	Density: < 0.1 g/cm <sup>3</sup> Thermal conductivity (70 °C): < 0.042 kcal/m. h. °C	400 °C or less
Calcium silicate insulator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Put on the market for a high temperature from 1952 and standardized in JIS in 1955.</li> <li>• Low price, good workability and durability.</li> <li>• Typical insulator used not only piping but a general machine.</li> </ul>	Density: less 0.22 g/cm <sup>3</sup> Thermal conductivity (70 °C): < 0.053 kcal/m. h. °C	1000 °C or less
Perlite insulator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcinate ignition rock such as perlite or obsidian at 800 ~ 1,200 °C in kiln.</li> <li>• 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.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Less 1 mm for moulding insulator</li> <li>• Blend asbestos fiber and inorganic adhesive, mold by press and dry.</li> <li>• Classified to 1st class and 2nd class. One of many excellent insulators.</li> </ul>	Density: less 0.2 g/cm <sup>3</sup> Thermal conductivity: < 0.065 kcal/m. h. °C	900 °C or less
Basic magnesium carbonate insulator (magnesium carbonate insulator)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classified to magnesium carbonate water kneading insulator, plate and cylinder.</li> <li>• Convert to magnesium oxide by heating in a temperature of 300 °C or more and shrink extremely</li> <li>• Almost same properties as those of calcium silicate except for heat resistance. As present not used too much.</li> </ul>	Density: less 0.3 g/cm <sup>3</sup> Thermal conductivity: < 0.065 kcal/m. h. °C	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こと）。
- ⑥ 施工性が良いこと。

## B) 保温施工

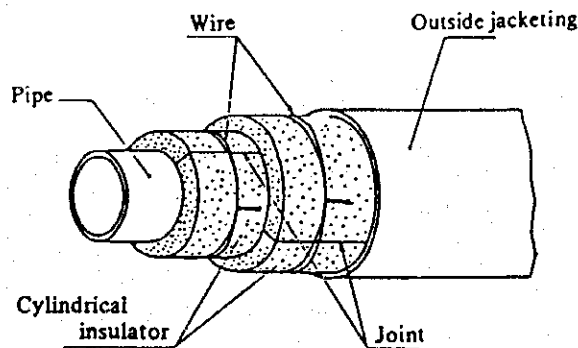
優れた保温材を使用しても、施工が完全でないと雨水の浸入により保温材が劣化するほか、放熱によるエネルギーの損失が無視できないので、施工に当たっては十分な注意が必要である。

### 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75mm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 5 参照）。

Figure 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 6 にバルブの保温、Figure 7 にフランジ部の保温、Figure 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

維質保温材が振動吸収の点で適している。

⑤ 耐雨水性，耐薬品性の考慮

Figure 6 Insulation work of valve

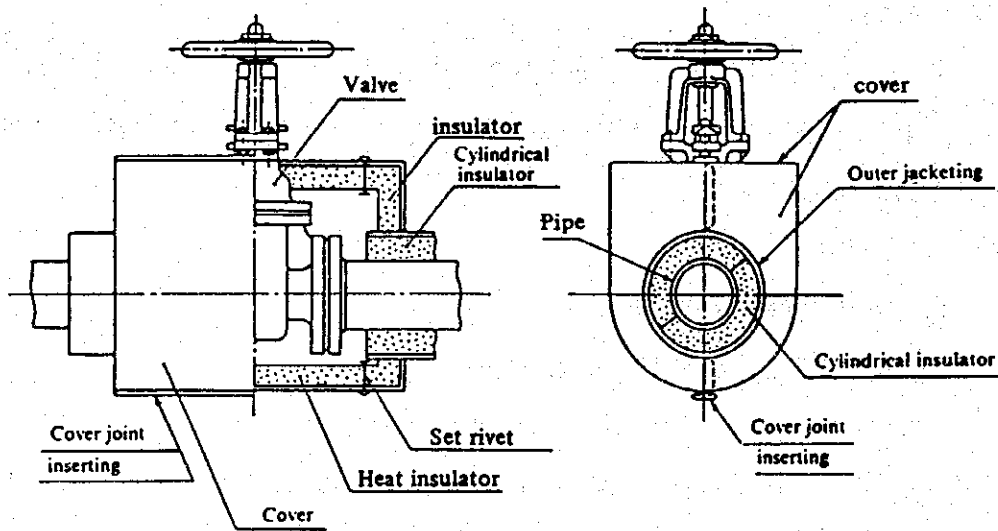


Figure 7 Insulation work of flange

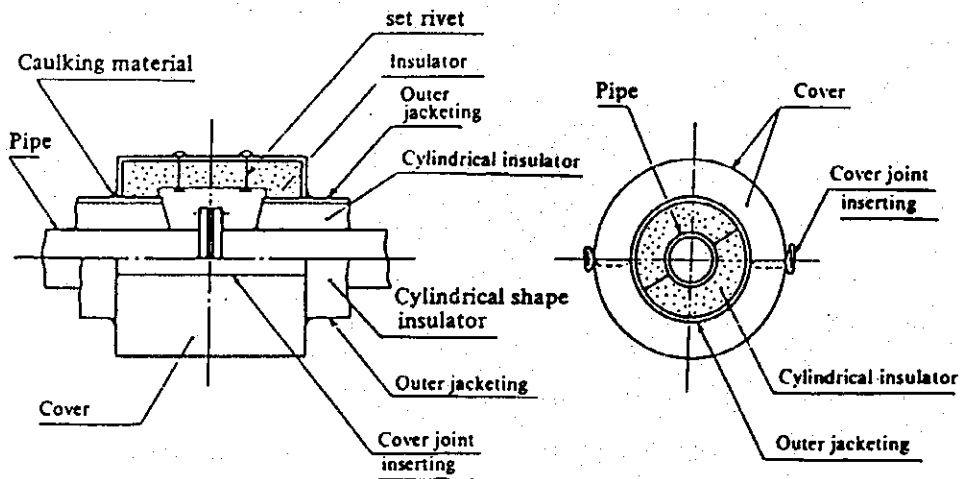
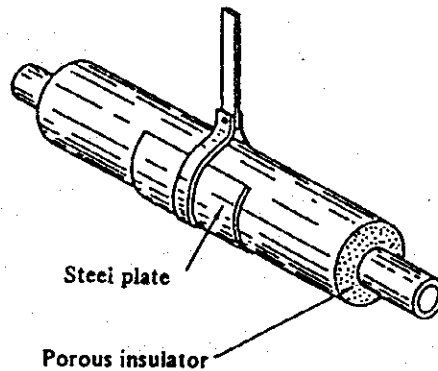




Figure 8 Installation work of hanger



保温材を雨水や腐食性の薬品から保護するため、保温材は必ず鉄板、アルミ板、マスチック材で外装する必要がある。

特に、保温材が水分を吸収すると、水の熱伝導率は約  $2 \text{ kJ/mh}^\circ\text{C}$  と保温材の約 10 倍も大きく、熱損失が増加するので注意が必要である。

マスチック材は、アスファルトやプラスチックを主材とした液状、またはペースト状のもので施工性、耐雨水性、耐薬品性の点で優れている。

#### b. 保温材の保守点検

保温材施工箇所は、年月と共に劣化、破損を生ずるので点検を行う必要がある。この点検は目視による外観点検で十分であり、日常、工場を巡視している時でも、そのつもりになればいつでも行うことができる。次に注意すべき点を挙げる。

- ① 外装が変形したり、破損したりしていないか。
- ② 外装材が変色したり、塗装が剥げていないか。
- ③ スチームが出てたり、またしずくが垂れた跡はないか。
- ④ 外装板の重ね目がずれたり、コーキング材などが脱落していないか。
- ⑤ 吊り金物、サポート金物などと、保温材外装部との間に隙間を生じていないか。

以上のような点に異常が見つからなければ、断熱性能は十分保たれていると見てよい。

異常を見つけた場合は、速かに補修が必要である。

c. スチーム配管の保温の厚さと放熱損失及び保温効率

保温施工後の放熱熱量と保温効率を Figure 9 ~ Figure 14 に示す。

Figure 9 3" Piping

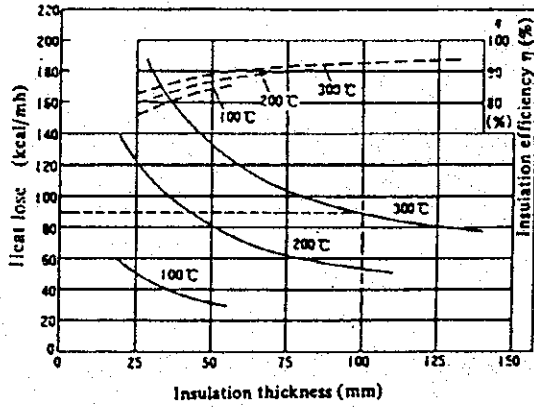


Figure 10 2" Piping

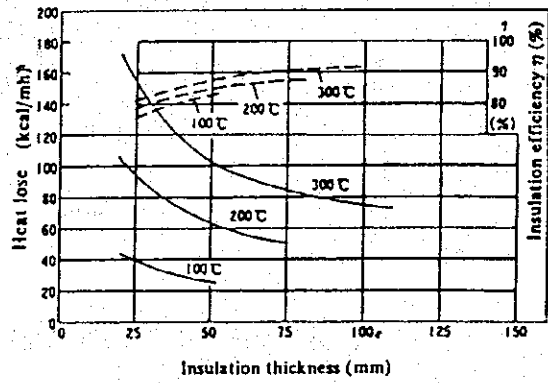


Figure 11 1" Piping

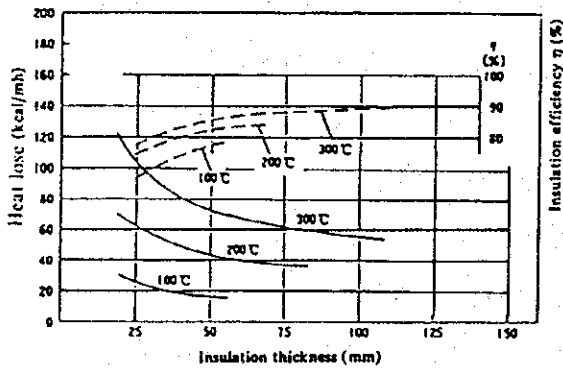


Figure 12 4" Piping

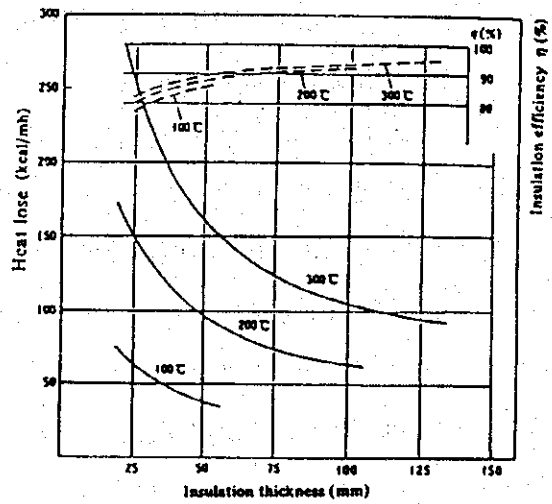


Figure 13 6" Piping

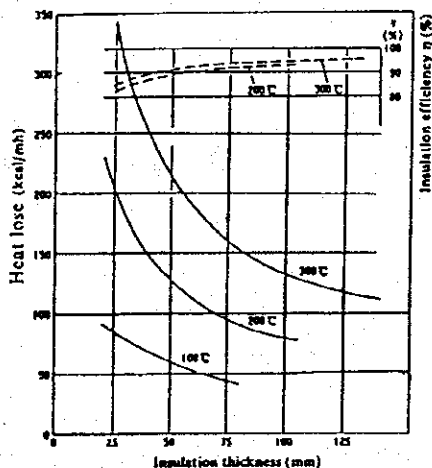
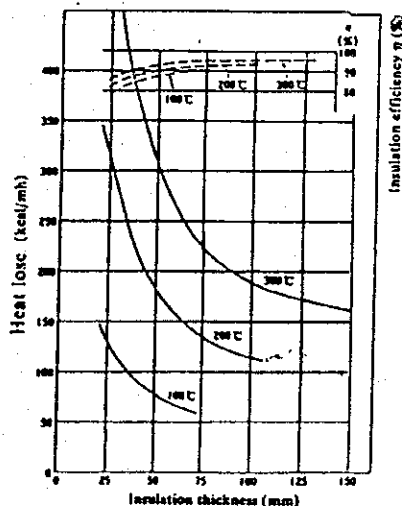


Figure 14 10" Piping



$$\text{保温効率} = (Q_0 - Q) / Q_0$$

$Q_0$  : 裸管の放散熱量

$Q$  : 保温施工後の放散熱量

〈Figure 9 の使い方の例〉

スチーム温度 300 °C の 3" 配管において 100 mm の保温を施工した場合の放散熱量と保温効率はいくらか。

(答) 300 °C の曲線の交点から、水平線を引き縦軸の放散熱量を求める

(90 kcal/mh)。保温効率は、300 °C の交点を更に垂直に引き、300 °C

の点曲線との交点から右に水平線を引き縦軸効率目盛を読む(93%)。

#### 4. スチームトラップ

スチームがスチーム使用装置に入ると、スチームの保有熱は被加熱物に伝えられ、その装置の主目的である加熱操作が行れる。その結果として、スチームの全量が凝縮してコンデンセートとなる。スチーム使用装置は、スチームスペースが完全にスチームで満たされているとき最大の加熱効果を発揮し、スチームスペースにコンデンセートが滞留するにつれて有効伝熱面が減少し、装置の加熱効果が低下する。従って、装置の能力を最高に維持するためには、発生したコンデンセートをできるだけ速やかに排出しなければならない。また、スチーム供給配管中で発生したコンデンセートが機器に流入するのを防止するとともにウォーターハンマの発生を防止しなければならない。この目的に使用されるのがスチームトラップである。

(1) 分類と特徴

スチームトラップの最も重要な機能として、次の三つをあげることができる。

- ・発生したコンデンセートを速やかに排除する。
- ・スチームを漏らさない。
- ・空気などの不凝縮ガスを排除する。

この機能を果たすために現在、多数のスチームトラップが作られている。これらは作動原理によって、次の三種類に大別できる。

- A) メカニカル・スチームトラップ
- B) サーモスタチック・スチームトラップ
- C) サーモダイナミック・スチームトラップ

それぞれについて、また多数の型式のものがあるが、Table 3 に分類と特性を示す。

**Table 3 Classification and Characteristic of Steam Trap**

Large classification	Operation principle	Middle classification	Characteristic
Mechanical	Utilize the density difference between the steam and the condensate.	Lever float type Free float type Open bucket type Inverted bucket type Free ball bucket type	The presence of condensate drives directly a trap valve. It is not necessary to wait a temperature drop of the condensate for actuation. The actuation is quick and secure and has a high reliability.
Thermostat check	Utilize the temperature difference between the steam and the condensate.	Bimetal type Bellows type (steam expansion type)	Actuation does not depend on directly the presence of condensate. Since actuation is done through the medium of temperature, response is slow. Accordingly the actuation cycle is longer. A large air exhaust capacity.
Thermodynamic	Utilize the difference of thermodynamic property between the steam and the condensate.	Impulse type (orifice type) Disc type	The configuration is small and the reliability is next to the mechanical. The trap back pressure is limited to less 50% of the inlet pressure.

A) メカニカル・スチームトラップ

スチームとコンデンセートの密度差により、バケット、又はフロートを動かして弁を開閉するトラップである。

a. レバーフロート型トラップ

密閉フロートの浮力を利用し、レバーを介して弁を開閉するトラップである

(Figure 15 参照)。レバー機構の摩耗あるいは衝撃に基づく変形によって弁着座の狂い、又は不能を生じることがある。

b. フリーフロート型トラップ

フロート自体が弁として作用し、弁口を開閉するトラップである (Figure 16 参照)。このトラップは、機械的故障がほとんど起こらないため信頼性が高い。また、コンデンセートの連続排出特性を持っている。

Figure 15 Float with lever type trap

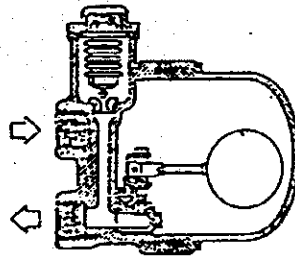
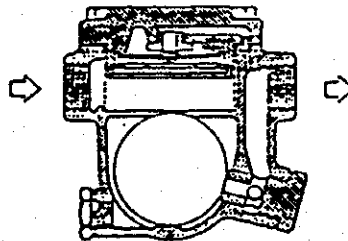


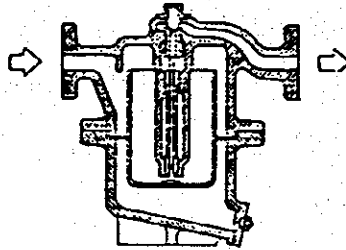
Figure 16 Free float type trap



c. 上向きバケット型トラップ

上方が開放されたバケットの中央に固定した弁棒の頂上に、弁を備えている  
(Figure 17 参照)

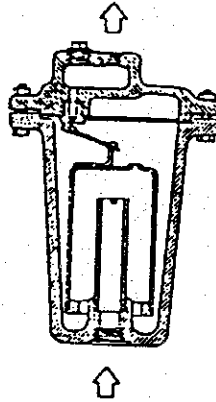
Figure 17 Open bucket type trap



d. 逆バケット型トラップ

下方が開放されたバケットをレバーで吊り下げた構造で、レバーに取り付けられた弁で上部にあるオリフィスの開閉をする (Figure 18 参照)。レバーの変形、摩耗が故障の原因となることがある。

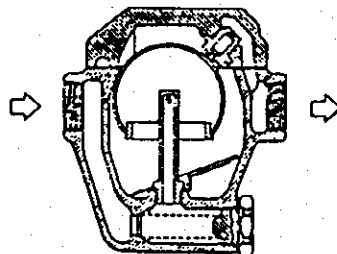
Figure 18 Inverted bucket type trap



e. フリーボールバケット型トラップ

逆バケット型トラップのレバーを無くしたもので、作動原理は逆バケット型トラップと同じである (Figure 19 参照)。バケットは球形で、その外表面が弁として作用する。このトラップは、コンデンセートの量が少ない場合は断続作動であるが、量が多い場合は連続排出になる。

Figure 19 Free ball bucket type trap



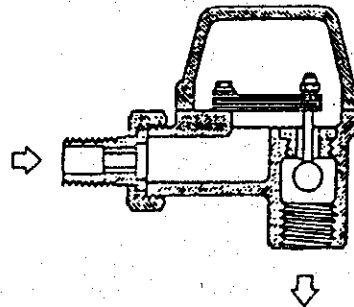
B) サーモスタチック・スチームトラップ

コンデンセートは、発生直後はそのスチームの飽和温度であるが、その後の放熱によって温度降下が起こり温度差を生ずる。この温度差を利用して弁を開閉するトラップである。

a. バイメタル型トラップ

バイメタルが生ずる力は温度と直線関係にある。この関係を利用して弁の開閉をするトラップである。しかし、スチーム圧力と温度は直線関係でないため、このトラップの使用圧力範囲は制限される (Figure 20 参照)。

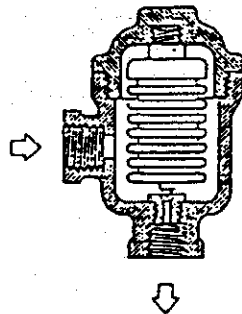
Figure 20 Bimetal type trap (Strip Type)



b. ベローズ型トラップ

伸縮可能な密封容器内に沸点の低い液体を封入し、温度変化による液体の Vapor 圧力の変化に基づく容器の伸縮を利用して、弁を開閉するトラップである (Figure 21 参照)。

Figure 21 Bellows type trap



C) サーモダイナミック・スチームトラップ

コンデンセートとスチームの熱力学的性質の差を利用して、弁を開閉するトラップである。

このトラップは、圧力に関して使用制限があり、トラップ背圧は入口圧力の 50% 以下に制限される。50% 以上になると「吹き放し」状態となり、正常に作動ができ

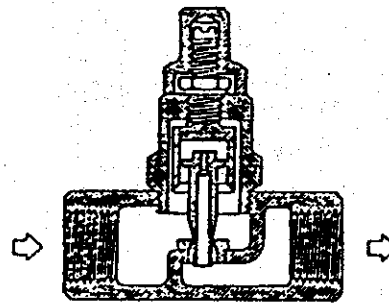
なくなる。

また、スチームトラップ入口にエア及びスチームがある場合、エアロッキング、スチームロッキング現象が起りやすく、コンデンセートの排出が阻害される場合が発生するので注意を要する。

a. インパルス型トラップ

流体特性（コンデンセートがオリフィスを通過するとき圧力降下を生ずる）を利用したトラップである（Figure 22 参照）。他のトラップに比べて著しく小形である長所があるが、閉弁中でもスチームを漏らす構造であること、精密に作られた摺動部品を持っているため、故障を起こしやすい欠点がある。

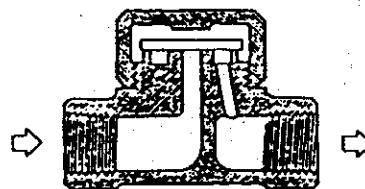
Figure 22 Impulse type trap



b. ディスク型トラップ

トラップの入口と出口の間にディスク弁を有する変圧室を設け、変圧室の圧力変化によってディスク弁を開閉するトラップである（Figure 23 参照）。

Figure 23 Disc type trap



このトラップは、可動部分がディスク弁だけで構造が簡単で、広い圧力範囲を無調整で使用できる長所があるが、作動がコンデンセートの存在によるのではなく、外気に依存するため、雨天等の場合にドレンがたまっていないのに作動し、スチーム損失を招く欠点がある。

(2) スチームトラップの選定

スチームトラップの選定に当たって検討すべき事項は、次の通りである。

a. スチーム使用装置のコンデンセート負荷と負荷特性



スチームトラップのサイズを決めるには、コンデンセート量を調べてスチームトラップ管径を決める必要がある。

コンデンセート量の簡易的な算出は次式による。

$$W_p = \frac{C \times G \times (T_2 - T_1)}{r}$$

ここで	$W_p$ : コンデンセート発生量	kg/h
	$C$ : 加熱される流体の比熱	kcal/(kg · °C)
	$G$ : 加熱される流体の重量	kg/h
	$(T_2 - T_1)$ : 温度上昇	°C
	$r$ : スチームの潜熱	kcal/kg

この他に配管ラインよりの持込み量及び機器からの放熱量などのコンデンセート発生量を加味して、計算値の1.5～2倍を発生コンデンセート量とする。

装置が連続運転の場合は、一般的に負荷変動は少ない。しかし、バッチプロセスの場合は、日に数回始動し、始動のたびに多量の空気とコンデンセートを排出しなければならない。しかも、生産性の観点から始動時間はできるだけ短くする必要があるので、十分な排出能力があるトラップを選ばなければならない。口径1"、作動圧力差1.5～16 barの場合、コンデンセート排出量はメカニカルトラップで概略100～200kg/h、サーモダイナミックトラップで300～700kg/h、サーモスタチックトラップで100kg/h前後である。

#### b. スチーム条件 (圧力, 温度, 乾き度)

コンデンセートを円滑に排出させるには、スチームトラップの前後に次の圧力差が必要である。

- ・ メカニカルトラップ or サーモスタチックトラップ 0.1bar (G) 以上
- ・ サーモダイナミックトラップ 0.3bar (G) 以上

一方、トラップの最高使用圧力を上回る圧力で使用すると、閉塞現象を起こすことがある。

#### c. 背圧条件

コンデンセート回収を行なっている場合は、コンデンセートが再蒸発を起こし、トラップに背圧がかかる。

$$\text{背圧許容度} = \frac{\text{スチームトラップ出口圧力}}{\text{スチームトラップ入口スチーム圧力}} \times 100\%$$

上式により背圧許容度を定義すると、背圧許容度はトラップにより異なる。

メカニカルトラップ	90%以下
-----------	-------

d. 保守条件：故障が少なく、長寿命であるか。分解、点検が容易であるか。

スチームトラップの故障には次のようなものがある。

吹放し : 差圧不良及びメカニカル不良によって起こる。トラップの閉弁不能になった状態である。トラップはコンデンセートとともに多量のスチームを排出し続ける。この場合、生産には支障を来さないで放置されがちであるが、スチームの損失は大きい。

閉塞 : サビ、スケール等によりストレーナが詰ったり、弁が固着して開弁不能になった状態で、コンデンセートも空気も排出しない。トラップは冷たくなっているため容易に確認できる。

この状態になると生産を維持するためバイパス弁を開放して運転することになり、莫大なスチーム損失を生ずることがある。

スチーム洩れ : 弁、弁座、フロートのキズによって起こる。トラップは作動するが、正常作動の場合に比べてスチーム漏れが著しく多い状態である。

トラップの故障は構造が簡単なトラップほど少ないので、できるだけそのようなものを選ぶべきである。

e. 本体材質

使用スチーム圧力によって適正な材質のスチームトラップを選ぶ。

- ・ 16 bar (G) ・ 220℃まで 鋳鉄 (FC)
- ・ 20 bar (G) ・ 350℃まで 黒心可鍛鋳鉄 (FCMB)
- ・ 45 bar (G) ・ 425℃まで 鋳鋼 (SCPH)

Table 4 に、スチームトラップ選定に当たっての一般的な注意事項を示す。

Table 4 Steam trap selection

○ Appropriate    △ Some problems    × Problematic

	Control method		Processing method		Air trouble	Pressure fluctuations	Others
	2-position control (ON/OFF)	Continuous control (P,PI, PID)	Continuous processing	Batch processing			
Downward bucket type	○ However, there is the problem of steam locking by reevaporation of drain in the trap at the time of control valve closing.	○ This is an intermittent discharge method, but as the inflowing drain is discharged quickly, there is little drain stoppage and the equipment efficiency is high. The permissible back pressure is high, and discharge is possible even at low pressure.	○ Structurally, the steam consumption amount is small, and the leakage steam amount also is small.	△ The drain discharge capacity is slightly low, so that the trap becomes large in order to maintain the equipment capacity. Large equipment expenses.	○	△ The valve seat use pressure is divided, and when the use pressure range is exceeded, drain discharge becomes impossible.	• Large size → Large radiation • Strictly horizontal installation
Float type	× Float deformation damage from drain water hammer can occur at the time of control valve opening.	○ As this is a continuous discharge method, there is no drain stoppage and the equipment efficiency becomes high. The permissible back pressure is high.	○ As the discharge valve is below the water level, water sealing takes place, and the steam leakage amount principally is zero. However, the lever float type has loss from valve closing delay.	△ Same as above. There is the problem of air trouble at the time of start-up.	× However, there is no trouble when air blow equipment is installed.	△ Same as above.	Same as above.
Disk type	△ As the control valve opening/closing timing and the trap opening/closing timing are not the same, the control accuracy is bad.	× As this is an intermittent discharge method, drain stoppage increases, the equipment efficiency drops. The permissible back pressure is low, and blow-out occurs when the control valve is throttled.	× In many cases, steam leakage occurs at the time of steady operation (little drain generation).	△ The drain discharge capacity is high and the equipment start-up time becomes short, but steam entrainment occurs at the time of start-up, and in many cases, steam leakage occurs at the time of steady operation.	×	△ Permissible back pressure: 30 to 50% (Spouting occurs when the backpressure becomes high.)	• Small size and light weight • Vertical installation is possible.

### (3) スチームトラップの取り付け方法

取付場所としては立ち上がり管の最下部、減圧弁その他自動制御弁の手前及びドレンセパレータ部などがある。

スチーム輸送管におけるスチームの流速は20~30m/sもあるので、コンデンセートが分離しやすいよう取り出し部には配管下部に短管を接続する。

スチーム加熱装置からのコンデンセートが円滑にトラップに自然流下できるようにすること、トラップから出たコンデンセートがスチーム圧で集合場所まで送られることがスチームトラップ取付の原則である。取付の良い例と悪い例を Figure 24 に示す。

### (4) スチームトラップのメンテナンス

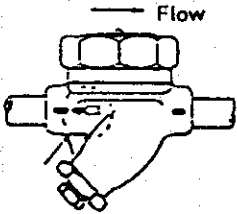
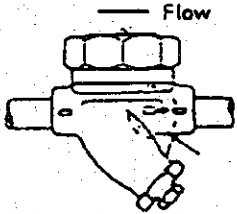
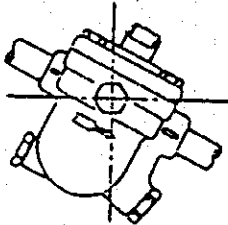
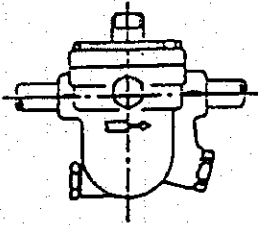
#### A) 点検

スチームトラップは長期間使用していると、内部メカニカル部の弁、弁座等が摩耗して機能が低下し使用に耐えなくなる。また、スチームトラップの寿命は不確定である。

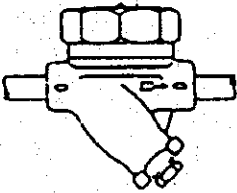
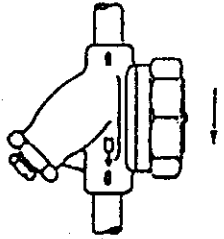
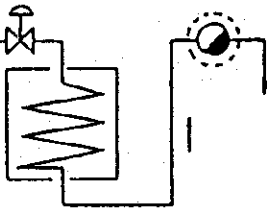
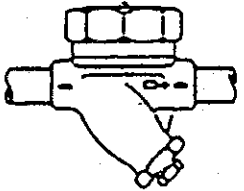
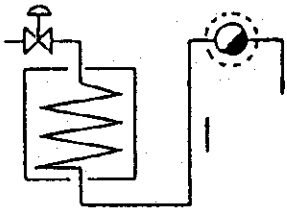
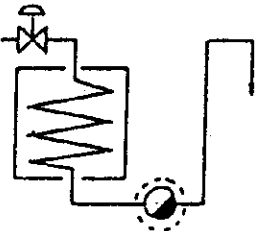
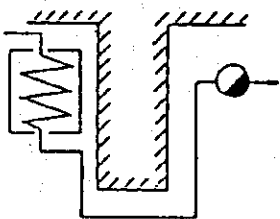
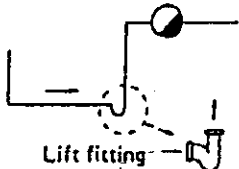
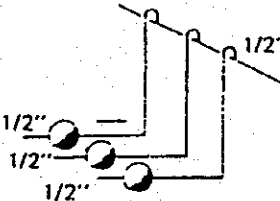
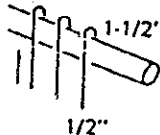
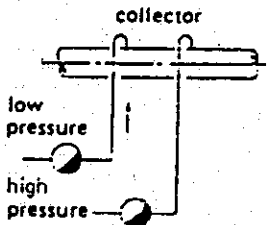
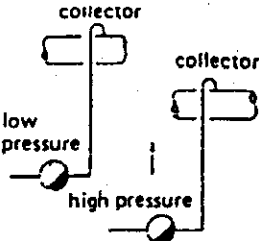
したがって、常に注意して点検を行ない、故障を発見した場合は交換するか修理して良好な状態を保ち、スチーム使用設備の高効率運転を維持しなければならない。

点検には定期点検と日常点検がある。

Figure 24 Good Example and Worse Example of Installation (1/4)

Wrong installation	Description	Correct installation
	Steam trap should be fitted in the direction of flow. All steam traps bear on the body stamp or mark showing flow direction.	
	Free float type steam trap should be fitted horizontally.	

**Figure 24 Good Example and Worse Example of Installation (2/4)**

Wrong installation	Description	Correct installation
	<p>Thermodynamic steam traps have no limitation as to position. It can be fitted vertically.</p>	
	<p>Never use an inlet pipe smaller than trap size. Steam locking and air binding are apt to occur when inlet pipe is too small.</p>	
	<p>Never install steam trap at a higher level than the drainage point. The inlet pipe should be one that allows water to flow into the trap by gravity.</p>	
	<p>If the trap has to be installed at level higher than the draining point, use a lift-fitting.</p>	
	<p>Size of collector must be larger than trap size. The collector should have a sectional area above sum of those for all traps connected to it.</p>	
	<p>Condensate discharged through two traps which operate at different pressures should not be collected to a common collector.</p>	

**Figure 24 Good Example and Worse Example of Installation (3/4)**

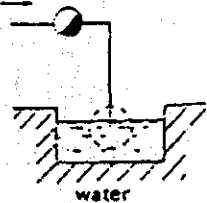
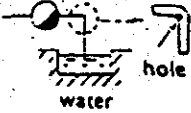
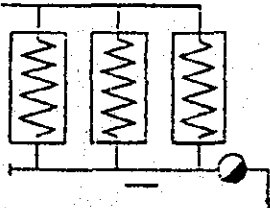
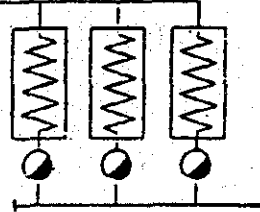
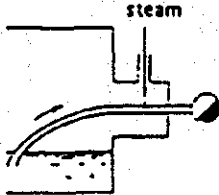
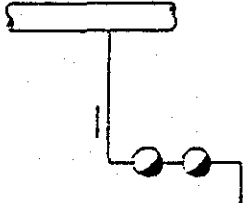
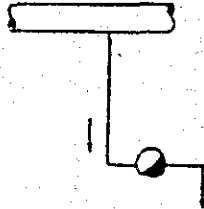
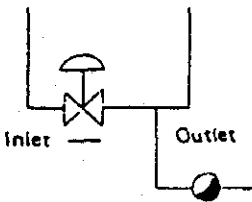
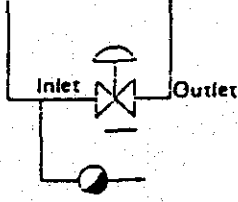
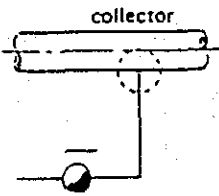
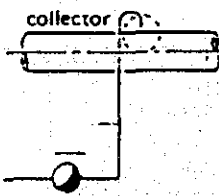
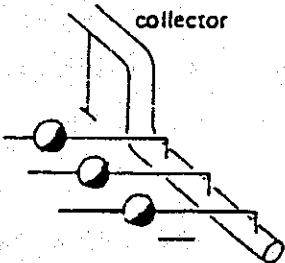
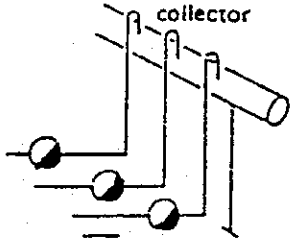
Wrong installation	Description	Correct installation
	<p>Outlet pipe should not be submerged into trenches. Provide small hole to break vacuum.</p>	
	<p>Each steam unit should always have individual steam trap. (Individual trapping) To fit one trap to several steam equipment is a bad practice. (Group trapping)</p>	
	<p>In siphon type cylinder, steam locking is liable to occur.</p>	
	<p>Double trapping is a bad practice. An efficient one trap is enough.</p>	
	<p>Steam trap must be fitted at the inlet side to discharge condensate before the regulating valve.</p>	
	<p>To collect condensate, the trap outlet pipe must not be connected to the bottom of collector.</p>	

Figure 24 Good Example and Worse Example of Installation (4/4)

Wrong installation	Description	Correct installation
	<p>Collector should not have a riser. The head of condensate in the collector exerts on the traps as a back pressure.</p>	

定期点検を実施するに当たっては、

- a. スチームトラップ配置図
- b. スチームトラップ管理台帳
- c. スチームトラップチェックリスト

を整備する必要がある。

日常点検では、定期点検終了時の状態をできるだけ維持し、スチーム原単位が悪化しないように努める。

#### B) 点検の方法

##### a. 視覚による方法

点検しようとするスチームトラップが、その近くで大気に排出される場合や、スチームトラップ出口にサイトグラスが取り付けられている場合には、直接目視で調べる。

##### b. 聴覚による方法

聴診器を用いて作動音を聴取する方法であるが、経験を必要とする。

##### c. 触覚による方法

手袋をつけた手で、スチームトラップの入口管、出口管をつかみ、温度差によって作動を確認する。

##### d. 測定器を用いる方法

作動音を超音波測定器で調べる方法で、経験を必要とせず簡単に点検できる。

## 5. コンデンセート回収

### (1) コンデンセート回収の意義

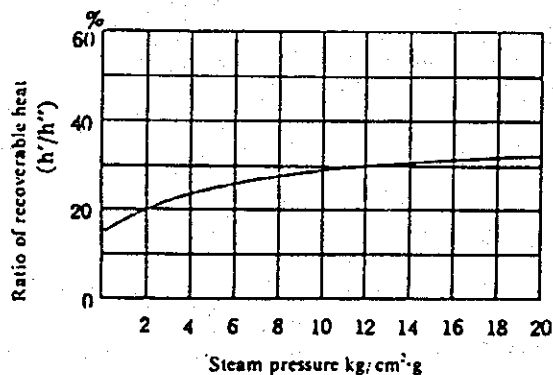
スチーム使用装置で実際に有効利用されているのは、スチームの全熱量のうち潜熱のみであり、スチームの顕熱、すなわち、コンデンセートの熱量はほとんどが棄却されている。このコンデンセートの持つ熱量は、Figure 25 に示すように スチームの全熱量の約 20～30 % にも達する。このコンデンセートの持つ熱量を 100 % 回収し、有効利用することができれば、燃料の使用量を約 10～13 % 節約でき、大きな省エネルギーになる。

### (2) 回収コンデンセートの利用方法

回収コンデンセートの熱量と水をボイラ給水に使用する方法が、最も一般的な利用方法であるが、圧力や量などのコンデンセートの状態、工場スチーム設備の配置等を考慮することが、より効果的なコンデンセート回収を実施するために必要である。

コンデンセートの利用方法を大別すると、次の三方法に分類される。

**Figure 25 Ratio of recoverable heat  
(enthalpy of condensate/enthalpy of saturated steam)**

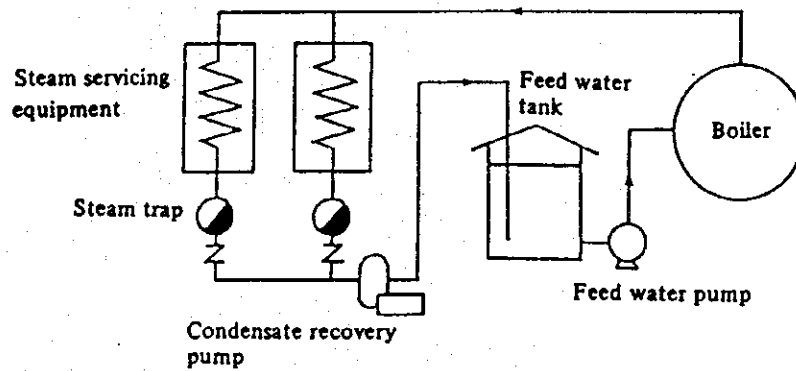


#### A) 直接利用

スチームトラップから排出されたコンデンセートを、コンデンセート回収ポンプによりボイラ、又は給水タンクへ直接回収する (Figure 26 参照)。この場合、高圧のコンデンセートが大気圧に解放されるためフラッシュスチームが発生するので、細かく分散して水に吸収させるようにしないと、そのまま大気に逃げて損失となるので注意を要する。



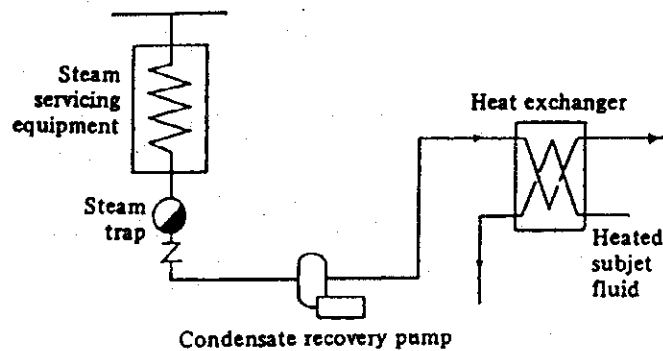
Figure 26 Direct utilization to feed water



B) 間接利用

コンデンセートの汚染の著しい場合は、熱交換器を使用し、他の流体と熱交換し  
 コンデンセートの保有熱のみを回収する (Figure 27 参照)。

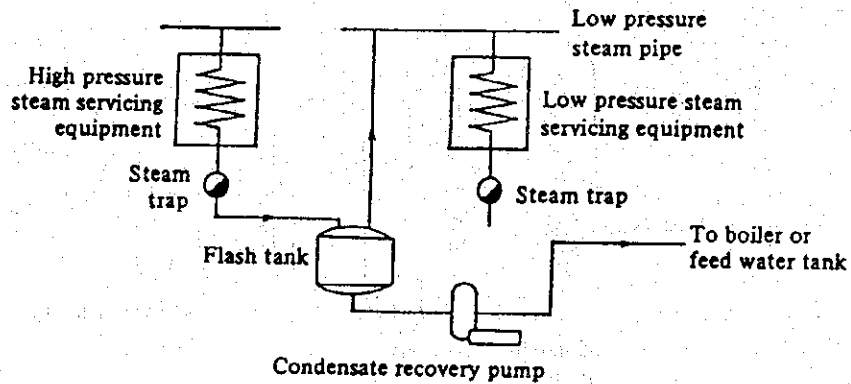
Figure 27 Indirect utilization through heat exchanger



C) フラッシュスチームの利用

コンデンセートの圧力が高い場合は、フラッシュタンクに回収し、コンデンセー  
 トの一部を低圧蒸気として利用するのが効果的である (Figure 28 参照)。

Figure 28 Flash steam utilization



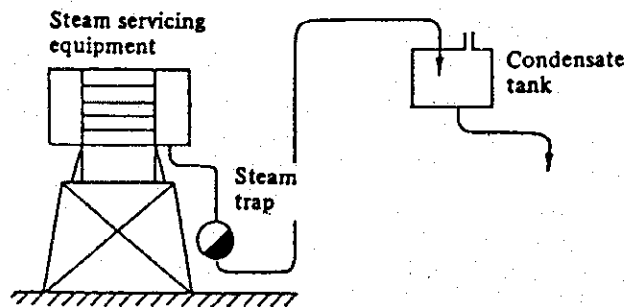
(3) コンデンセート回収方法

コンデンセートを発生源から再利用先まで回収する方法には、コンデンセートの圧力や回収距離などにより、次の三つの方法があり、それぞれ特徴を持っている。

A) スチームトラップのみによる方法

スチームトラップに作用するスチーム圧力で、コンデンセートをフラッシュタンクやコンデンセートタンクへ回収する方法で、コンデンセートの発生場所と使用場所が比較的近い場合に適用される (Figure 29 参照)。

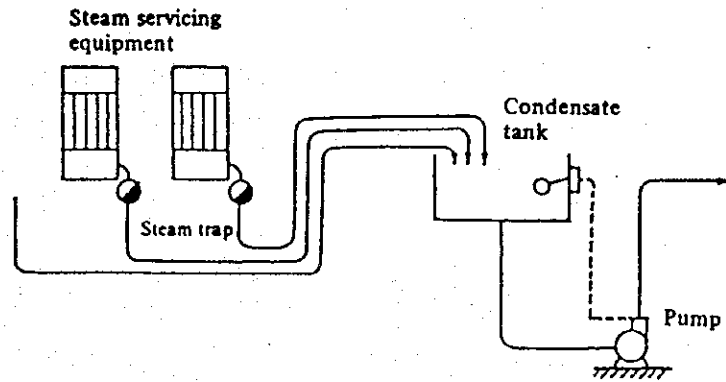
Figure 29 Recovery by steam trap only



B) 渦巻ポンプによる方法

スチームトラップから排出されたコンデンセートをいったんコンデンセートタンクに集め、渦巻ポンプで更に圧送する方法で、スチームトラップが広範囲に散在する場合に適用される。すなわち、地域別、工程別など各ブロックに分け、それぞれコンデンセートタンクを設置し、中央のタンクへポンプで圧送回収する方法である (Figure 30 参照)。

Figure 30 Recovery by centrifugal pump

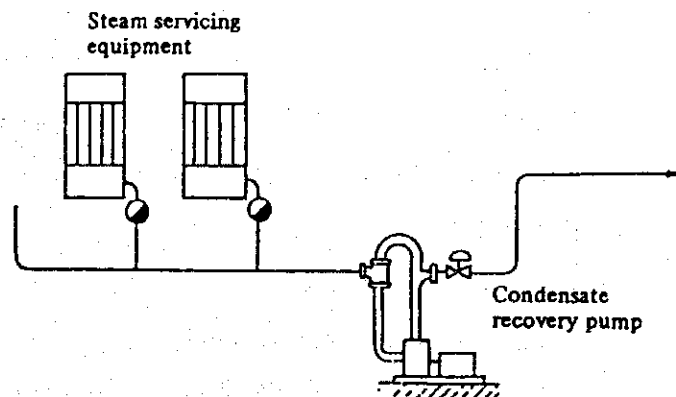


この場合、スチームトラップの背圧制限のほか、ポンプへの押し込み水頭の確保、コンデンセートタンクのレベル制御、ポンプ容量について注意が必要である。特にタンク内温度が80℃以上のときは、ポンプのキャビテーション防止のため4～5 mの押し込み水頭を必要とする。

C) コンデンセート回収ポンプによる方法

最近では、渦巻ポンプの欠点をカバーしたエジェクターとポンプを組み合わせたコンデンセート回収ポンプが使用されている。このポンプは吸い込み側が加圧状態で運転されるので、キャビテーションを起こさず、1 m程度の押し込み水頭があれば十分である。コンデンセート回収ラインを密閉系としたクローズド方式の場合、温度が180℃位のコンデンセートでも圧送可能で、省エネルギー効果は非常に大きい (Figure 31 参照)。

Figure 31 Recovery by condensate recovery pump



この方法には、メカニカルスチームトラップの採用が必要である。

#### (4) コンデンセート回収に際しての留意事項

##### A) スチームトラップの背圧制限

スチームトラップに背圧が作用し、しかも変動する条件下ではメカニカルトラップで故障の少ないものを選定する。回収配管の背圧は使用スチーム最低圧力の40～45%以下とする。

##### B) コンデンセートの水処理

回収したコンデンセートは清浄な蒸留水と考えがちであるが、実際には種々の微量成分が溶解している。従って回収したコンデンセートがそのままボイラ給水として使用可能か否か、そのまま使用不可能の場合、どのような水処理をすればよいか、また汚染度が大きい場合に熱のみ回収するか等、十分調査検討が必要である。

##### ・コンデンセートのpH維持

一般にコンデンセートのpHは炭酸ガスの溶解によって低下する傾向があり、その結果、コンデンセート中の全鉄濃度を高める。コンデンセート回収時には、溶存酸素、pHを調整するための薬注を行う必要がある。

##### C) コンデンセート回収管の適正化

スチーム圧力の異なる配管系統がある場合は、圧力系統別にコンデンセート回収管を設置しなければならない。

また、フラッシュスチームを伴う場合は2相流になるので、最大15m/s以内の流速になるよう管径を設定し、過大圧損、ウォーターハンマを防止する必要がある。

回収配管の管径は次式で求めることができる。

$$d^2 = \frac{3.53 \times W \times ve}{V}$$

ここで d : 配管内径 cm  
W : コンデンセート量 kg/h  
V : 管内流速 m/s  
オープン回収 10～15/s, クローズ回収 5～10m/s

ve : 等価比容積

$$ve = v' (1 - f) + v'' f$$

v' : 回収管内圧力における飽和水の比容積 m<sup>3</sup>/kg

v'' : 回収管内圧力における飽和スチームの比容積 m<sup>3</sup>/kg

f : 再蒸発率

$$f = \frac{h_1 - h_2}{r}$$

$h_1$  : トラップ入口側のコンデンセートエンタルピ kcal/kg

$h_2$  : 回収管内圧力におけるコンデンセートエンタルピ kcal/kg

r : 回収管内圧力における蒸発潜熱 kcal/kg

回収管が長いと圧力損失が大きくなるので、特に自圧回収を行なう場合は圧力損失も加味して回収管内圧力を決めなければならない。

(管経算出計算例)

$$W = 300 \text{ kg/h}$$

$$V = 10 \text{ m/s}$$

$$h_1 = 160.2/\text{kg} \text{ (6 bar)}$$

$$h_2 = 111.1 \text{ kcal/kg (1.5 bar)}$$

$$r = 531.8/\text{kg} \text{ (1.5 bar)}$$

$$v' = 0.00105 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v'' = 1.159 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$f = \frac{160.2 - 111.1}{531.8} = 0.091$$

$$v_e = 0.00105 \times (1 - 0.091) + (1.159 \times 0.091) = 0.1065 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$d = (3.53 \times 300 \times 0.1065 / 10)^{1/2} = 3.4 \text{ cm}$$

したがって1寸管を採用する。

#### D) 保温

回収配管は保温する。また、水で濡れにくい場所に配管する。

#### E) フラッシュ損失の防止

コンデンセートが大気圧に減圧される時に発生するフラッシュスチームが、放散しないようにする。回収タンクの液中に導く場合、回収タンク内が90℃以上にならないように冷却したり、水を補給する。

また、タンク内が80℃以上になると振動と音が発生するので、小穴を多く設けてコンデンセートを広く分散させるようにする。

コンデンセートを減圧せず、直接ボイラに回収する方法はこの損失の防止に最も有効である。

F) サイトグラスの設置

回収配管にはサイトグラスを設けて、トラップのスチーム洩れを監視する。

G) トータルシステムとしての設計

コンデンセート回収システムは、ボイラからスチーム使用装置を経て、再びボイラに戻すまでの一連のクローズドシステムであり、各装置毎に考えることなく、全体的な設計を行うことが、特に必要である。

(5) フラッシュスチームの利用

(2) C) で、高圧のコンデンセートをフラッシュタンクへ回収し、コンデンセートの一部を低圧スチームとして利用する方法を述べたが、実施に当っては種々の問題があり、経済効果を十分検討する必要がある。

a. スチームトラップからのコンデンセート排出量が極めて少ないときには、フラッシュスチームも少量であり、ほとんど利用価値が無い。工場内には少量のコンデンセートを排出するスチームトラップは多数あるから、これらを集計すると、かなりの量になる。しかし、この場合、少量のコンデンセートをできるだけ少ない経費で集める方法を考える必要がある。

Table 5 Flash Steam Generating Rate (wt.%)

Pressure in high pressure side (bar(G))	Low pressure side (bar(G))															
	0	0.3	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
1	3.7	2.5	1.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	6.2	5.0	4.2	2.6	1.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	8.1	6.9	6.1	4.5	3.2	2.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	9.7	8.5	7.7	6.1	4.8	3.6	1.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	11.0	9.8	9.1	7.5	6.2	5.0	3.1	1.4	—	—	—	—	—	—	—	—
6	12.2	11.0	10.3	8.7	7.4	6.2	4.3	3.0	1.3	—	—	—	—	—	—	—
8	14.2	13.1	12.3	10.8	9.5	8.3	6.4	4.8	3.4	2.2	—	—	—	—	—	—
10	15.9	14.8	14.2	12.5	11.2	10.1	8.2	6.6	5.3	4.0	1.9	—	—	—	—	—
12	17.4	16.3	15.5	14.0	12.7	11.6	9.8	8.2	6.9	5.7	3.5	1.7	—	—	—	—
14	18.7	17.6	16.9	15.4	14.1	13.0	11.2	9.6	8.3	7.1	5.0	3.2	1.5	—	—	—
16	19.0	18.8	18.1	16.6	15.3	14.3	12.4	10.9	9.6	8.4	6.3	4.5	2.9	1.4	—	—
18	21.0	19.9	19.2	17.7	16.5	15.4	13.6	12.1	10.8	9.6	7.5	5.7	4.1	2.7	1.3	—
20	22.0	20.9	20.2	18.8	17.5	16.5	14.7	13.2	11.9	10.7	8.7	6.9	5.3	3.8	2.5	1.2

b. コンデンセート発生場所とフラッシュスチームの使用場所との距離は、短いことが望ましい。フラッシュスチームは圧力が低いため、配管の圧損を最小にする必要があり、距離が長いと配管径が大きくなり、配管経費が割高となってメリットが相殺され易い。この場合は、フラッシュスチームの利用を断念しなければならない。

Figure 32 にフラッシュスチームの使用例を示す。8 kg/cm<sup>2</sup>Gのスチームを使用して、そのフラッシュスチームを前1段に使用した例である。

8 kg/cm<sup>2</sup>Gのスチームを2,500 kg/h使用としたとき、内圧0.5 kg/cm<sup>2</sup>Gのフラッシュタンクにコンデンセートを放出することにより、Table 5 よりフラッシュスチーム量は12.3% (重量) 発生するので、307.5 kg/hのスチームが得られることになる。

フラッシュタンクは、コンデンセートからフラッシュスチームを回収するための圧力容器である。この大きさはフラッシュスチーム発生量 [m<sup>3</sup>/s] に基づいて決められる。フラッシュ蒸気がタンク内で上昇するとき、内部流速を適正に設計しないとフラッシュスチームがコンデンセートを巻き込む可能性があり、スチームの上昇速度を1~2 m/sになるようタンクの内径を決める。しかし、運転条件の変動により大きな水滴を持ち出す恐れがあり、スチーム出口管にセパレーターを取り付けるのがよい。

Figure 33 にフラッシュタンクの内径を決定するためのチャートを示す。

Figure 32 Example of flash steam use in air heater

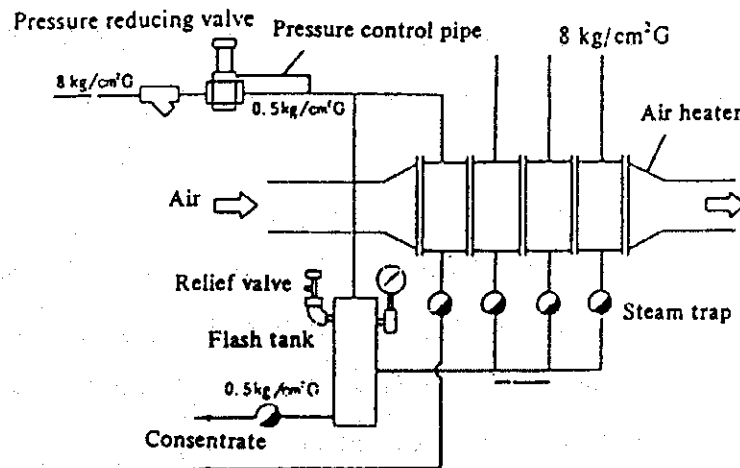


Figure 33 Chart of flash tank diameter

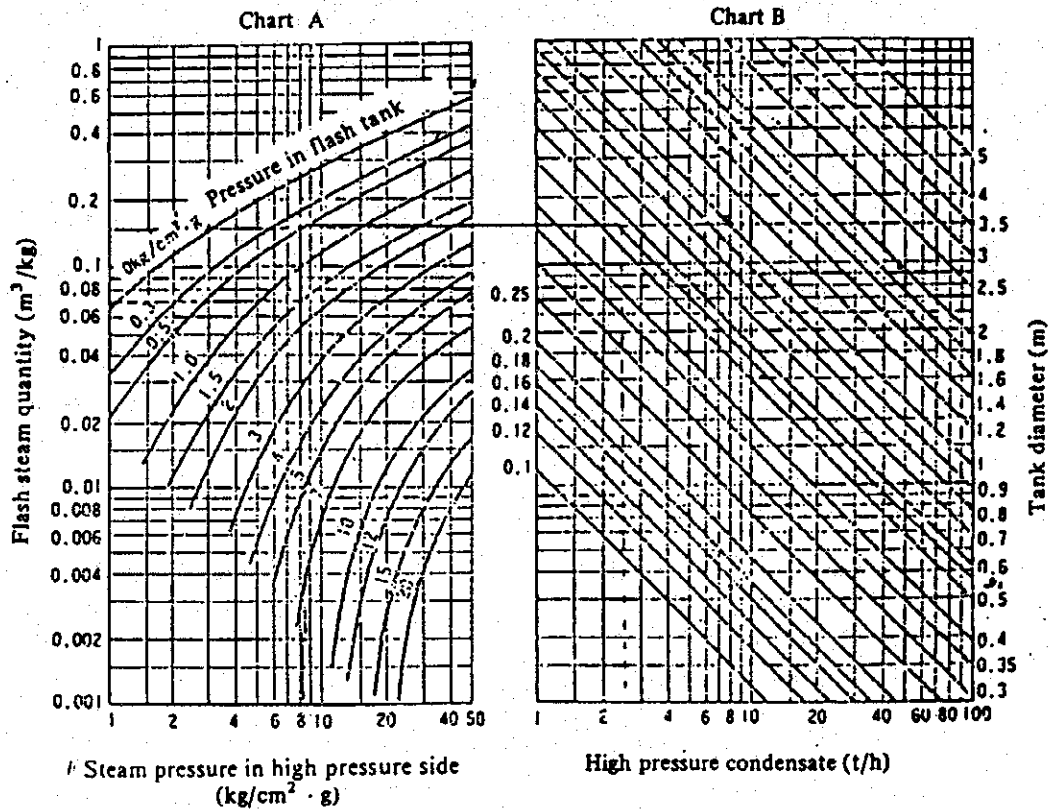


Figure 32 に示した使用例で、タンクの内径を求めてみる。

高圧側の蒸気圧力  $8 \text{ kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{g}$  とフラッシュタンク内圧力  $0.5 \text{ kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{g}$  の交点をチャート A から求め、水平にチャート B に移行し、高圧コンデンセート量  $2.5 \text{ t}/\text{h}$  との交点を求めると、タンクの直径は  $0.55 \text{ m}$  と得られる。また、内容積が  $40 \text{ l}$  以上の場合は、供給コンデンセート量とフラッシュスチーム需要量の変動のため、タンク内の圧力が過大とならないよう安全弁を設けなければならない。

#### (6) サーマコンプレッサの利用

サーモコンプレッサの構造は、Figure 34 に示すようにボディ、スチームノズル及びディフューザの三つの基本部分からなる。スチームノズルを通して駆動スチームを膨張させると、極めて低い静圧を持つ超音速噴流を生ずる。これをディフューザで減速すると圧力が回復する。すなわち、低圧のスチームをベンチュリ咽喉部に吸引すると、これを高圧スチームにする能力を持っている。

Figure 35 に化学工場での使用例を示す。ストリップングタワーの塔底液をフラッシュタンクへ導入し、発生する低圧フラッシュスチームをサーモコンプレッサで適正圧力に昇圧させて使用することで、生スチームの削減を図っている。



Figure 34 Thermocompressor

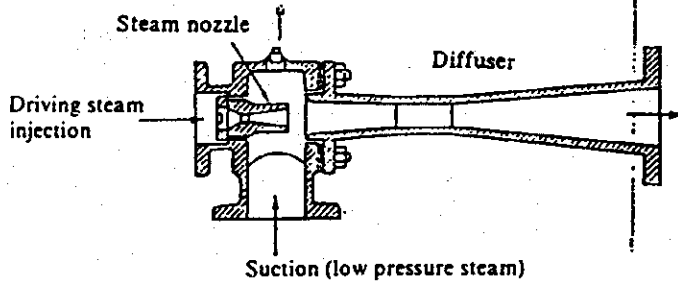
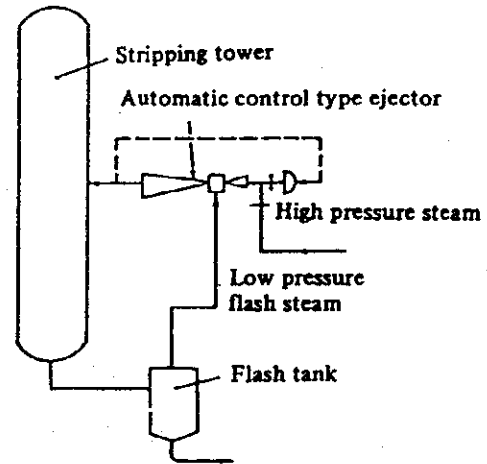


Figure 35 Example of thermocompressor use for stripping tower



## 6. スチームの直接加熱利用

スチームの直接加熱利用の方法は、次の二つの方法がある。

- (1) 密閉容器内で品物を直接加熱する。
- (2) 液体に直接スチームを吹き込んで加熱する。

この蒸気加熱方法は、設備の構造が簡単で安価であること、作業が迅速で正確に一定の温度が得られるなどの利点がある。

### (1) 密閉容器内での直接加熱方法

オートクレーブ、蒸し器等のスチーム直接加熱器は気密扉を持った容器からなり、一定量の品物をバッチで処理するプロセスがほとんどである。

スチームの直接加熱の場合は、スチーム圧力を調整することにより正確に一定の温度が得られる。従って、ある温度以上では製品の品質を悪化させる場合の加熱、極めて小さい温度範囲が要求されるプロセスなどに適した方法である。

しかし、スチーム圧力によって温度が定まるのは、スチームが空気を含まない場合のみである。空気を含む場合は、その混合物のスチーム分圧に対する飽和温度となり、スチームのみの時の飽和温度よりも低くなる。従って始動時に十分な空気排除が必要である。参考として、空気混合比とスチーム温度の関係を Table 6 に示す。

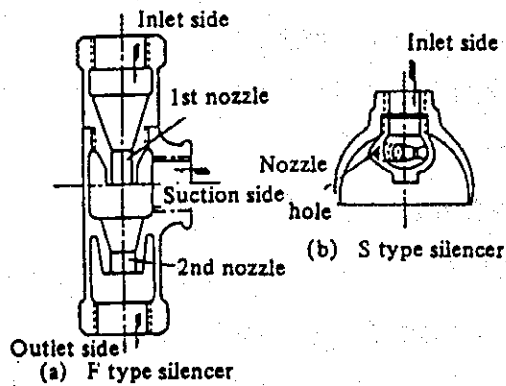
**Table 6 Relation between the Air Mixing Ratio and Steam Temperature**

Air mixing ratio %	Steam Pressure bar			
	2	3	5	9
0	119.6	132.9	151.1	174.5
10	116.3	129.3	147.2	169.6
20	112.7	125.5	142.9	165.3
40	104.3	116.3	132.9	154.0

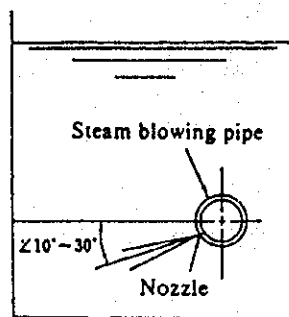
(2) スチーム直接吹き込み加熱方法

製造プロセスで、温水を必要とする場合、原材料溶液を加熱する場合、直接スチームを吹き込む操作がよく行われる。このスチーム吹き込み方法にはいろいろあるが、スチーム配管の先端にサイレンサを取り付ける方法、小さい穴を多数あけたスチーム噴射管を使う方法が一般的である (Figure 36, Figure 37 参照)。

**Figure 36 Silencer**



**Figure 37 Steam blowing angle from nozzle**



いずれの方法も効率よくスチームを液中で凝縮させ、未凝縮のまま大気へ漏れることが無いようにすることが重要で、細かい配慮が必要となる。

- a. 液体中に噴射するスチーム泡の速度を小さくする。
- b. スチーム泡の凝縮にできるだけ長い時間を与える。このためには適当な水深と位置を選び、噴射ノズルを水平に対し $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ の角度に下向きに設置する（Figure 10.37 参照）。
- c. 噴射ノズルにおける水頭圧力を大きくとる。
- d. スチーム泡と液体の熱交換は接触する表面で行われるので、スチーム泡の表面積を大きくするため小さい気泡を多く作るよう噴射ノズルの大きさを決める。
- e. スチームの噴射圧を低くする。圧力を小さくすれば、スチーム泡も小さくなり有利である。また、スチーム吹き込み配管は常に溶液槽内に挿入されているため、スチームの供給が停止した場合、管内が真空状態になり、溶液が逆流現象を起こすので、その防止対策が必要である。装置的には、Figure 38 に示すように極めて低い圧力で作動する逆止弁を取り付ける。スチーム側が真空状態になると大気圧の差で弁が開放され、真空状態が破壊されて溶液の逆流が防止できる。

Figure 38 Steam direct blowin heater

