

2. 蒸気の利用

2.1 蒸気の利用

蒸気が工場・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。この蒸気を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。

蒸気の一般的な特性を列挙すると、次のとおりである。

- (1) 飽和蒸気は、その圧力と温度とが常に一定の関係にあり、蒸気圧力を一定に保つことにより、温度を一定に設定できる（Fig III-7-34 参照）。
- (2) 蒸気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。

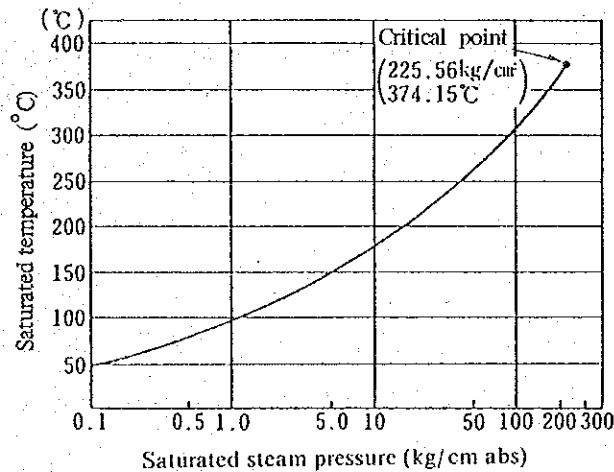


Fig. III-7-34

Relation between the saturated steam pressure and the saturated temperature

- (3) 蒸気の蒸発潜熱は低圧蒸気になればなるほど大きく、圧力の上昇に伴い減少する（Fig III-7-35 参照）。
- (4) 蒸気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) 蒸気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。

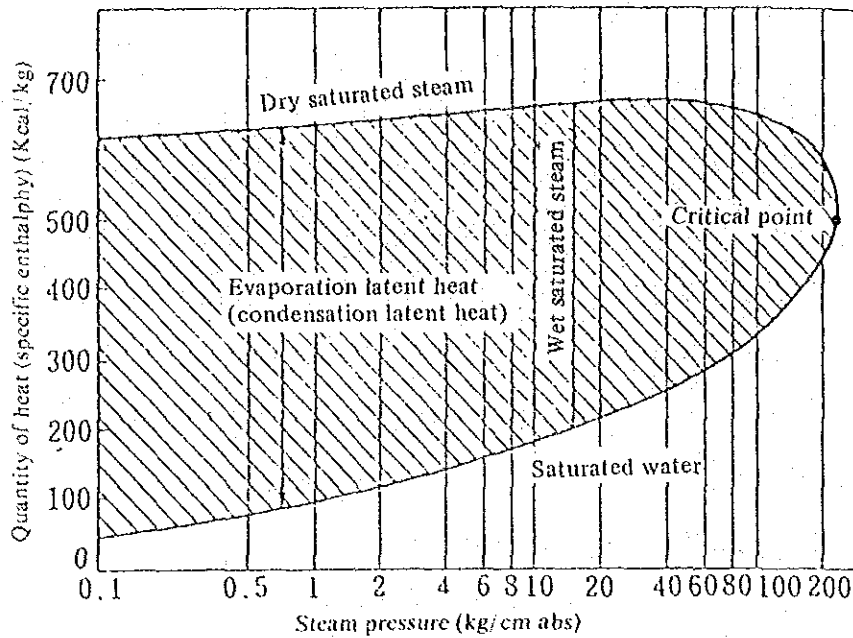


Fig. III-7-35 Relation between the saturated steam pressure and the quantity of heat.

2.2 蒸気設定圧力の適正化

(1) ボイラ蒸気圧力の適正化

蒸気を間接加熱用として使用する場合、蒸気の特徴で述べたとおり、蒸気圧力の低いほど蒸気が凝縮するとき放出する熱量（凝縮潜熱）が大きいため燃料の節約となる。従って、加熱熱源として必要な温度に相当する圧力まで、ボイラの設定圧力を下げることが必要である。

しかし、既設ボイラの蒸気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、蒸気配管の圧力損失、蒸気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。

ボイラ蒸気圧力の見直しにより、どの位の燃料が節約できるか1例を示すと、Table III-7-18 のようになる。

Table III-7-18

Steam pressure (kg/cm ² G)	Saturation temperature (°C)	Specific enthalpy of steam (kcal/kg)	Condensation latent heat (kcal/kg)
7	169.6	660.8	489.5
5	158.1	657.9	498.6

蒸気圧力を 7 kg/cm²G から 5 kg/cm²G まで下げることができたとすると、Table III-7-18 から凝縮潜熱が約 9 kcal/kg 上昇する。いま、月平均の蒸気使用量を 5,400 t とすると、蒸気圧力を下げることにより蒸気使用量は、

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

となる。燃料の発熱量を 10,000 kcal/kg、給水温度を 20 °C、ボイラ効果を 85 % とすると、蒸気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、蒸気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) 蒸気の減圧効果

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

減圧弁による蒸気の減圧は、絞り断熱膨張の一種であるから、絞りによって蒸気のエンタルピーの変化はない。従って、高圧蒸気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、結果的に蒸気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一例を示すと次のようになる。

蒸気圧力 9 kg/cm²G、乾き度 0.95 の蒸気を 2 kg/cm²G に減圧すると、減圧前の飽和蒸気の潜熱量は、

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

であり、湿り蒸気のエンタルピーは、

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

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 $(47.84 / 457.57) \times 100 = 10.5\%$ 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。

2.3 蒸気輸送

ボイラから消費設備までの蒸気配管は、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

消費設備での蒸気使用条件に関し、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 Fig III-7-36 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。

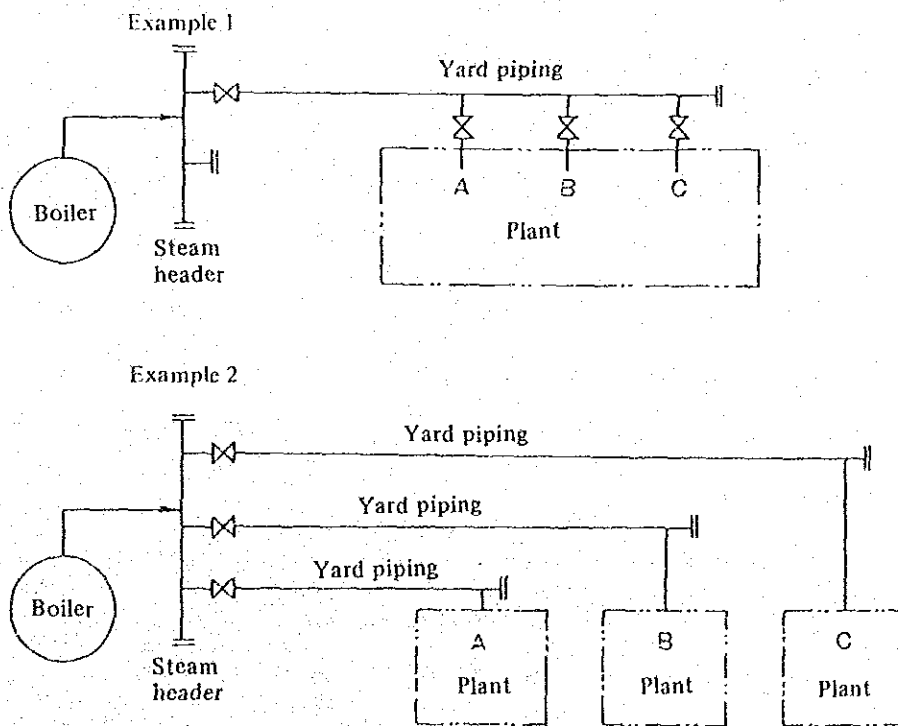


Fig. III-7-36 Yard piping system diagram

ヤード配管からプラント内に配管を取り出す場合は、Fig III-7-37 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蒸気ロスを防ぐ。圧力計、流量計は管理上必須のものであり、必ず設置する。またヘッダの端末は、将来のことを考え、盲フランジにすることも一つの方法である。

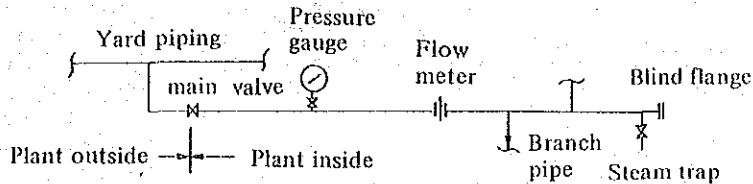


Fig. III-7-37 Plant battery limit schematic flow diagram

(2) 蒸気配管の保温

蒸気輸送において、管からの熱放散により一部の蒸気が蒸気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、蒸気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

蒸気配管に用いられる保温材は、多くは無機質である。Table III-7-19 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 III-7-19 Heat insulator type and its feature

Heat insulator	Raw material and manufacturing process	Product	Property	Safety service temp.
Asbestos insulator	<ul style="list-style-type: none"> Fiber shape formation of serpentine or amphibole by subterranean heat and underground water. Chrysotile asbestos of serpentine is a thin white silklike and toughness fiber and is a good quality. Amocite asbestos (brownish color) of amophibole is a longer, thick and brittle fiber and is unsuitable to yarn and fabric. There is blue asbestos in the same series. 	<ul style="list-style-type: none"> Long fiber is suitable to asbestos yarn and seat packing. Short fiber is for asbestos paper, asbestos plate and slate. Asbestos insulation plate Asbestos insulation cylinder Asbestos insulation yarn Asbestos mat Plate and cylinder are molded by an inorganic adhesive. 	Density: 0.23g/cm ³ or less Thermal conductivity: 0.048~0.065 Kcal/m.h. ^{°C}	350~550 °C
Diatom earth insulator	<ul style="list-style-type: none"> Aqueous rock formed by a heap of diatom remains. Recently not much use due to the development of an excellent insulator. Diatom earth powder + reinforced binder (amocite asbestos fiber 3~5%) 	<ul style="list-style-type: none"> Water kneading insulator. Give a tackiness by addition of water in 160 to 200%. Coat it on reinforcement of a wire net. Slow drying. 	Density (after drying): 0.45 to 0.55 g/cm ³ Thermal conductivity (70°C): 0.08 to 0.09 Kcal/m.h. ^{°C}	Asbestos fiber: 500 °C or less Reinforcement of fibers for plastering: 250°C or less
Rock wool insulator	<ul style="list-style-type: none"> Andesite, basalt, igneous rock, serpentinite, peridotite, chrolite-schist, slag of nikkel ore and manganese ore and limestone Compound the above materials in a proper ratio, melt in a temperature of 1,500~1,600°C and form it to a thin fiber shape by blowing of compressed air/steam. SiO₂: 40~50%, Al₂O₃: 10~20%, CaO: 20~30% MgO: 3~7% Fe₂O₃: 2~5% 	<ul style="list-style-type: none"> Attacked by weak acid but not weathered. Various shape products such as plate, cylinder, band and bracket. Blacket is formed by set metal on both sides of the stratified rock wool and sew up with a wire. Good acoustic absorption effect. 	Density: 0.10~0.38 g/cm ³ Thermal conductivity (70°C): 0.039~0.048 Kcal/m.h. ^{°C}	Less 400~600°C
Glass wool insulator	<ul style="list-style-type: none"> Manufactured by the similar manner to the rock wool. 	<ul style="list-style-type: none"> Plate, cylinder, bracket and band 	Density: 0.008~0.096 g/cm ³ Thermal conductivity (70°C): <0.042 Kcal/m.h. ^{°C}	Less 300~350°C
Calcium silicate insulator	<ul style="list-style-type: none"> Add asbestos fiber into silicate power (mainly diatom earth) and slaked lime to reinforce, allow it to swell enough and mold in a metal mould to allow produce calcium silicate by steaming. 	<ul style="list-style-type: none"> Put on the market for a high temperature from 1952 and standardized in JIS in 1955. Low price, good workability and durability. Typical insulator used not only piping but a general machine. 	Density: 1st class; less 0.22 g/cm ³ 2nd class; less 0.35 g/cm ³ Thermal conductivity (70°C): 1st class; <0.058 Kcal/m.h. ^{°C} 2nd class; <0.053 Kcal/m.h. ^{°C}	Ca. 650°C
Perlite insulator	<ul style="list-style-type: none"> Calcinate ignition rock such as pearlite or obsidian at 800~1,200°C in kiln. White or gray white color fine particle and verly light particle having fine bubble. Not change in quality and not fade the color. Not absorb moisture in atmosphere. 	<ul style="list-style-type: none"> Less 1 mm for moulding insulator Blend asbestos fiber and inorganic adhesive, mold by press and dry. Classified to 1st class and 2nd class. One of many excellent insulators. 	Density: 1st class; less 0.2 g/cm ³ 2nd class; less 0.3 g/cm ³ Thermal conductivity: 1st class; <0.053 Kcal/m.h. ^{°C} 2nd class; <0.065 Kcal/m.h. ^{°C}	Ca. 650°C
Basic magnesium carbonate insulator (magnesium carbonate insulator)	<ul style="list-style-type: none"> The conventional basic magnesium carbonate insulator has been compounded with basic magnesium carbonate of 85% and asbestos of 15%. The thermal conductivity is influenced by this ratio. The present insulator is blended with asbestos of 8% or more. 	<ul style="list-style-type: none"> Classified to magnesium carbonate water kneading insulator, plate and cylinder. Convert to magnesium oxide by heating in a temperature of 300°C or more and shrink extremely. Almost same properties as it of calcium silicate except for heat resistance. As present not used too much. 		Less 250°C

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

B) 保温施工

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

a. 施工方法

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

配管の熱膨張と保温材の収縮のため、保温筒間に隙間を生ずるので、2層以上の場合（所定の厚さが75 mm以上の場合は、なるべく2層に分けて施工する）は、各層の縦横の継目は同一箇所にならないように、ずらして取り付けるか、又は継目に石綿繊維を圧縮して詰め込む（Fig III-7-38）。

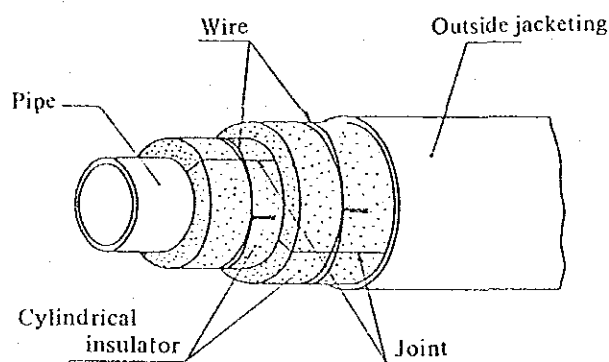


Fig. III-7-38 Case of cylindrical insulator

- 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。Fig III-7-39 にバルブの保温、Fig III-7-40 にフランジ部の保温、Fig III-7-41 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

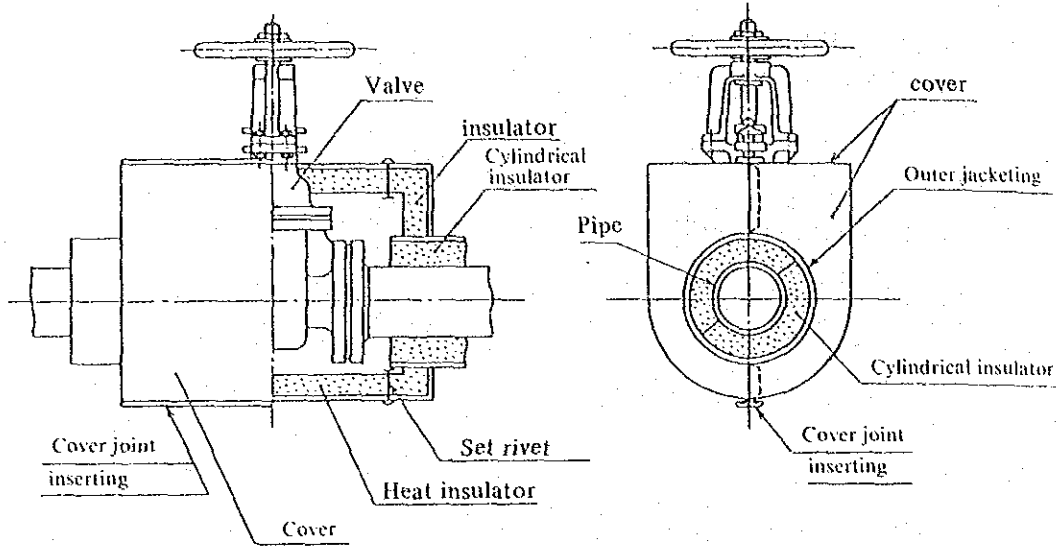


Fig. III-7-39 Insulation work of valve

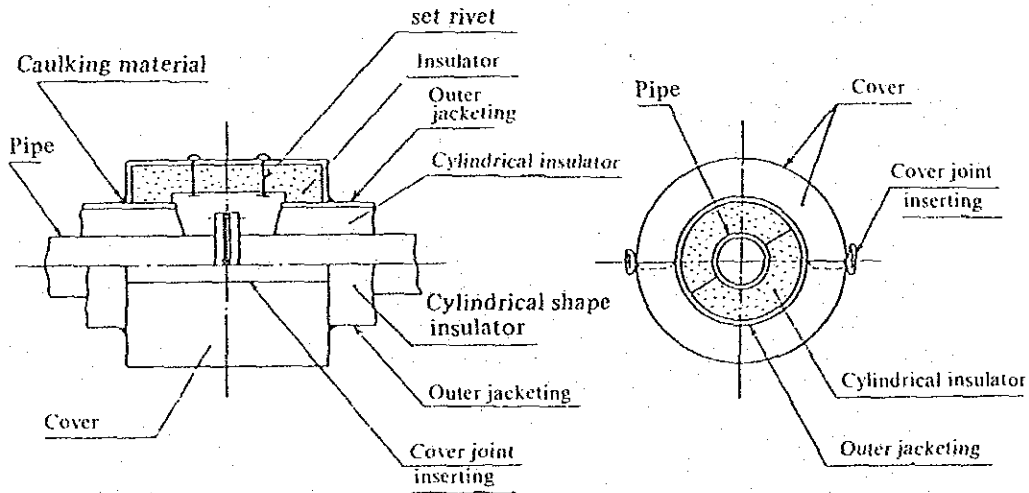


Fig. III-7-40 Insulation work of flange

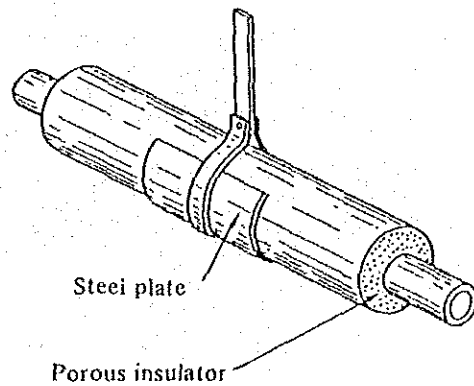


Fig. III-7-41 Installation work of hanger

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 $0.5 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ 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 蒸気や煙が出てたり、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. 保温された管からの熱放散

Fig III-7-42 に示すような保温された管の熱移動を Table III-7-20 に示した。

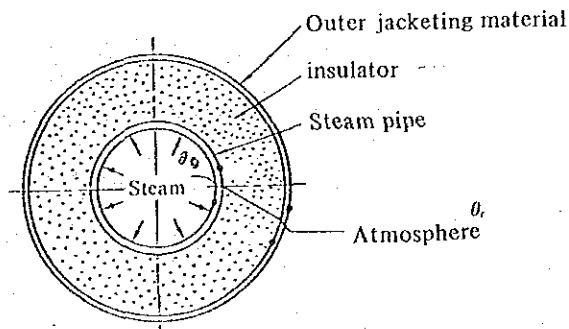


Fig. III-7-42 Insulated pipe

Table III-7-20 Heat transfer from steam in tube

NO.	Place	Heat transfer way
1	From steam to steam tube	A part of steam heat transfers to steam tube by convection.
2	In steam tube	Transfer from tube inside to tube outside by thermal conduction.
3	From steam tube to insulator	The heat reached to the outside surface of steam tube transfers immediately to the inside surface of insulator because of absence of fluid (water or air etc.).
4	In insulator	Transfer from the inside surface of insulator to the outside by thermal conduction. The transferred heat is influenced substantially by the property and thickness of insulator.
5	From insulator to outerjacketing	Heat reached to the outside surface of insulator transfers immediately to the inside surface of outerjacket.
6	In outerjacket	Transfer the heat from the inside surface of outerjacket to the outside surface through thermal conduction.
7	From outerjacket to atmosphere	Transfer the heat by convection and radiation (convective heat transfer through updraft or wind and radiant heat transfer to wall or object around the steam tube)

これらの熱移動による熱量は、次式で表わされる。

$$Q = \frac{1}{R} (\theta_o - \theta_r)$$

$$R = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{2}{d_1 \alpha} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_1}{d_o} \right)$$

ここに、R : 熱抵抗 (mh^{°C}/kcal)

θ_o, θ_r : 蒸気温度, 外気温度 (°C)

d_o, d_1 : 保温材内径 (蒸気管外径), 保温材外径 (m)

α : 表面の熱伝達率 (kcal/m²h^{°C})

λ : 保温材の熱伝導率 (kcal/mh^{°C})

Q : 放散熱量 (kcal/mh)

d. 保温材の経済的厚さ

保温は省エネルギーの第1歩であるが、保温によって回収されるエネルギーの利得と保温に費すコストとの兼ね合いから、経済性の最適化の判断が必要である。

保温材の経済的厚さは、保温材表面からの放散熱量による年間損失(A)と、保温施工の年平均コスト(B)との和(C)が、最小となるような厚さを求めることで得られる。この関係を Fig III-7-43 に示す。

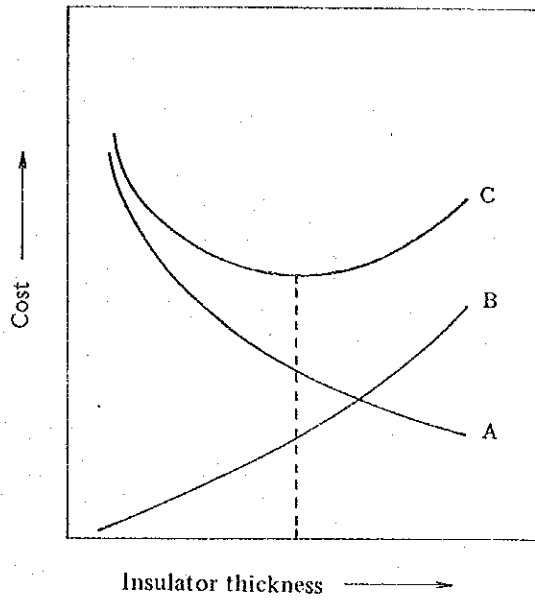


Fig. III-7-43
Relation between the insulation thickness and the cost

保温材の経済的厚さの計算式を示すと、次のとおりである。

$$\frac{d_1}{2} \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{\lambda}{\alpha} = 10^{-3} \sqrt{\frac{b \cdot h \cdot \lambda (\theta_0 - \theta_r)}{a N}}$$

ここに、

$$N = \frac{n(1+n)^m}{(1+n)^{m-1}}$$

ここに、 d_1 : 保温材の外径 (m)

d_0 : 保温材の内径 (m)

λ : 保温材の熱伝導率 (kcal/mh $^{\circ}$ C)

α : 表面の熱伝達率 (kcal/m 2 h $^{\circ}$ C)

b : 熱量価格 (円/1,000kcal)

a : 保温材施工価格 (1,000円/m 3)

h : 年間使用時間 (h)

θ_0 : 内部温度 ($^{\circ}$ C)

θ_r : 室内温度 ($^{\circ}$ C)

n : 年 利 率

m : 使用年数 (年)

\ln : 自然対数

e. 蒸気配管の保温の厚さと放熱損失及び保温効率

裸配管の放熱熱量に対して、保温施工後の放熱熱量の保温効率を Fig III-7-44 ~ Fig III-7-49 に示す。

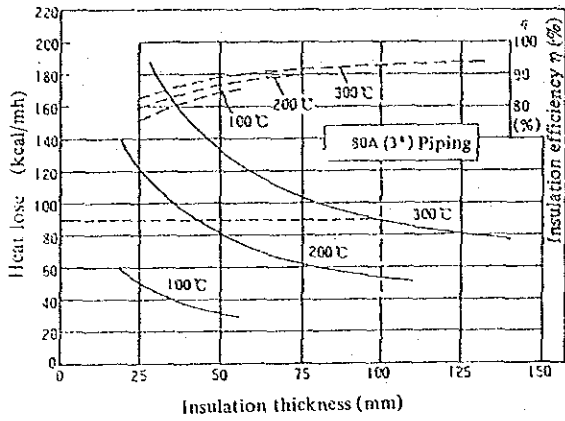


Fig. III-7-44 80A (3B) Piping

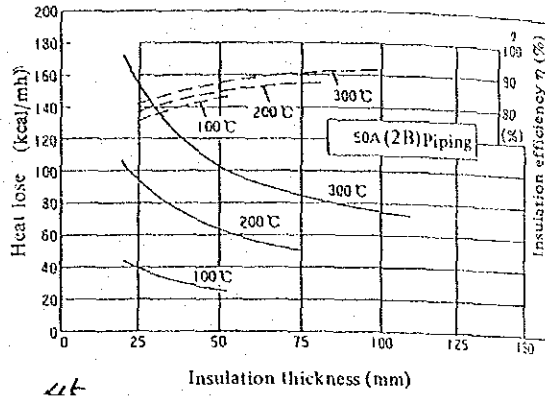


Fig. III-7-45 50A (2B) Piping

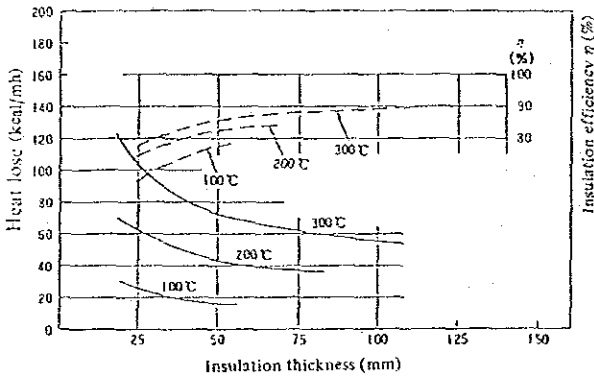


Fig. III-7-46 25A (1B) Piping

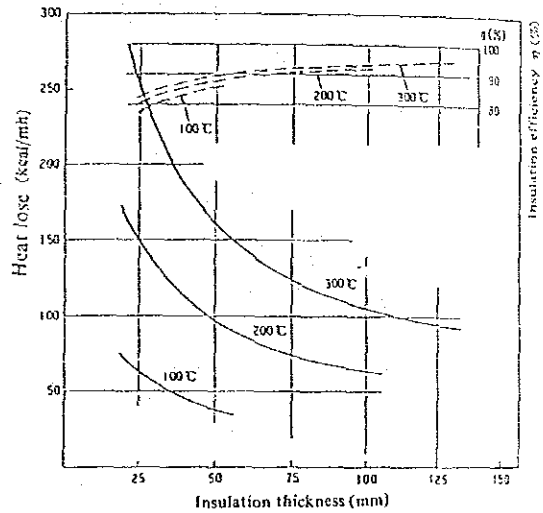


Fig. III-7-47 100A (4B) Piping

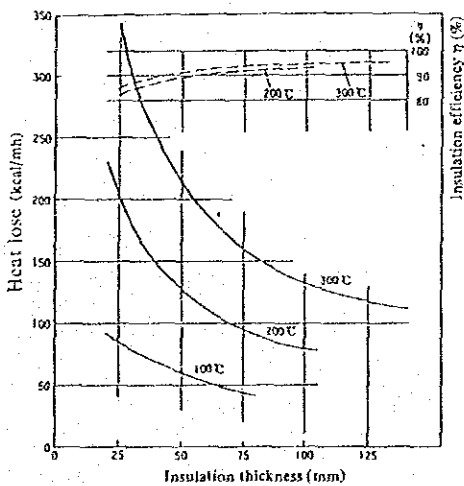


Fig. III-7-48 150A (6B) Piping

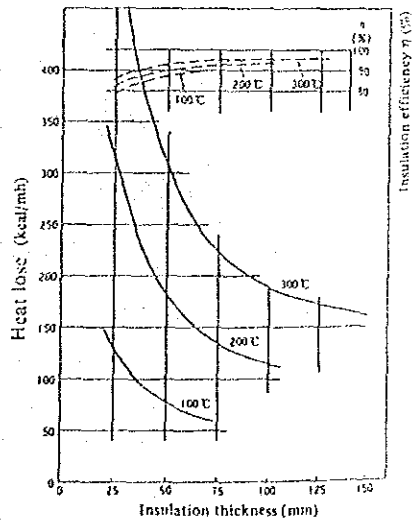


Fig. III-7-49 250A (10B) Piping

$$\text{保温効率} = (Q_0 - Q) / Q_0$$

Q_0 : 裸管の放散熱量

Q : 保温施工後の放散熱量

< Fig III-7-44 の使い方の例 >

蒸気温度 300℃ の 80 A (3 B) 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℃ 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 (90kcal/mh)。保温効率は、300℃ の交点を更に垂直に引き、300℃ の点曲線の交点を右に水平線を引き縦軸効率目盛を読む (93 %)。

2.4 スチームトラップ

蒸気が蒸気使用装置に入ると、蒸気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、蒸気の全量が凝縮してコンデンセートとなる。蒸気使用装置は、蒸気スペースが完全に蒸気で満たされているとき最大の加熱効果を発揮し、蒸気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積が減少し、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。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。
- ・蒸気を漏らさない。
- ・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 III-7-21 に分類と特性を示す。

Table III-7-21 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

蒸気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 (Fig III-7-50 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 (Fig III-7-51 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。

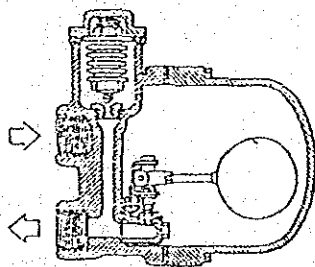


Fig. III-7-50
Float with lever type trap

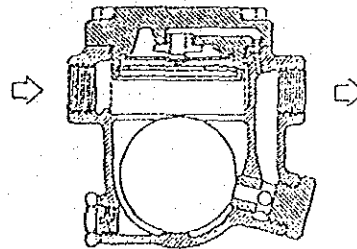


Fig. III-7-51
Free float type trap

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
(Fig III-7-52 参照)

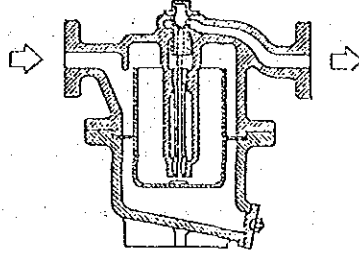


Fig. III-7-52 Open bucket type trap

d. 逆上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 (Fig III-7-53 参照)。レバーの変形、摩耗が故障の原因となることがある。

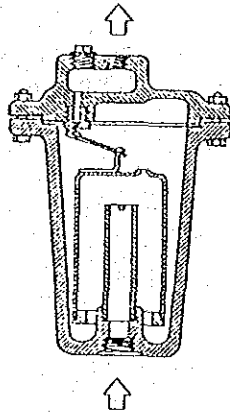


Fig. III-7-53 Inverted bucket type trap

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 (Fig III-7-54 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。

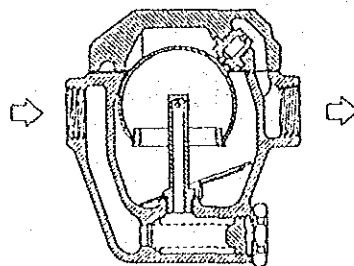


Fig. III-7-54 Free ball bucket type trap

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、発生直後はその蒸気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、蒸気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 (Fig III-7-55 参照)。

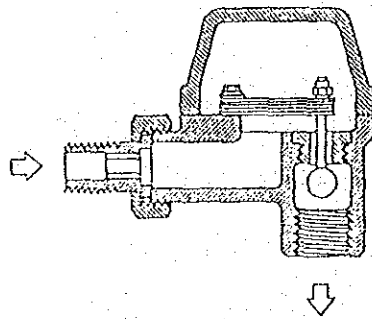


Fig. III-7-55 Bimetal type trap (strip type)

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蒸気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 (Fig III-7-56 参照)。

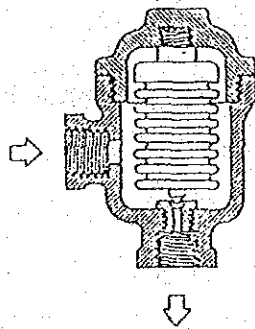


Fig. III-7-56 Bellows type trap

C) サーモダイナミック・スチームトラップ

コンデンセートと蒸気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。

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（Fig III-7-57 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、開弁中でも蒸気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。

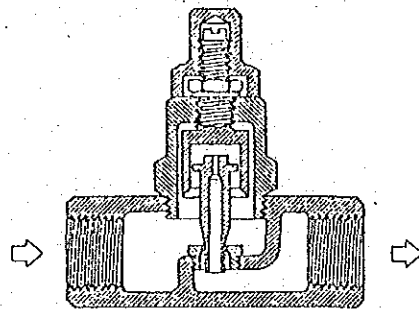


Fig. III-7-57 Impulse type trap

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（Fig III-7-58 参照）。

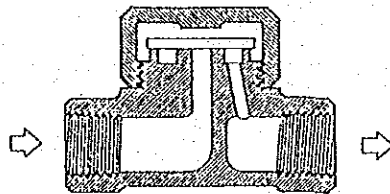


Fig. III-7-58 Disc type trap

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、蒸気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、次のとおりである。

- a. 蒸気使用装置のコンデンセート負荷と負荷特性
- b. 蒸気条件：圧力。温度。飽和蒸気か過熱蒸気か。
- c. 背圧条件：大気排出コンデンセート回収か。
- 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。

e. 本体材質

上記のうち、a が特に重点である。装置が連続使用の場合は、運転中の負荷変動は一般に少ない。しかし、装置がバッチ方式で使用する場合は、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。一方、プロセスの進行につれて蒸気圧力は上昇し、コンデンセートの量は減少する。

従って、トラップとしては負荷変動があってもコンデンセートを速やかに排出し、かつ十分な排出能力を持っていなければならない。

次に重要な問題は、トラップの故障である。トラップが吹きっ放しとなれば、正常時に比べて比較にならない多量の蒸気損失となる。また、閉塞故障を起こすとバイパス弁を開放して運転することで、莫大な蒸気損失を生ずることがある。トラップの故障は、ほとんど部品の摩耗と機械的故障によるものである。これらの故障は、構造が簡単なトラップほど少ないので、トラップはできるだけ構造の簡単なものを選ぶ必要がある。

また、コンデンセートを回収する場合には、必ずトラップに背圧がかかるので、トラップの作動が背圧によって影響されないメカニカルトラップを使用すべきである。

(3) スチームトラップの取り付け方法

スチームトラップの取り付けに当たっては、次の点を忘れてはならない。

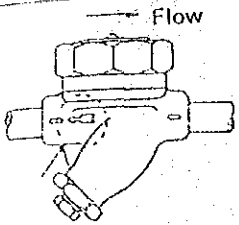
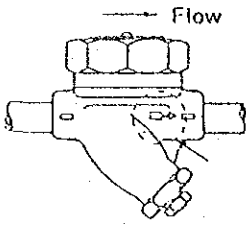
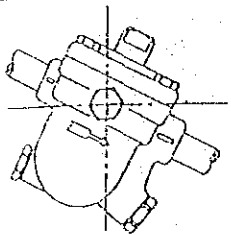
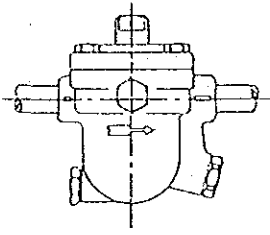
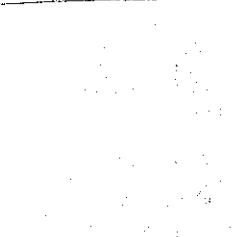
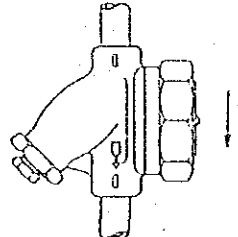
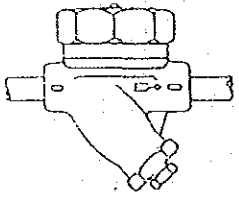
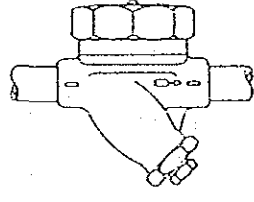
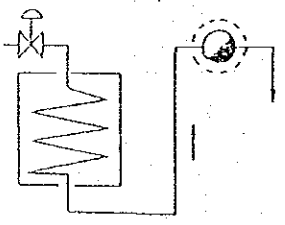
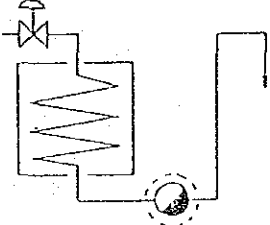
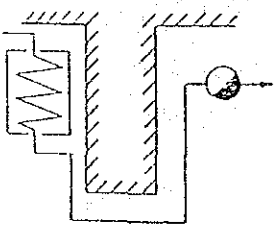
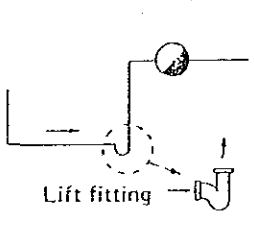
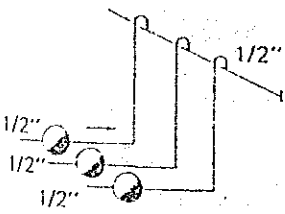
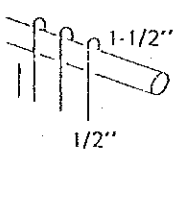
- a. スチームトラップは、ポンプのようにコンデンセートを押し出す能力を持っていない。蒸気圧力でコンデンセートが押し出される。
- b. コンデンセートがスチームトラップに入ることができなければ、スチームトラップは作動しない。従って、装置の排水点からスチームトラップまでの配管は、自然流下できるように設置する。

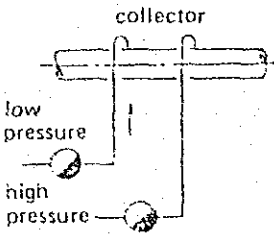
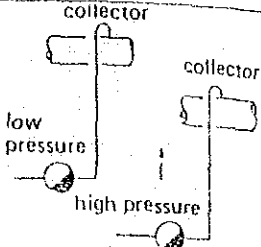
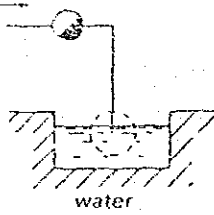
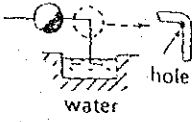
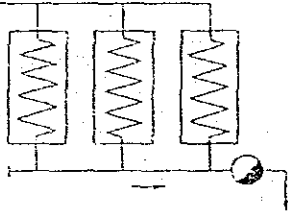
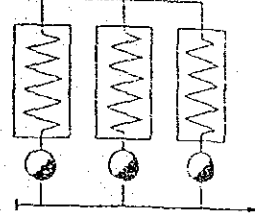
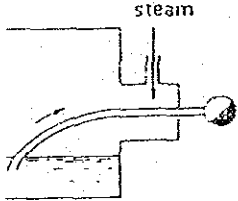
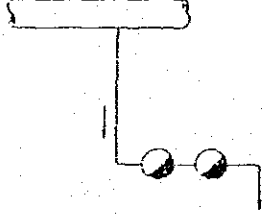
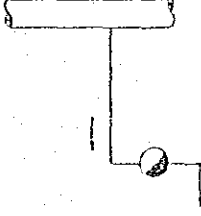
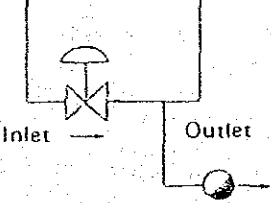
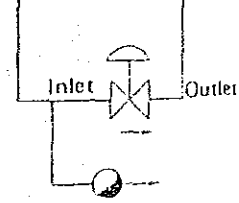
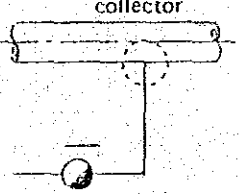
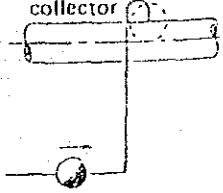
これらは、スチームトラップ取り付けの重要な原則である。この原則に基づいて取り付けの良い例と悪い例を Fig III-7-59 に示す。

(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消耗品であり、ある期間使用すると機能が低下し、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値である。従って、常に注意して点検し故障を発見した場合は、取り替えるか、修理して良好な状態に維持しなければならない。

WRONG INSTALLATION	DESCRIPTION	CORRECT INSTALLATION
	<p>Steam trap should be fitted in the direction of flow. All steam traps bear on the body stamp or mark showing flow direction.</p>	
	<p>Free float type steam trap should be fitted horizontally.</p>	
	<p>Thermodyne 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>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>1-1/2"</p> <p>1/2"</p>

WRONG INSTALLATION	DESCRIPTION	CORRECT INSTALLATION
	<p>Condensate discharged through two traps which operate at different pressures should not be collected to a common collector.</p>	
	<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>	

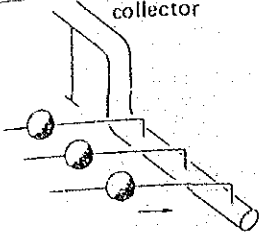
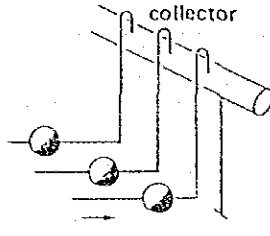
WRONG INSTALLATION	DESCRIPTION	CORRECT INSTALLATION
	<p>Collector should not have a riser. The head of condensate in the collector exerts on the traps as a back pressure.</p>	

Fig. III-7-59 Good example and worse example of installation (I)

点検には、定期点検と日常点検がある。

定期点検の間隔は、点検効果と点検経費を考慮して決める必要がある。点検効果は単位生産当たりの蒸気消費量（蒸気原単位）で示される。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（Table III-7-22 参照）。

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、蒸気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ド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。

Table III-7-22 List of check results of steam traps

Block		Applications
Trap No.		
Main		
Boiler		
Heater		
Dryer		
General heating		
Tracing		
Heating		
Others		
Pressure		
Recovery		
Indoor		
Manufacturer		
Model		
Size		
Installation Date		
Working hrs/day		
Good		Conditions
Blowing		
Leaky Valve		
Leakage thru packing		
Leakage thru body		
Capacity shortage		
Blockage		
Shut-down		
Worn valve		Causes
Defective body		
Foreign material caught		
Incorrect selection		
Wrong installation		
Air binding		
Steam locking		
Incorrect adjustment		
Others		Factors
Remedy		
Last Inspection		
Before-last Inspection		
Violation		
Replaced trap		

c) スチームトラップの故障

スチームトラップの故障は、次の四つのグループに分類することができる。これを手掛りとして、スチームトラップのどの部分の故障であるかを判断する。

a. 閉塞

トラップの開弁不能の状態である。トラップはコンデンセートも空気も排出しない。この場合トラップは通常冷たく、またトラップ排出管出口が目視できるときは容易に確認できる。

b. 吹きっ放し

トラップの開弁不能の状態である。トラップはコンデンセートと共に多量の蒸気を排出し続ける。この場合、蒸気装置は全出力で運転し、生産には支障をきたさないので放置されがちであるが、多量の蒸気が浪費されるので、日常点検に当たっては特にこの故障の発見に重点をおく必要がある。

c. 蒸気漏れ

トラップは作動はするが、正常作動の場合に比べて蒸気漏れが著しく大きい状態である。省エネルギーの観点から吹きっ放しに次いで重要な故障である。

d. 排出量不十分

トラップは作動はするが、排出能力不足のため装置内にコンデンセートが滞留する状態である。

2.5 コンデンセート回収

(1) コンデンセート回収の意義

蒸気使用装置で実際に有効利用されているのは、蒸気の全熱量のうち潜熱のみであり、蒸気の顕熱、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、Fig III-7-60 に示すように蒸気の全熱量の約 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 20～30%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、工場蒸気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。

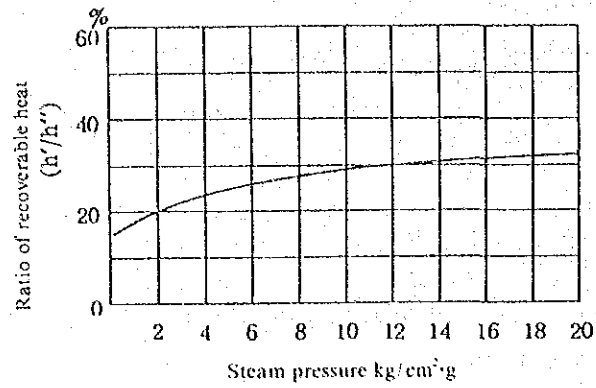


Fig. III-7-60
Ratio of recoverable heat
(Enthalpy of condensate/Enthalpy of saturated steam)

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。(Fig III-7-61 参照)。

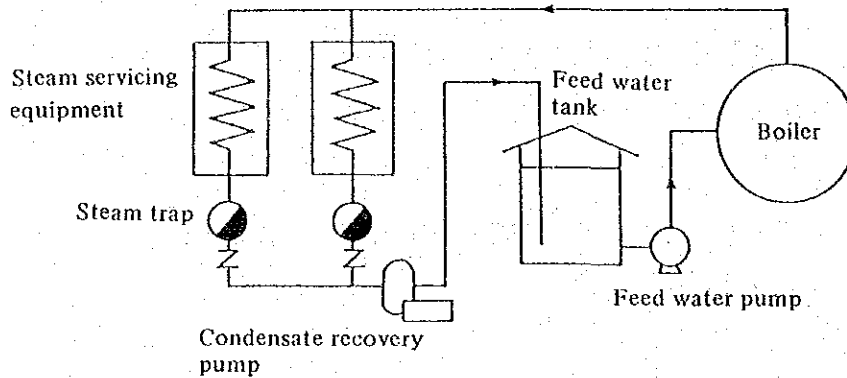


Fig. III-7-61 Direct utilization to feed water tank

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(Fig III-7-62 参照)。

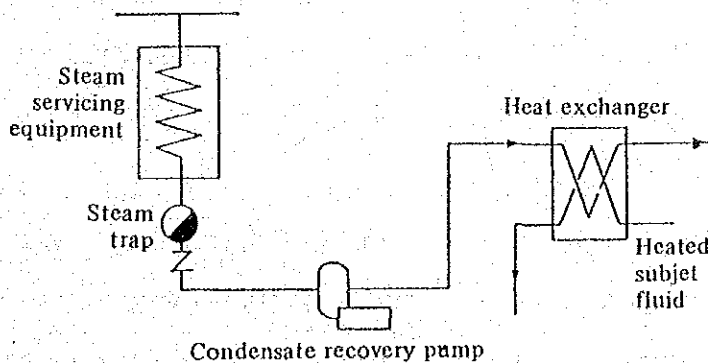


Fig. III-7-62 Indirect utilization through heat exchanger

① フラッシュ蒸気の利用

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 (Fig III-7-63 参照)。

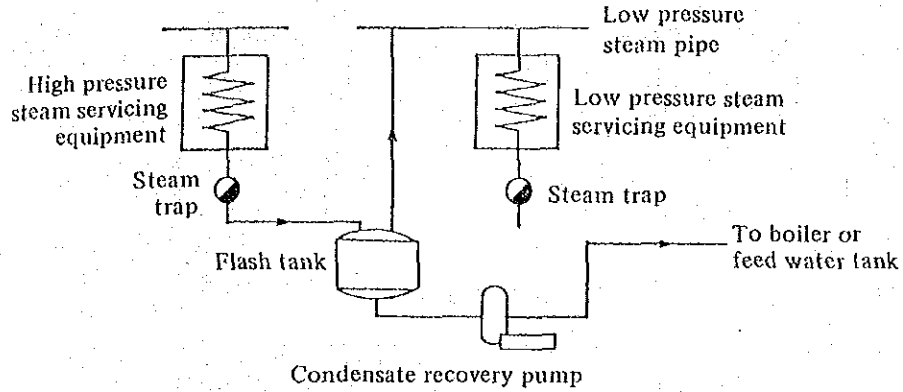


Fig. III-7-63 Flash steam utilization

② 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蒸気圧力で、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 (Fig III-7-64 参照)。

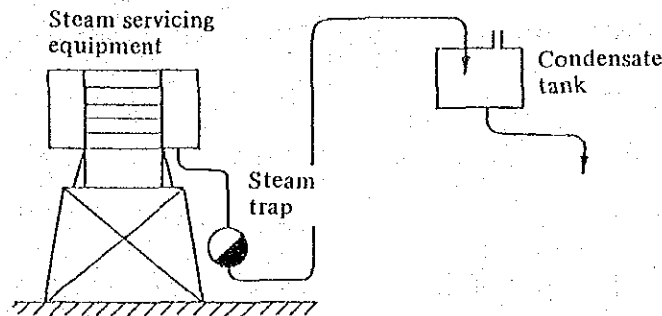


Fig. III-7-64 Recovery by steam trap only

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 (Fig III-7-65 参照)。

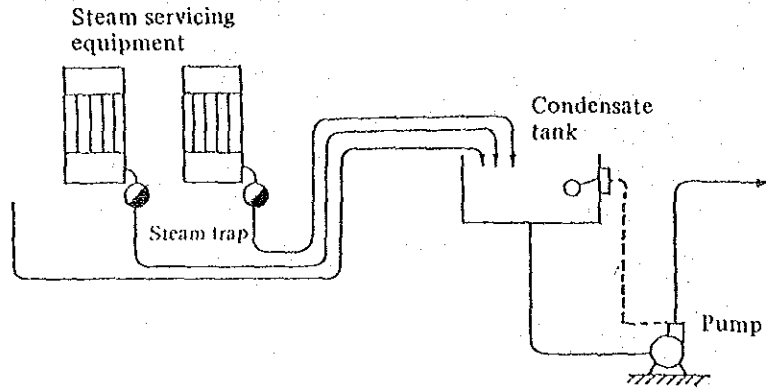


Fig. III-7-65 Recovery by centrifugal pump

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4~5m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、1m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 (Fig III-7-66 参照)。

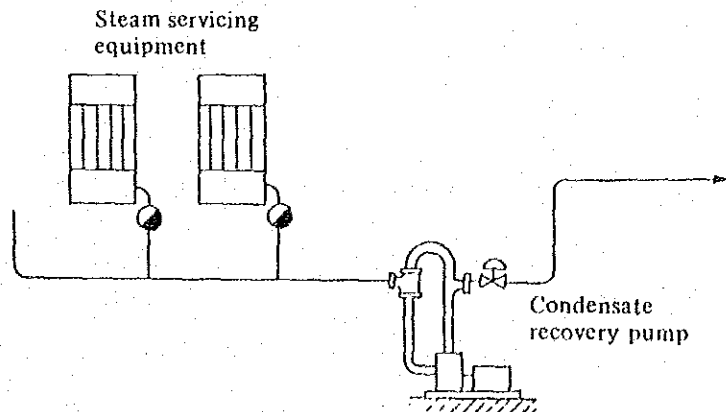


Fig. III-7-66 Recovery by condensate recovery pump

この方法には、スチームトラップ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選定

蒸気使用装置の加熱効率を最高に維持することは、ドレン回収以前の問題として工場の生産にかかわる重要な問題である。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スチームトラップで故障の少ないものを選定する。

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

蒸気圧力の異なる配管系統がある場合は、蒸気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、フラッシュ蒸気の伴う回収管は、蒸気とコンデンセートとの二相流であり、最大 15 m/s 以内の流速で設計し、過大圧損、ウォーターハンマを防止する必要がある。

D) 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、ボイラから蒸気使用装置を経て、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) フラッシュ蒸気の利用

コンデンセート利用方法で、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蒸気として利用する方法を述べたが、実施に当た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、フラッシュ蒸気も少量であり、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。

- b. かなりの量のコンデンセートが集められ、これからフラッシュ蒸気が得られても、これを利用する箇所が見当たらないことがよくある。フラッシュ蒸気を回収する前に、その用途を予め決めておく必要がある。
- c. コンデンセート発生場所とフラッシュ蒸気の使用場所との距離は、短いことが望ましい。フラッシュ蒸気は圧力が低いため、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、フラッシュ蒸気の利用を断念しなければならない。

Table III-7-23 Flash steam generating rate (wt. %)

Pressure in high pressure side (kg/cm ² G)	Low pressure side (kg/cm ² 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

Fig III-7-67 にフラッシュ蒸気の使用例を示す。8 kg/cm²G の蒸気を使用して、そのフラッシュ蒸気を前1段に使用した例である。

8 kg/cm²G の蒸気を 2,500 kg/h 使用としたとき、内圧 0.5 kg/cm²G 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 III-7-23 よりフラッシュ蒸気量は 12.3% (重量) 発生するので、307.5 kg/h の蒸気を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蒸気を回収するための一種の圧力容器である。この大きなフラッシュ蒸気発生量 [m³/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

蒸気がコンデンセートを巻き込む可能性があり、蒸気の上昇速度を1~2m/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、蒸気出口管にセパレーターを取り付けるのがよい。

Fig III-7-68 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。

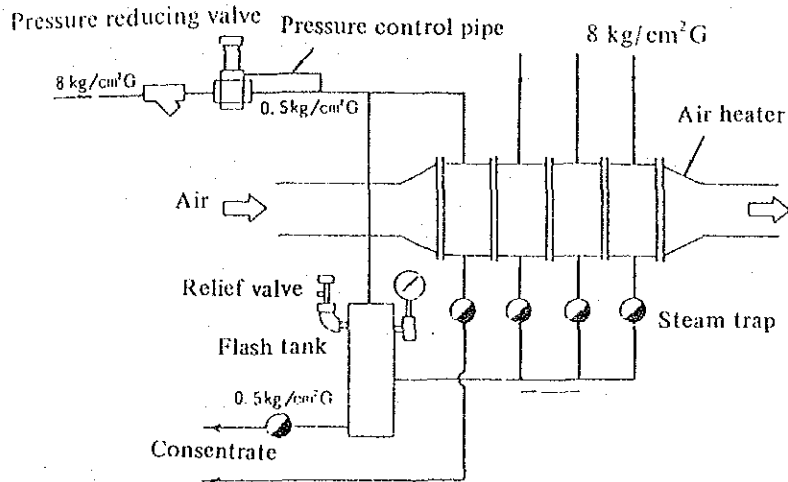


Fig. III-7-67 Example of flash steam use in air heater

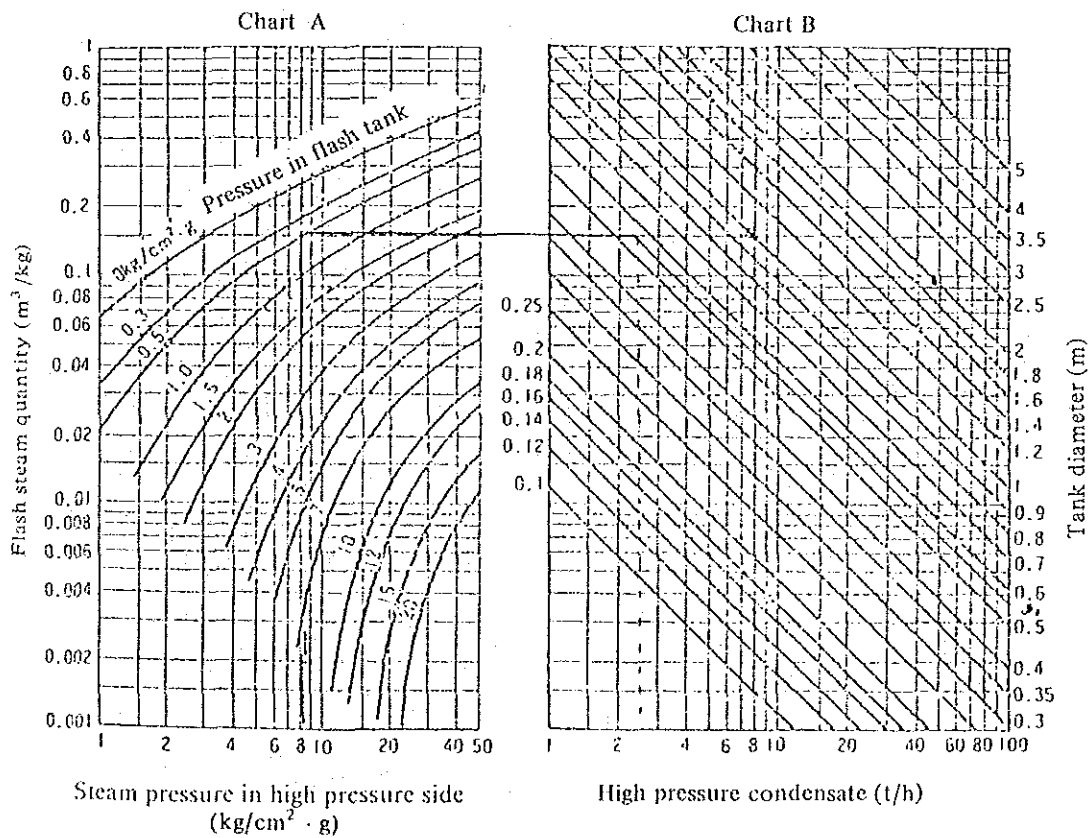


Fig. III-7-68 Chart of flash tank diameter

Fig III-7-67 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 $8 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ とフラッシュタンク内圧力 $0.5 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ 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 t/h との交点を求めると、タンクの直径は 0.55 m と得られる。また、内容積が 40 l 以上の場合は、供給コンデンセート量とフラッシュ蒸気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) サーモコンプレッサの利用

サーモコンプレッサの構造は、Fig III-7-69 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蒸気を膨張させると、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、低圧の蒸気をベンチュリ咽喉部に吸引すると、これを高圧蒸気にする能力を持っている。

Fig III-7-70 に化学工場での使用例を示す。ストリッピ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蒸気をサーモコンプレッサで適正圧に昇圧させて使用することで、生蒸気の削減を図っている。

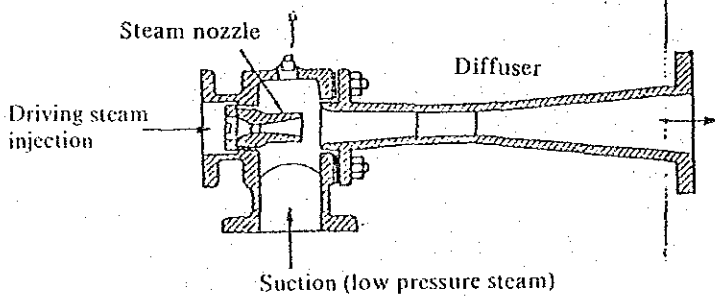


Fig. III-7-69 Thermocompressor

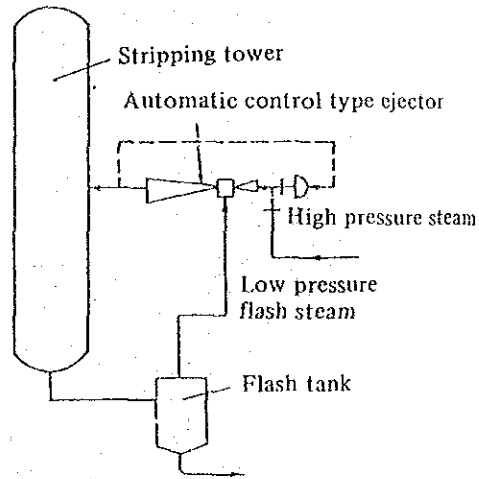


Fig. III-7-70 Example of thermocompressor use for stripping tower

2.6 蒸気の直接加熱利用

蒸気の直接加熱利用方法は、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) 液体に直接蒸気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、蒸し器等の蒸気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。

蒸気の直接加熱の場合は、蒸気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、蒸気圧力によって温度が定まるのは、蒸気が空気を含まない場合のみである。空気を含む場合は、その混合物の蒸気分圧に対する飽和温度となり、蒸気のみの場合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、空気混合比と蒸気温度の関係を Table III-7-24 に示す。

Table III-7-24 Relation between the air mixing ratio and steam temperature (°C)

Steam Pressure kg/cm ² \ Air mixing ratio %	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) 蒸気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、直接蒸気を吹き込む操作がよく行われる。この蒸気吹き込み方法にはいろいろあるが、蒸気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蒸気噴射管を使う方法が一般的である (Fig III-7-71, Fig III-7-72 参照)。

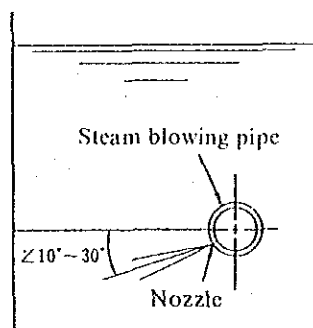
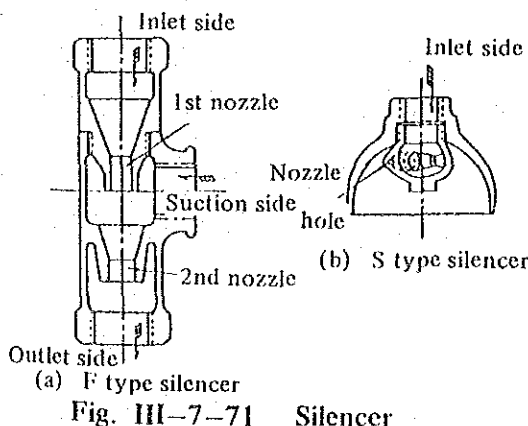


Fig. III-7-72 Steam blowing angle from nozzle

いずれの方法も効率よく蒸気を液中で凝縮させ、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. 液体中に噴射する蒸気泡の速度を小さくする。
- b. 蒸気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 (Fig III-7-72 参照)。
- c. 噴射ノズルにおける水頭圧力を大きくとる。
- d. 蒸気泡と液体の熱交換は接触する表面で行われるので、蒸気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. 蒸気の噴射圧を低くする。圧力を小さくすれば、蒸気泡も小さくなり有利である。また、蒸気吹き込み配管は常に溶液槽内に挿入されているため、蒸気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、 Fig III-7-73 に示すよう極めて低い圧力で作動する逆止弁を取り付ける。蒸気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。

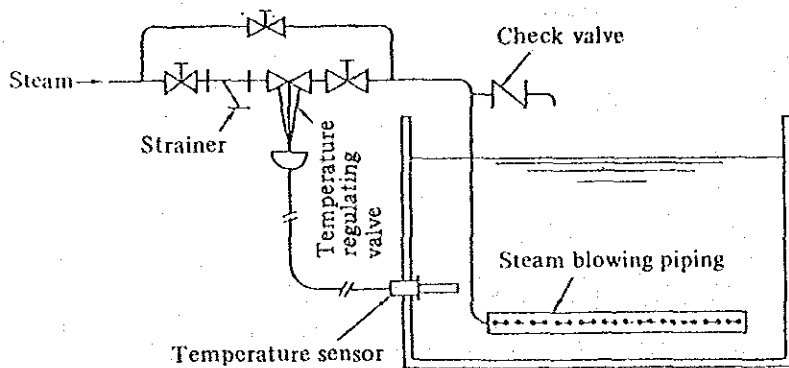


Fig. III-7-73 Steam direct blow-in heater

2.7 ヒートポンプの利用

食品、繊維、化学産業では比較的低温の温排水が多量に発生するが、有効な利用手段や利用先が無くほとんど捨てられていた。この温排水の排熱を、ヒートポンプにより回収利用すれば、かなりのプロセスで再利用できる可能性があり、蒸気の消費を減らすことができる。

(1) ヒートポンプの種類と原理

現在、産業用として利用されているヒートポンプを分類すると、次のとおりである。

- ・圧縮式ヒートポンプ
- ・吸収式ヒートポンプ

いずれも、原理的には媒体の相変化を利用して吸熱放熱を行うものである。

A) 圧縮式ヒートポンプ

基本構成要素を Fig III-7-74 に示す。低温部の熱交換器である蒸発器、圧縮器、高温部での熱交換器である凝縮器及び膨張弁からなる。

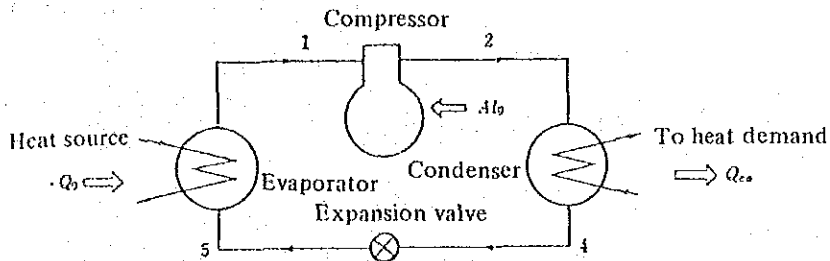


Fig. III-7-74 Vapor compression type heat pump cycle

作動媒体は、蒸発→圧縮→凝縮→膨張→蒸発の変化を繰り返し装置内を循環する。作動媒体としてはフロン系が多く用いられる。

低温側で取り込んだ熱量 Q_0 に、これを昇圧するために費やしたエネルギー A_0 が加わって、低温で吸収した熱量より高い熱量 Q_c が放出される。

上記の状態変化を、作業媒体の状態線図上に表わしたものを Fig III-7-75 に示す。図の各点の数字は Fig III-7-74 に示した数字の場所に対応する。

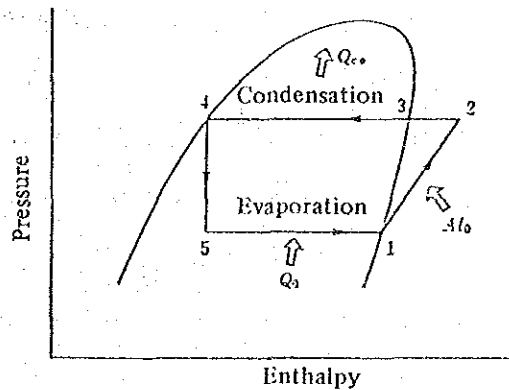


Fig. III-7-75 Heat pump cycle on Mollier chart

B) 吸収式ヒートポンプ

吸収式ヒートポンプには、第1種と第2種があるが、いずれも作動媒体の蒸発、凝縮によって熱を外部から取り入れ、これを高温で放出する。圧縮機を用いずに作動媒体蒸気を高圧部へ移動させるため、作動媒体としての水のほかに LiBr を吸収剤として使用する。

a. 第1種吸収式ヒートポンプ

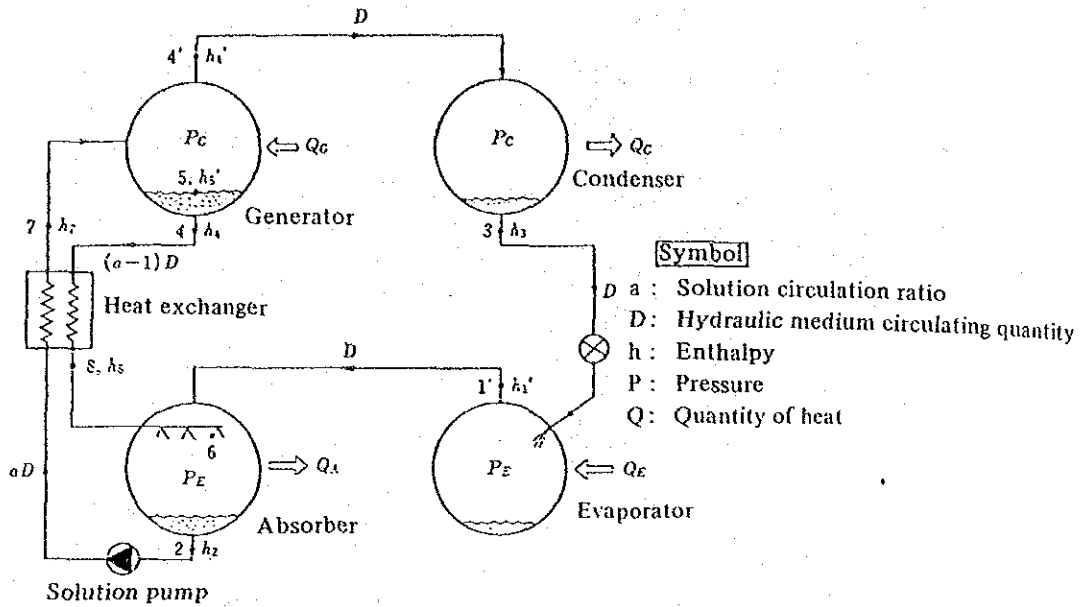


Fig. III-7-76 Flowsheet of absorption heat pump (LiBr-Water 1st type)

基本構成要素を Fig III-7-76 に示す。蒸発器には熱源からの熱量 Q_E が流入し、水が蒸発する。この水蒸気は吸収器の LiBr 濃溶液に吸収され発熱し熱量 Q_A を放出する。水を吸収して濃度の低くなった LiBr 稀溶液は、吸収能力が低下するのでポンプで発生器に送られる。ここで外部から蒸気等の高温の熱量 Q_G により、水を蒸発させる。元の濃度に戻った LiBr 濃溶液は再び吸収器に還って吸収作用を続ける。

発生器内で蒸発した水蒸気は凝縮器に入り外部に熱量 Q_C を放出して凝縮化する。液化した水は再び蒸発器に戻りサイクルを繰り返す。発生器と吸収器の間の溶液回路には熱交換器を設け、発生器で必要な加熱量を節減している。Fig III-7-77 にデューリング線図上のサイクルを示す。 ϵ_1 、 ϵ_2 は稀溶液、濃溶液の濃度を示す。

b. 第2種吸収式ヒートポンプ

熱源となる温排水を蒸発器と発生器に導びき凝縮器には温排水から温度レベルの低い冷却水を流して、吸収器から高温の温水を得る装置である。Fig III-7-78 にフローシート、Fig III-7-79 にデューリング線図上のサイクルを示す。

図中には、1例として 70°C の温排水から 100°C の高温水を得る場合の各部の数値が記入してある。

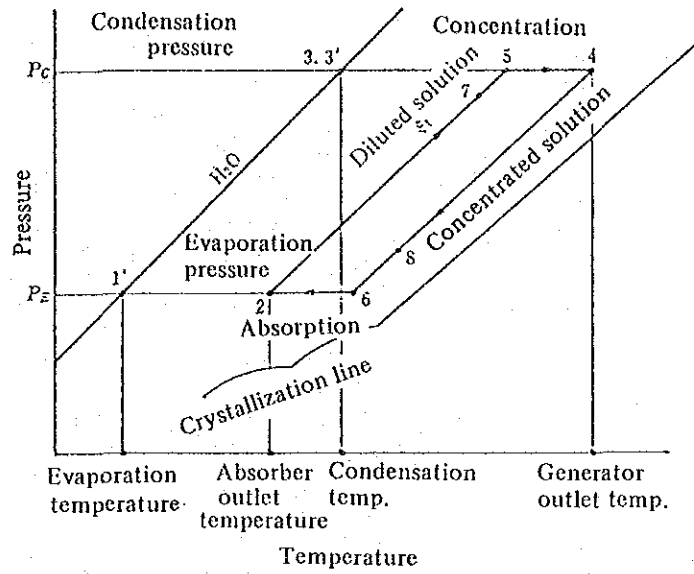
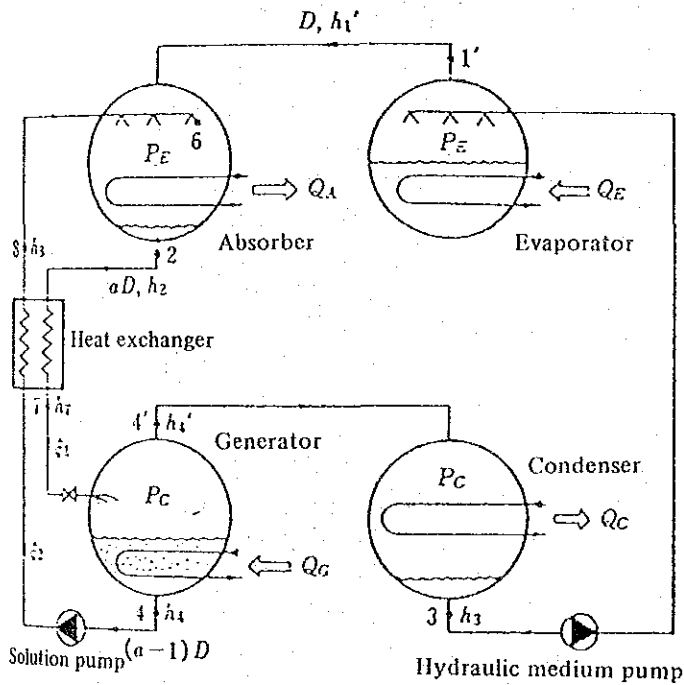


Fig. III-7-77 1st absorption heat pump cycle on Dühring diagram



Example of cycle

Item	Inlet	Outlet
Hot water in absorber (°C)	95	100
Heat source of evaporator (°C)	70	65
Heat source of generator (°C)	70	65
Cooling water of condenser (°C)	6	8
1' point temperature (°C)		60
2 point temperature (°C)		108
3 point temperature (°C)		10
4 point temperature (°C)		58

Symbol

- a: Solution circulation ratio
- D: Hydraulic medium circulating quantity
- h: Enthalpy
- P: Pressure
- Q: Quantity of heat
- ε: Concentration

Fig. III-7-78 2nd type absorption heat pump flowsheet

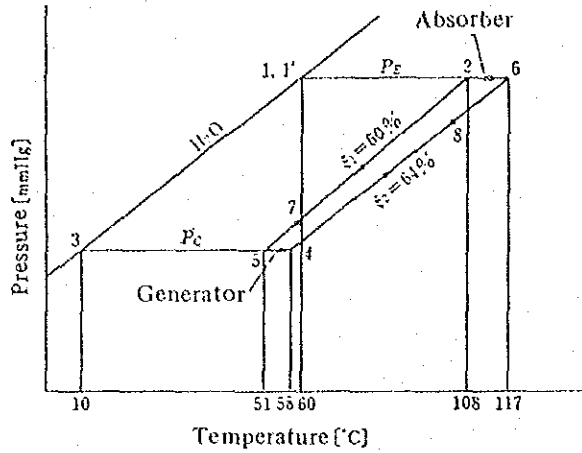


Fig. III-7-79

Cycle of 2nd type absorption heat pump on Dühring diagram

第2種ヒートポンプの特徴は、第1種ヒートポンプと異なり、有効利用できる熱量は吸収器からのもののみであるが、装置を作動させる熱エネルギーの全量を排熱に求めている点である。

(2) ヒートポンプの利用例

A) 化学工業での圧縮式ヒートポンプの応用例

蒸溜塔の塔頂のコンデンサの温排水を熱源として圧縮式ヒートポンプによって81°Cの温水を作り、リボイラの熱源としている。フローをFig III-7-80に示す。

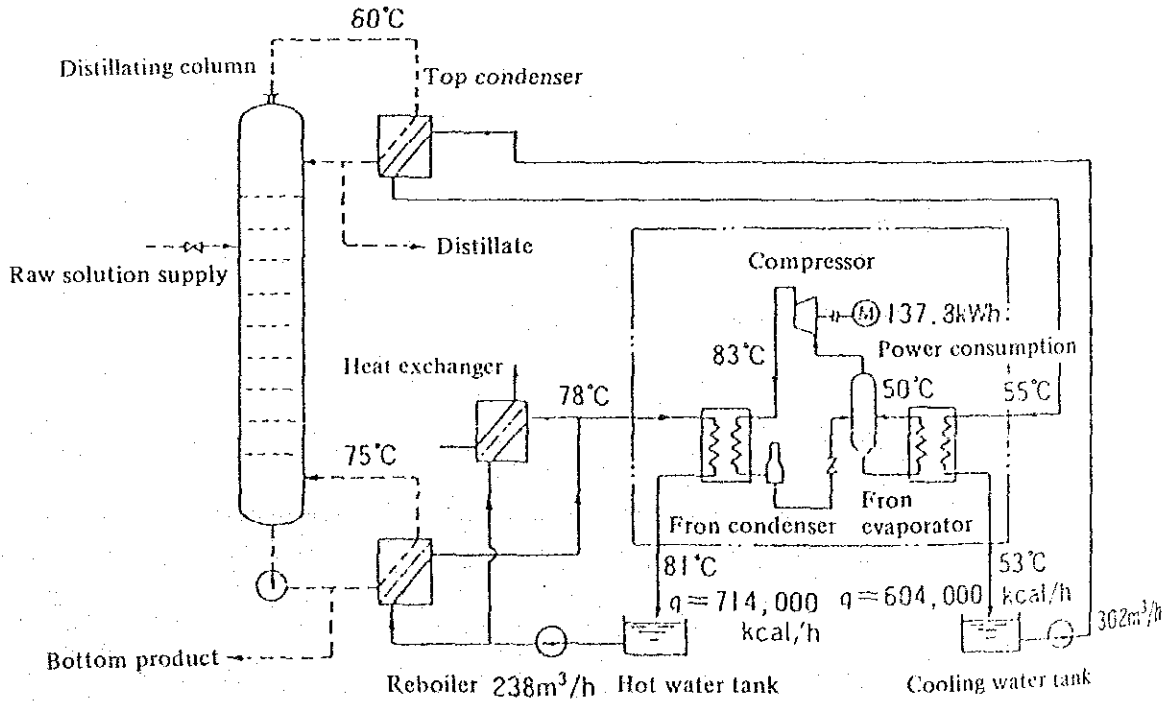


Fig. III-7-80 Heat pump distillation

53℃に冷却された冷却水をトップコンデンサに導き、塔頂ガスの凝縮熱をうばい、55℃に上昇したものを再び53℃に冷却する際に、ヒートポンプで熱を吸み上げ、78℃の温水を81℃に昇温してリボイラに供給し、塔底液の蒸発加熱用に再利用する。

従来の蒸気加熱と比較すると、ヒートポンプ使用の場合はボイラ利用の40%のランニングコストでの操業が可能となった。

B) 繊維工場での第1種吸収式ヒートポンプの応用例

フローシートをFig III-7-81に示す。このシステムの特徴は、染色工場への温水の供給と同時に、編機工場の冷房を行うようにしたことである。ヒートポンプの熱源として空調負荷を利用しているが、冷房負荷が季節や時刻により変動するので、冷房負荷以外に温排水及びコンデンサートからも熱回収するようになっている。

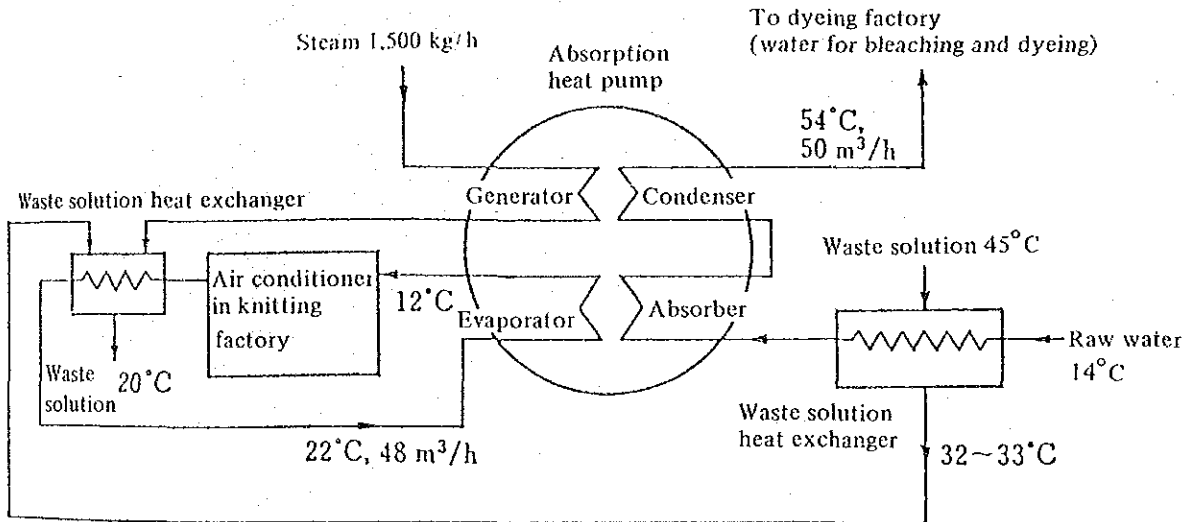


Fig. III-7-81 Absorption heat pump flowsheet in textile dyeing plant

駆動用熱源は蒸気で、発生器に熱を供給し、蒸発器では、22℃の循環水が12℃まで冷却され空調系統に送られる。

一方、吸収器と凝縮器ではプロセス用の温水を直列に通して54℃まで加熱し、染色工場に送られる。

このシステムは、ヒートポンプの持つ冷却、加熱の二つの機能を同時に利用した、最も効果的な使い方である。

C) 化学工場での第2種吸収式ヒートポンプの応用例

化学工場の蒸留塔の排熱の熱回収に圧縮式ヒートポンプ利用の例を前項で示した

が、ここでは第2種吸収式ヒートポンプの応用例を紹介する。フローシートをFig III-7-82に示す。

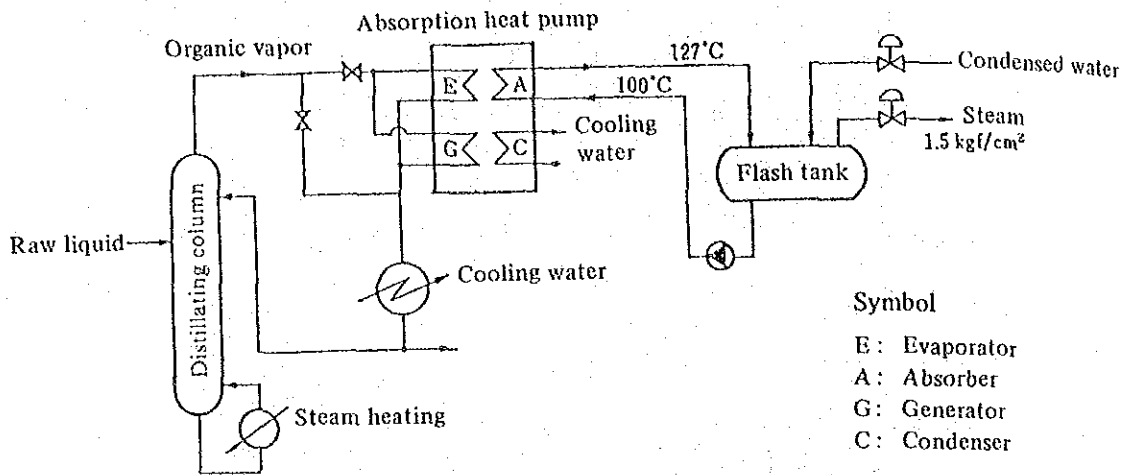


Fig. III-7-82 Flowsheet of 2nd type heat pump utilized with exhaust heat of distilling column

蒸留塔の塔頂から出る有機蒸気（80℃）を熱源として蒸発器と発生器に分けて通す。これにより、凝縮器に通常の冷却水を通水すれば、吸収器から熱源より高い高温水（127℃）が得られる。この高温水をフラッシュタンクに導き、1.5 kg/cm²、125℃の蒸気を発生させプロセス蒸気として使用する。