

4.2 シリカブロック工業の省エネルギー

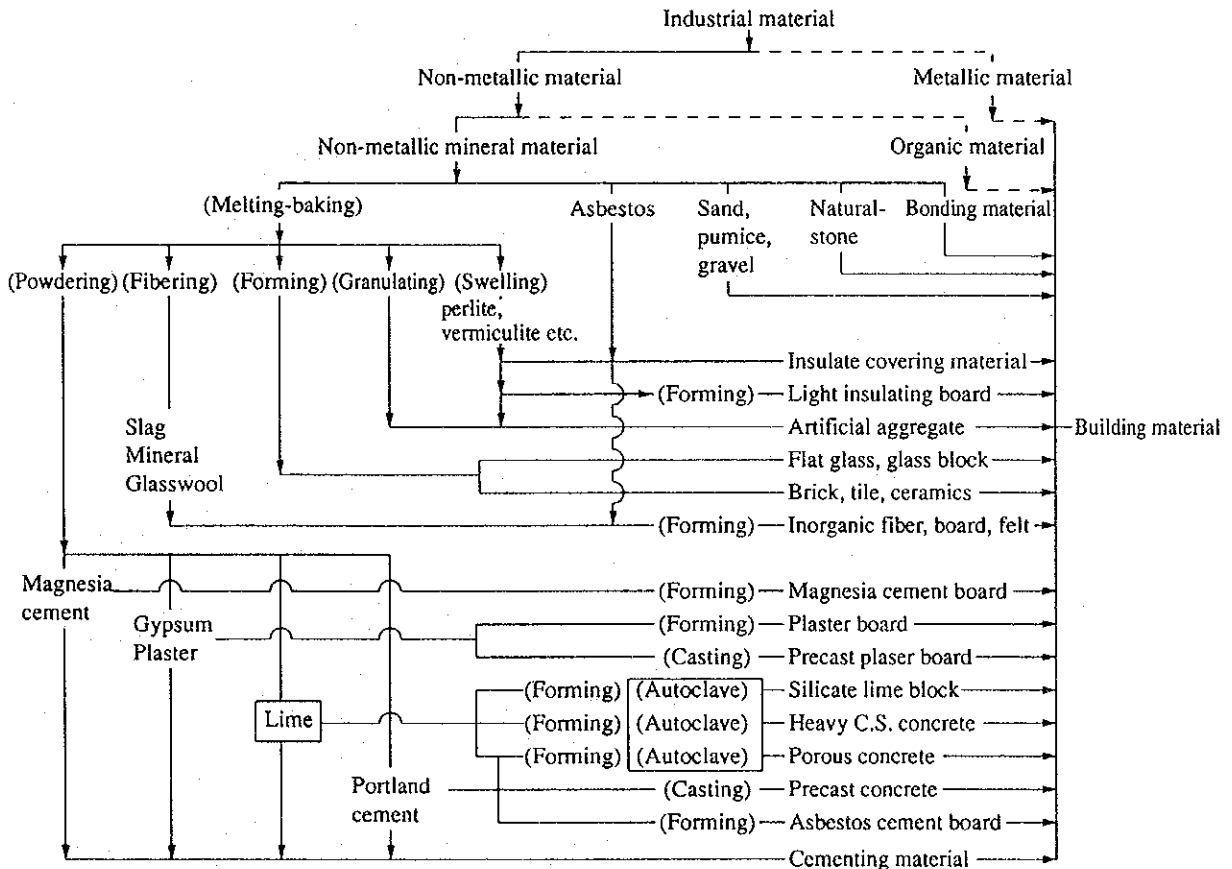
4.2.1. まえがき

建築材料を分類すると、金属と非金属に大別され、非金属は更に無機質（鉱物質）と有機材料に分けられる。前者をセラミックスと呼ぶ。セラミックス建材の中で珪砂、セメント、石灰を主原料としオートクレーブ養生で製造される建材（珪酸カルシウム水和物＝Calcium silicate products）について本稿で取上げる。

珪酸カルシウム水和物には、今回ポーランド調査で対象となったサンド・ライム煉瓦（Silicate lime block）とセメント瓦（商品名：Color bestos etc.）、軽量気泡コンクリート（商品名：Ytong, Syporex etc.）等である。

次に建築材料の系統的分類を Figure 4.2.1 に示す。

Figure 4.2.1 Systematic Classification of Building Materials



4.2.2. 珪酸カルシウム水和物

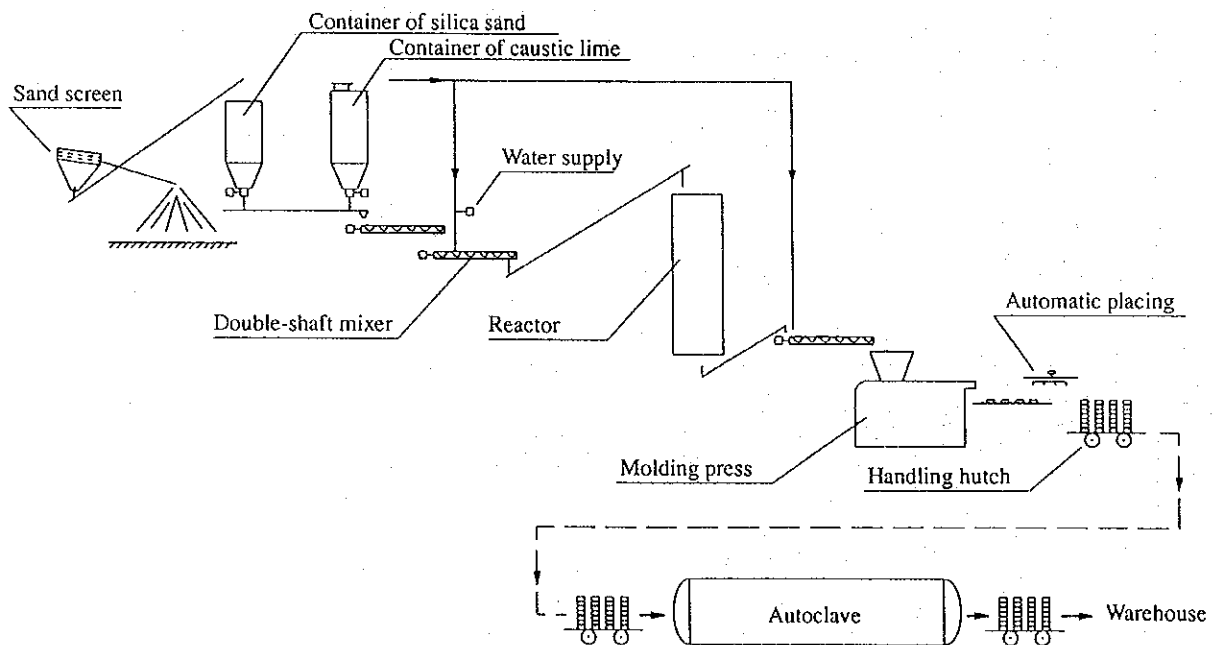
SiO_2 と CaO が適当なモル比になるよう原料を配合し過剰の水の存在下でオートクレーブにより数気圧～数十気圧で反応させると結晶度の小さい CSH、やや高いトバモライト ($\text{C}_5\text{S}_6\text{H}$)、更に高いゾノトライト ($\text{C}_6\text{S}_6\text{H}$) 等ができ、軽量、断熱、耐火材に使用される。現在工業的に利用されているのは上記結晶であるが、結晶析出を更に制御できるとフォシャジャイト ($\text{C}_4\text{S}_3\text{H}$)、ヒレブラランタイト (C_2SH) ができ、今後の開発が期待されている。

生成化合物は、出発原料の種類、粒度、 CaO/SiO_2 比、水熱反応温度、時間等に影響される。

(1) サンド・ライム煉瓦 (Silicate lime block)

珪砂が主体で石灰分が少ない。白色煉瓦で赤煉瓦同様建築用に使用される。赤煉瓦が $900\sim 1,000^\circ\text{C}$ に焼成して製造されるのに対し、オートクレーブ養生で製造されるので省エネルギーで環境に優しい製品である。Figure 4.2.2 に製造工程の1例を示す。

Figure 4.2.2 Production Process of Silicate Lime Block

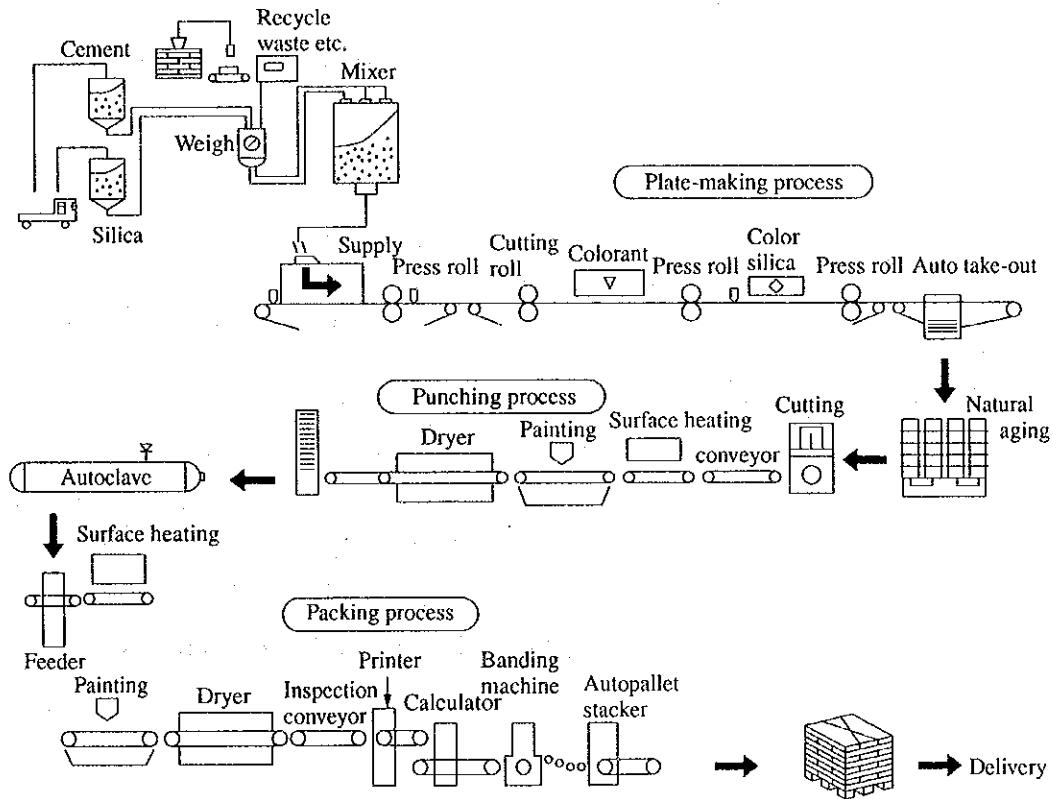


(2) セメント瓦

セメント瓦はセメント特殊混合剤、補強繊維を主原料に成形し、オートクレーブ養生した完全不燃建材である。

Figure 4.2.3 に製造工程の 1 例を示す。

Figure 4.2.3 Production Process of Cement Roof Tile



(3) 軽量気泡コンクリート

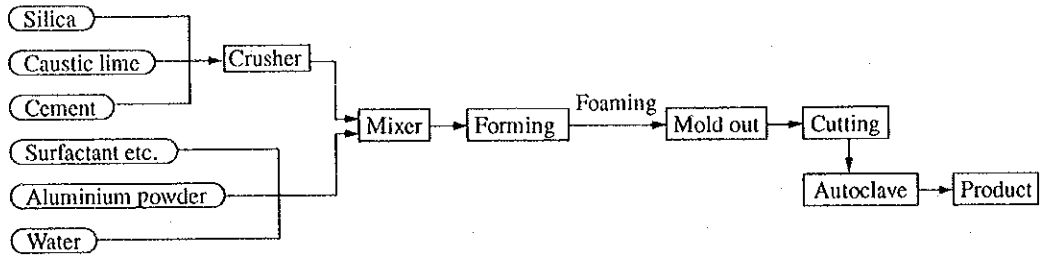
コンクリートの重いという欠点を改善するために、従来から各種の方法が検討され、構造用、断熱用に使用されてきたが、プレキャストパネルによる鉄骨構造等が盛んになったため、その使用量が増大している。この軽量コンクリートの 1 つに気泡コンクリートがある。これは元々北欧の寒冷地での断熱材として発達したものである。

Figure 4.2.4 に製造工程の 1 例を示すが、アルミニウム粉末の化学反応によりガスを発生させ発泡体とした後、オートクレーブ養生する ALC (Autoclaved lightweight concrete) とスラリーに泡立機による泡を混合して発泡体とする 2 種類

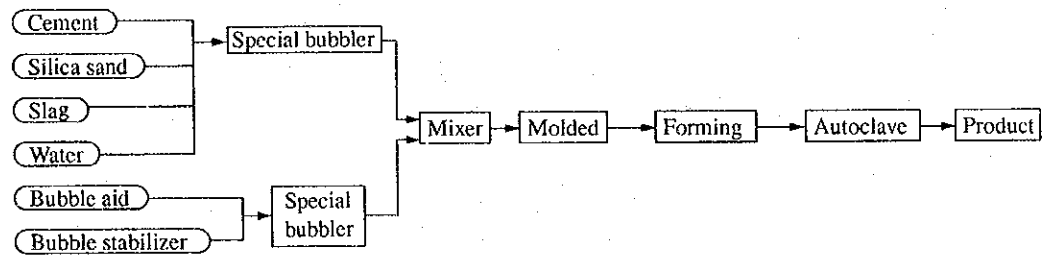
がある。

Figure 4.2.4 Production Process of ALC Products

Foaming method (ALC)



Preforming method



次に軽量コンクリートの強度と断熱性能について Figure 4.2.5、Figure 4.2.6 に示す。

Figure 4.2.5 Compressive Strength vs. Density of Porous Concrete

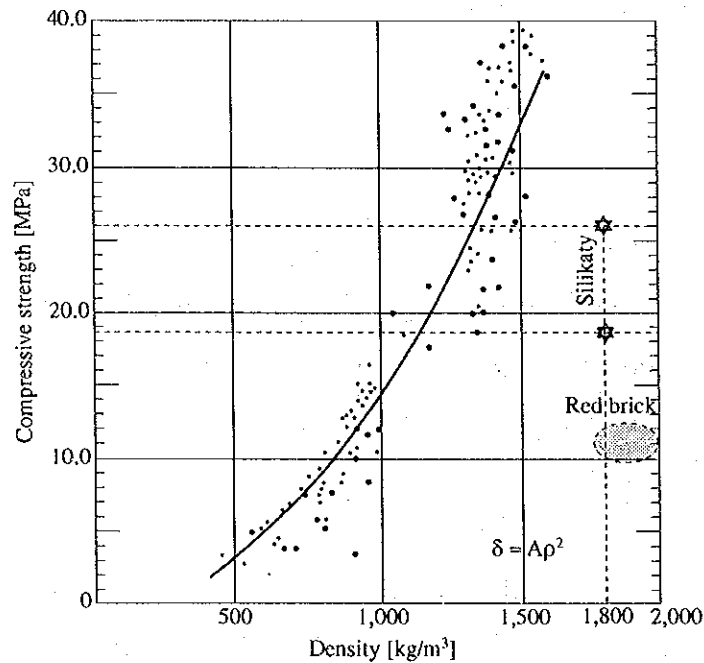
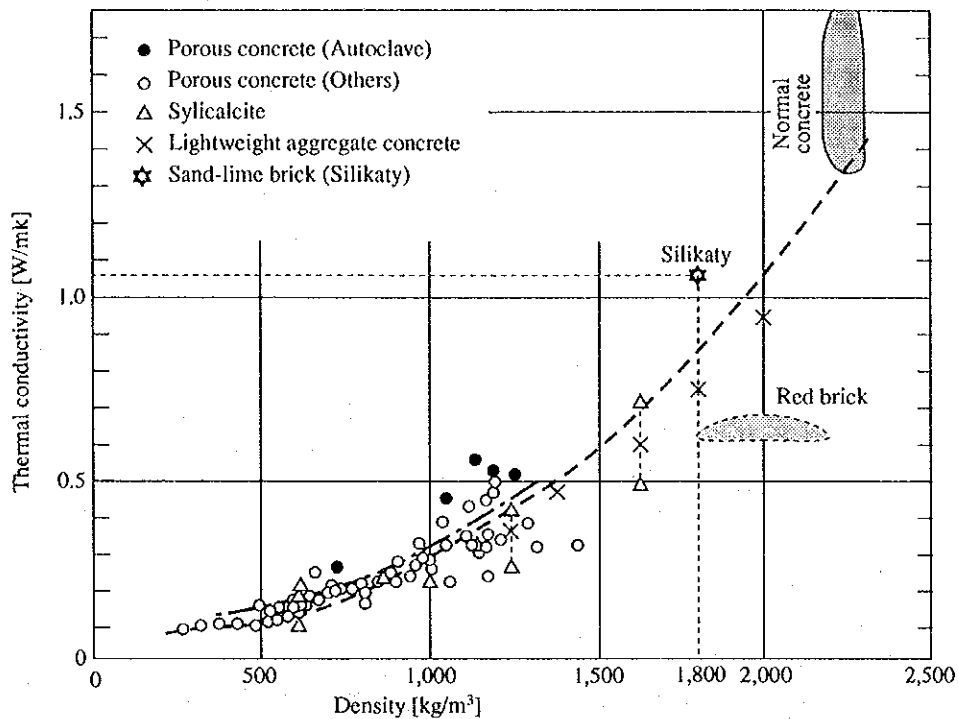


Figure 4.2.6 Thermal Conductivity vs. Density of Lightweight Concrete



4.2.3. オートクレーブの省エネルギー

(1) オートクレーブの構造

オートクレーブには目的、内容物によって種々の方式、形態のものがあるが本稿では珪酸カルシウム水和物の養生 (hardening) に用いられる横型、静止型、水蒸気式オートクレーブについて記述する。

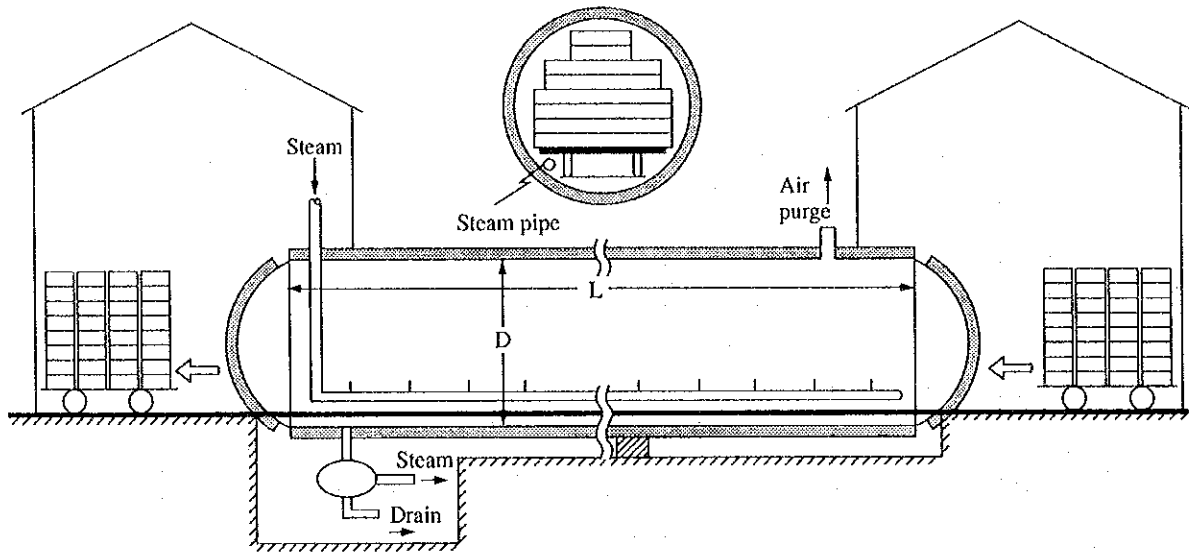
オートクレーブの構造は Figure 4.2.7 に示すように、円筒型の胴体と材料の装入、製品の搬出用の鏡板扉 (出入口) から構成されている。

本体の胴部および扉外面は一般に 65mm~100mm の珪酸カルシウムで保温されている。

寸法は、D×Lが 1.8mφ×20m、2.5m×40m、3.0m×50m と各種のものがある。

一般に両端 3m 程度が屋内で中間は屋外である。

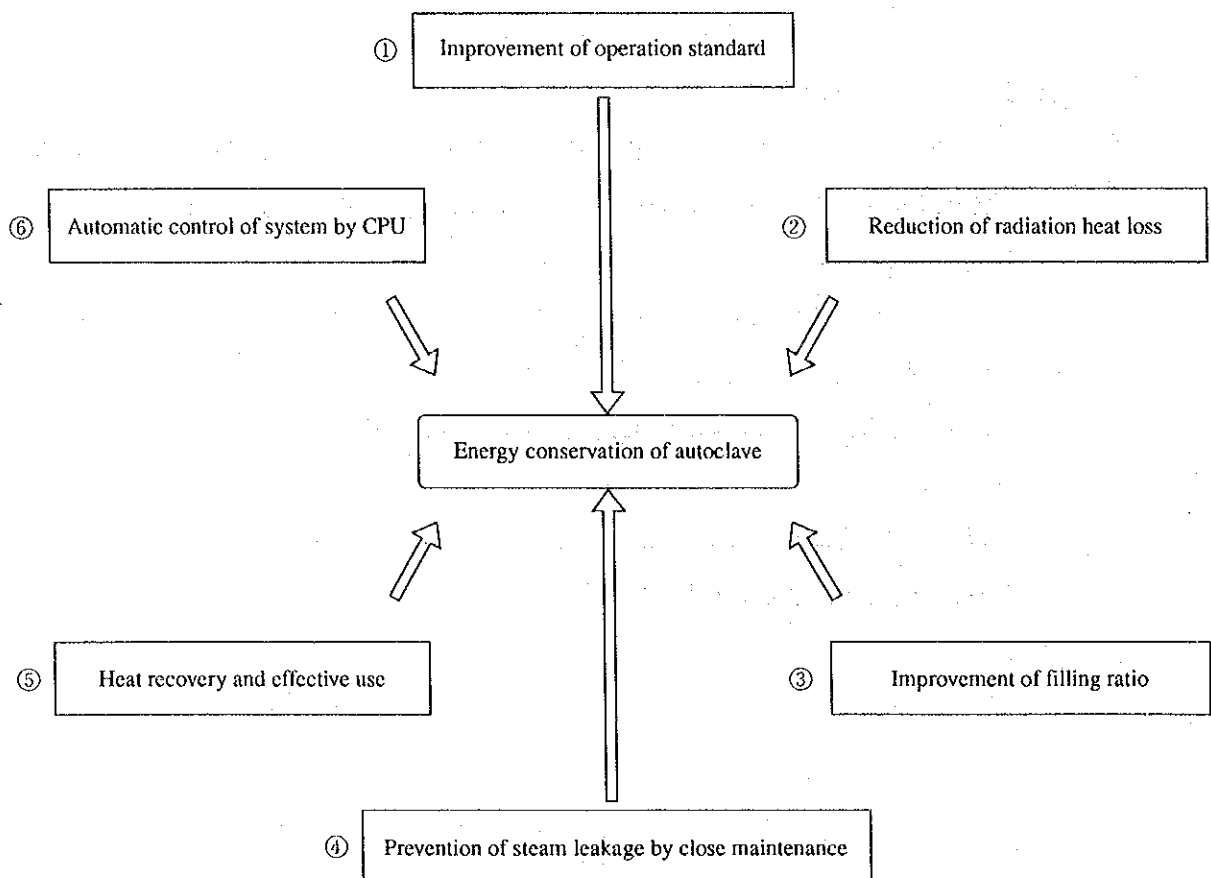
Figure 4.2.7 Outline of Autoclave



(2) オートクレーブの省エネルギーの考え方

オートクレーブの省エネルギーについての考え方の全容を Figure 4.2.8 に示す。

Figure 4.2.8 General Items of Energy Conservation of Autoclave



(3) 操業基準の見直し

長年守られてきた操業上の各種基準値を省エネルギーの観点から総合的に見直し、各種のテストを行いデータを採取しベストの操業基準を確立する。

a. 製品品質標準の設定

b. 原料種類の選択、粒度、配合割合の見直し

c. 作業行程

材料装入——扉閉塞——空気抜き*——蒸気注入——昇温——養生
——蒸気を他缶に移す——蒸気放出——扉開放——製品搬出

* 空気抜き：真空ポンプで 150mmHg の真空にする。

(理 由) 加熱水蒸気中に空気その他の不活性ガスが含まれている場合
加熱室にガスが蓄積し伝熱が阻害され、水蒸気分圧の低下に
よって加熱温度が低下する。

d. オートクレーブ操業基礎データの測定、採取 (参考 : Figure 4.2.9)

1) 保持圧力と保持時間の関係

2) 飽和蒸気圧力とエンタルピの関係

3) 昇圧時間と蒸気量

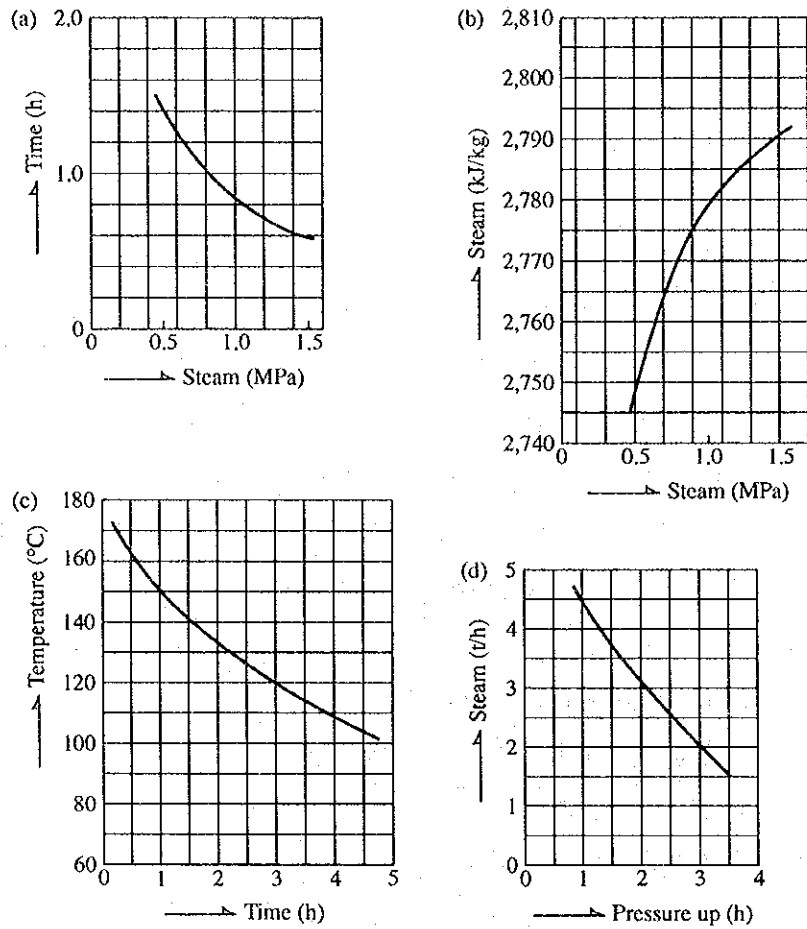
4) 蒸気停止後の温度降下と時間

e. オートクレーブ反応温度、時間の見直し

蒸気潜熱利用のため、蒸気圧力を低くすることが省エネルギーになるが、
前項の保持圧力と保持時間の関係と設備能力の関係から検討し、生産量の変動に
応じた最適な基準を作成する。

設備能力に余裕がある場合は、蒸気圧力を低下させ、保持時間 (硬化時間)
を延長することは省エネルギー上有効である。

Figure 4.2.9 Basic Data of Autocalve Operation (Example)



(4) 放熱の減少

オートクレーブ本体の断熱、屋外部の防水、扉の断熱、蒸気配管の断熱、バルブの断熱等により放熱を抑制する。

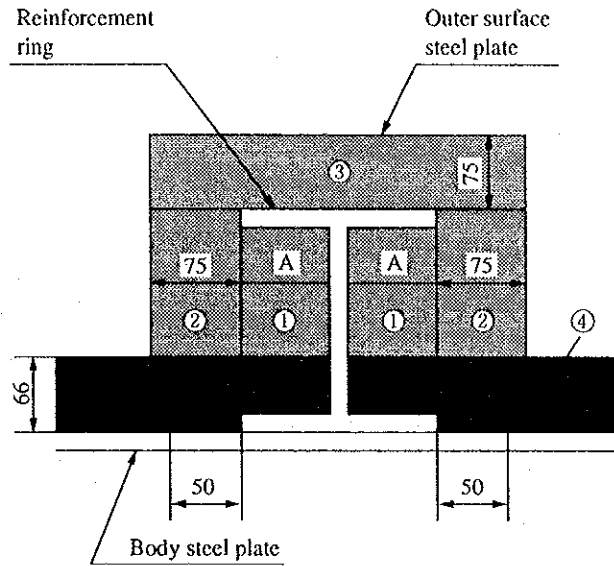
本体胴部および補強リング部の保温について1例としてTable 4.2.1、Figure 4.2.10に示す。

Table 4.2.1 Specification of Insulation

Materials	Thickness
① Glass wool 24 kg/m ³	A
② Glass wool 24 kg/m ³	75 mm
③ Glass wool 24 kg/m ³	75 mm
④ Calcium silicate 150 kg/m ³	65 mm

Outer surface steel plate thickness: 0.4 mm

Figure 4.2.10 Section of Insulation



次にオートクレーブ本体の断熱計算の例を示す。

オートクレーブ外径 : $d_2=3.0\text{m}$ 、缶内温度 : $t_1=180^\circ\text{C}$ 、外気温度 : $t_2=15^\circ\text{C}$ とする。

(例-1)

保温材 : グラスウール 100mm、本体胴部からの放熱を Q_1 とすると

$$Q_1 = \frac{2\pi(t_1 - t_2)}{\frac{2}{d_1 h} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_1}{d_2}}$$

$$= \frac{2\pi(180 - 15)}{\frac{2}{3.2 \times 10} + \frac{1}{0.042} \ln \frac{3.2}{3.0}} = \frac{1,036.7}{1.6} = \underline{648 \text{kcal/m} \cdot \text{h}}$$

但し $\left\{ \begin{array}{l} d_1 : \text{缶の外径 (m)} \\ h : \text{保温表面からの熱伝達率} = 10 \text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \\ \lambda : \text{保温材の熱伝導率} = 0.042 \text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \end{array} \right\}$

(例-2)

保温材 : 珪酸カルシウム保温材 65mm、本体胴部からの放熱を Q_2 とすると

$$Q_2 = \frac{2\pi (180-15)}{\frac{2}{3.13 \times 10} + \frac{1}{0.042} \text{Ln} \frac{3.13}{3.0}} = 1,036.7 = \underline{965 \text{kcal/m} \cdot \text{h}}$$

但し { 珪酸カルシウム保温材 $\lambda : 0.042 \text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$ }

(5) 充填率の改善

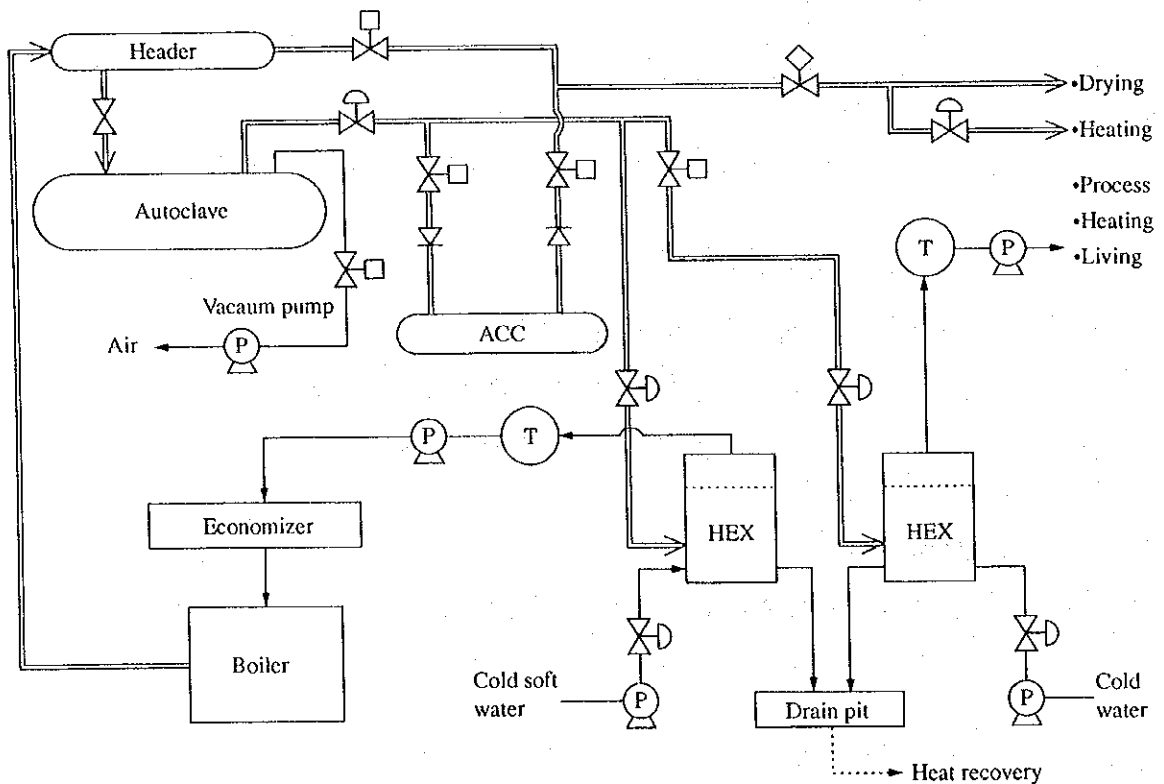
搬出入台車の工夫により、オートクレーブ充填率を向上させる。

(6) きめ細かいメンテナンスによりオートクレーブ本体および蒸気ヘッダー、蒸気配管ジョイント、バルブからの蒸気漏れを点検、補修する。

(7) 熱回収と有効利用

- a. オートクレーブ保持工程、余剰蒸気の回収。(参考 : Figure 4.2.11)
- b. オートクレーブ減圧工程、排蒸気の回収。(参考 : Figure 4.2.11)
- c. オートクレーブドレンの回収。(参考 : Figure 4.2.11)

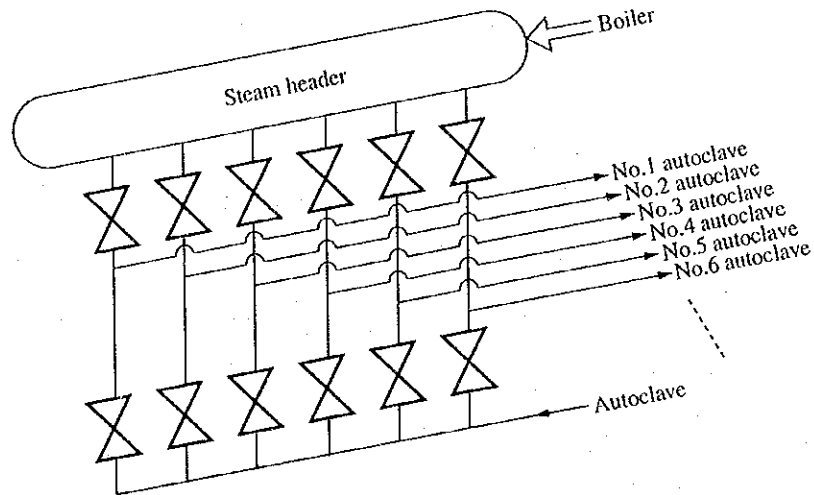
Figure 4.2.11 Flow Chart of Heat Recovery (Example)



d. 減圧工程の排蒸気を次のオートクレーブの予熱に利用

次にオートクレーブ 6 基の切替バルブの配置を Figure 4.2.12 に示す。

Figure 4.2.12 Steam Valve Station of Autoclave



(8) 計測装置の整備およびコンピュータによる自動制御

- a. 温度、圧力記録計の設置によりオートクレーブの操業状態を科学的に把握する。
- b. 需要変動に対応して最適のオートクレーブ操業条件をシミュレーションする。
- c. オートクレーブ蒸気圧力のプログラムコントロールにより無駄な蒸気を削減する。
- d. 各オートクレーブの運転制御、切替の自動化による迅速化により蒸気ロスが削減できる。
- e. 各オートクレーブの運転制御に伴う蒸気量の変動を予測しボイラ発生蒸気のバランスをとる。
- f. ボイラ用水の予熱、温水、雑用蒸気の配分を自動化することにより効率的に運用できる。

(9) コージェネレーションシステム導入による工場全体のエネルギー利用の効率化

第 5 章の事例参照。

4.2.4. オートクレーブ養生工程の改善による省エネルギー事例

(1) まえがき

a. 生產品目 : 軽量気泡コンクリート製品 (ALC)

代表製品 : 一般パネル、耐水パネル、型パネル、異形断面パネル、
意匠パネル、L型・R型パネル

b. 従業員数 : 210人

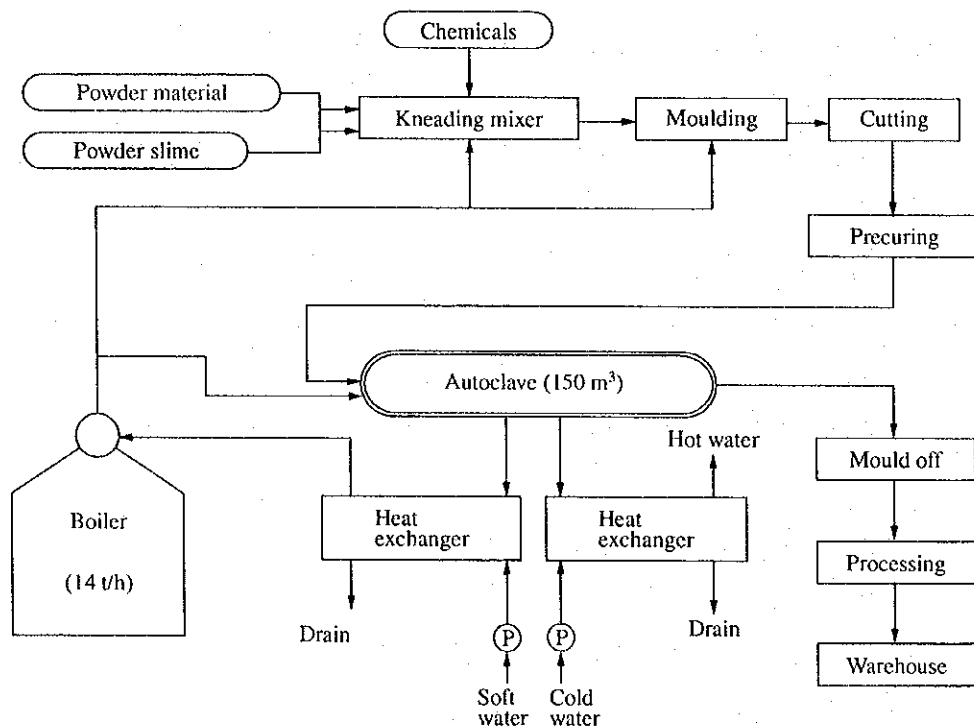
c. 年間エネルギー消費量

: 灯油 3,131kL、電力 5,780MWh

d. 製造工程 : Figure 4.2.13 に示す。

本工場は軽量気泡コンクリート (ALC=Autoclave light weight concrete) を製造している。

Figure 4.2.13 Outline of Production Process



(2) 現状の把握と分析

a. オートクレーブの養生工程

オートクレーブは、生の状態の ACL を高温高圧蒸気で養生するために使われており、定められたプログラムによって圧力制御を行っている。

ボイラからの高圧蒸気は、オートクレーブ 1 サイクル (1 バッチ) 当り約 11.3t 消費されるが、その工程は Figure 4.2.14 の如くである。

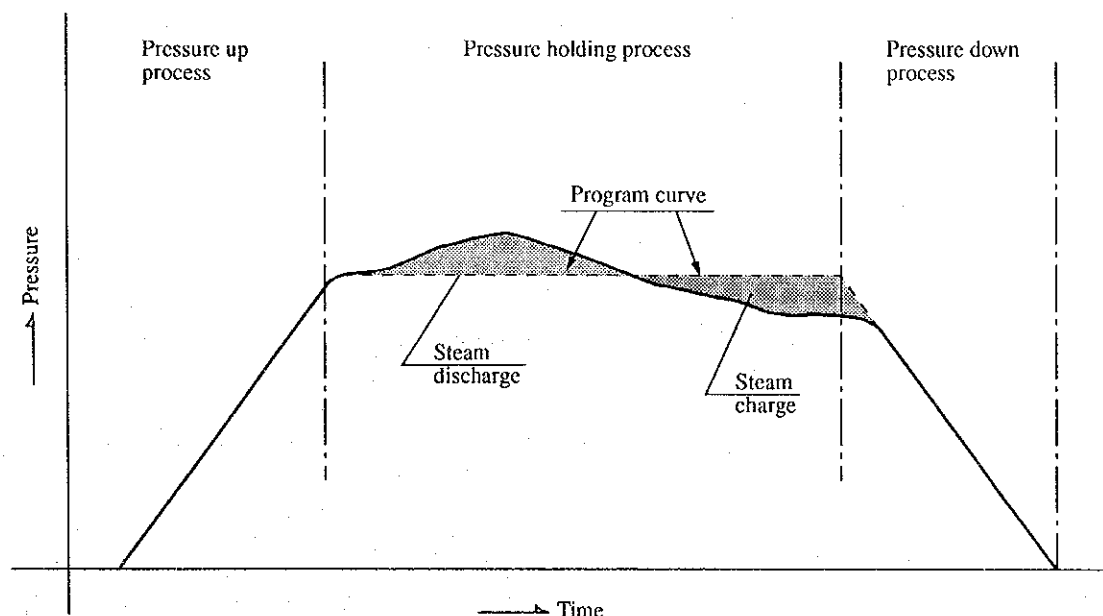
b. 養生工程中の蒸気使用状況

Figure 4.2.14 の養生工程中で使用する蒸気は、昇圧工程におけるものが大部分で、保持工程の後半に 1 部使用している。Figure 4.2.14 保持工程の前半は、オートクレーブ内の ALC が製品となるために化学反応を起し発熱する。この発熱のためオートクレーブ内の圧力が上昇してくるので、Figure 4.2.14 のプログラム曲線を維持するため、上昇分の蒸気は放出している。

やがて保持工程後半になると、発熱もなくなり、圧力が低下し始めるので、蒸気の補充が必要になってくる。

保持工程中、このような圧力の上昇下降を Figure 4.2.14 のプログラム曲線を保つため自動制御を行っている。

Figure 4.2.14 Discharge Steam and Charge Steam in Hardening Process of Autoclave

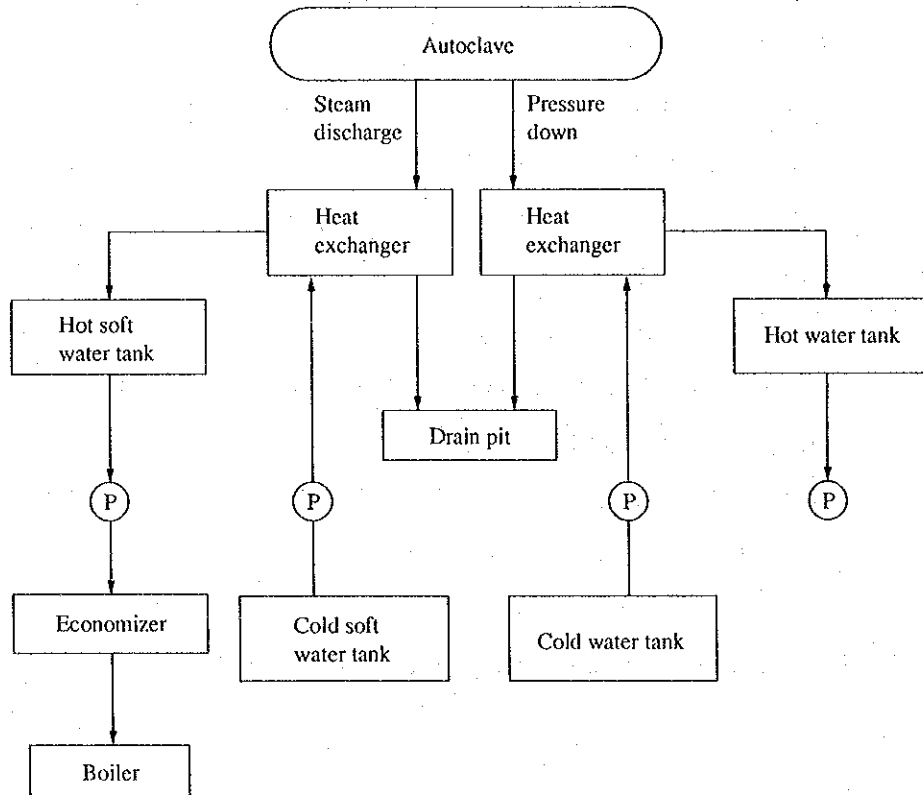


c. 排蒸気と熱回収

保持工程中に放出している蒸気は、熱交換器を通してボイラ給水を昇温し、熱を回収している。(Figure 4.2.15)

また、減圧工程の排蒸気も別の熱交換器で温水にし、回収している。

Figure 4.2.15 Heat Recovery of Exhaust Steam



(3) 活動の内容

a. 目標の設定

保持工程後半に、補充している蒸気の削減

b. 問題点とその対策

- 1) 保持工程後半に必要な蒸気を、補充しない場合の圧力降下をどのようにしてカバーするか。
- 2) 圧力降下の限界は、どこまで許されるか。
- 3) 保持工程中の圧力変化は、製品の品質にどのような影響を与えるか。

以上の3点を大きな問題として掲げ、テストを行い対策とした。

1) について、保持工程前半において放出していた蒸気を閉じ込め、圧力が上昇してもそのまま蒸込状態とし、後半の圧力降下を押えた。

2) について、テストの結果後半においても基準圧力より殆ど降下しないので解決した。

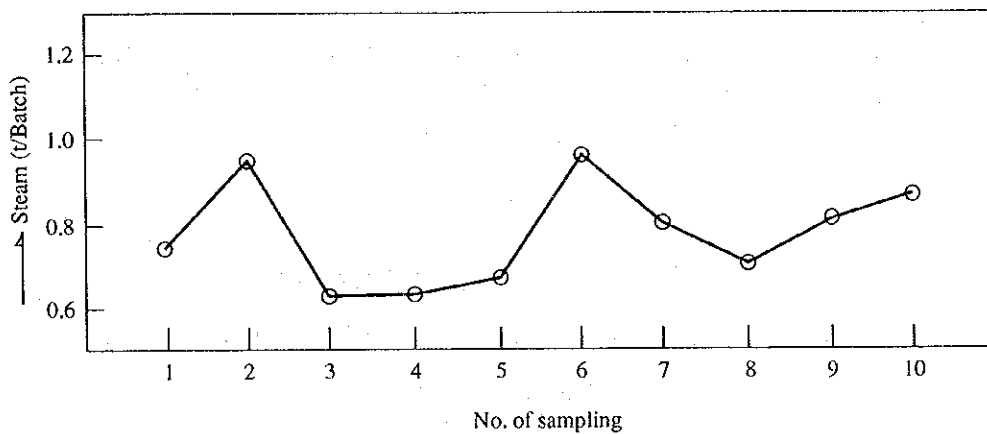
3) について、製造課、技術課に協力を得、テスト毎に品質管理データを取り、全く影響の無いことを確認した。

以上のテストと並行して、保持工程後半における補充蒸気量の測定を行った。

(Figure 4.2.16)

同時にボイラ給水の昇温に使用していた保持工程前半の放出蒸気が無くなったので減圧時の排蒸気を利用することで解決した。

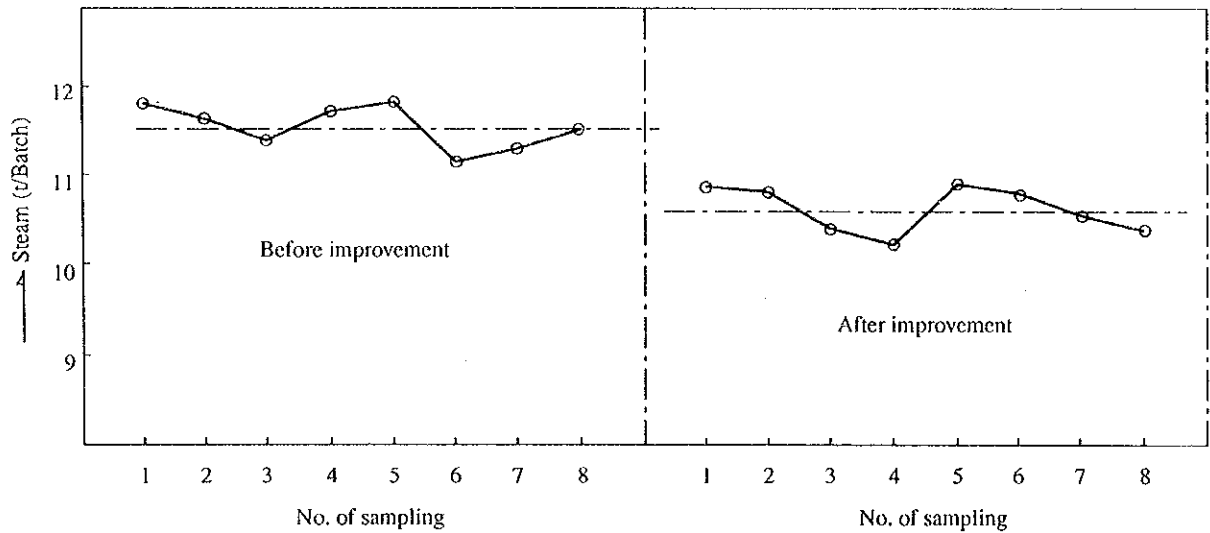
Figure 4.2.16 Measuring Data of Charged Steam Consumption



(4) 対策後の効果

種々のテストの結果、製品に悪影響もなく、十分に効果があると判断し実操業に移行した。設備の改善等費用は殆どかからず、効果は Figure 4.2.17 に示すとおり、1 オートクレーブ当り平均約 900kg の蒸気が減った。比率にして約 7.9%、燃料に換算すると年間約 250kL の灯油節減となった。

Figure 4.2.17 Comparison between before and after Improvement of Hardening Process in Autoclave



4.2.5. 排気再燃型コージェネレーションシステム導入による省エネルギー事例

(1) まえがき

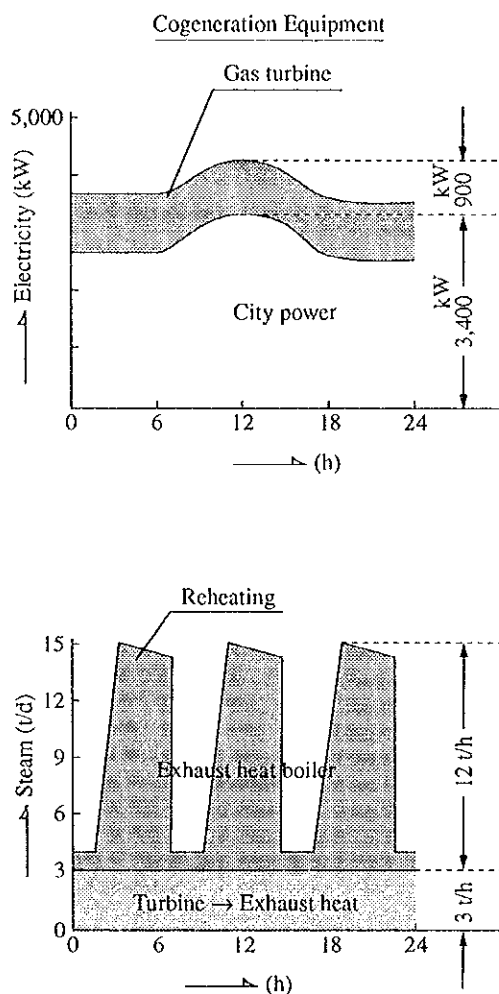
- a. 生産品目 : 外壁建材 (セメント、珪酸質水和物)
- b. 生産設備 : 原板の製造、加工、塗装、梱包、出荷の一貫ラインとして2工場を集約し新工場とした。
- c. エネルギー設備容量
: 蒸気 15t/h、電力 4,300kW
- d. 敷地面積 : 480m²

(2) 新工場の電力蒸気量の予測

工場の総合による電力および蒸気量の大幅な増加に対して、排気再燃型コージェネレーションシステムの導入を行った。

Figure 4.2.18 に新工場の電力と蒸気量の消費パターン予測を示す。

Figure 4.2.18 Prediction of Power and Steam Demand



(3) コージェネレーションシステムの概要

ガスタービンによるコージェネレーションの方式にはその排熱利用形態によりシンプルサイクル、コンバインドサイクル排気再燃サイクル、チェインサイクルの4方式に大別されるが、本例で採用した方式は排気再燃方式である。この方式はガスタービンの排気ガスを追焚することによって排熱ボイラから多量の蒸気を取出すことができる。また、排熱ボイラは単独運転と追焚運転の両方が可能な排気再燃バーナの採用によってコージェネレーションシステム利用可能蒸気量の大幅増大と総合効率の向上が実現できる。

コージェネレーションシステムのフローを Figure 4.2.19 に示す。

主要機器の仕様を Table 4.2.2 に示す。

Figure 4.2.19 Gas Cogeneration System for Building Material Production

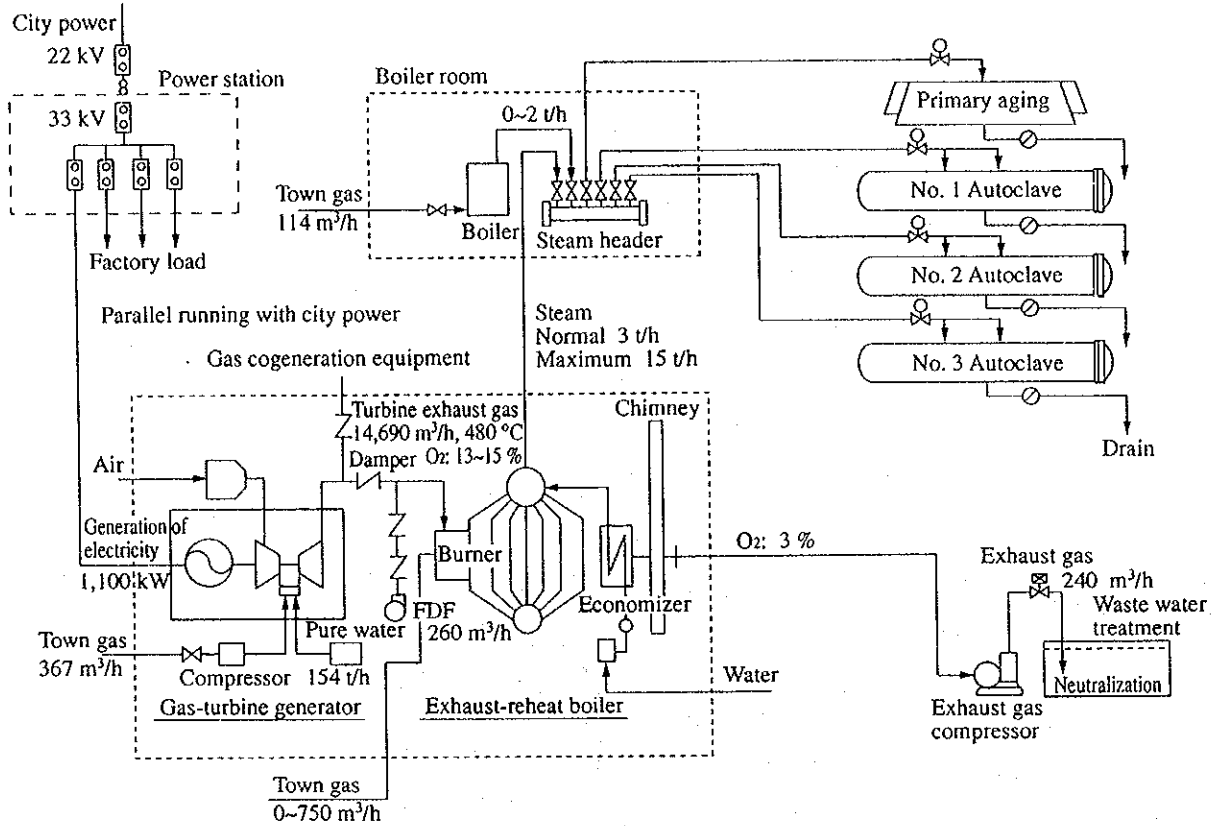


Table 4.2.2 Specification of Principal Machines

Name	Piece	Specification
Gas turbine	1	Simple open cycle 2-axis type Compressor section: Axial flow part: 3-stage, centrifugal part: 1-stage Combustor: Annular type Turbine main shaft: 22,850 r.p.m.
Generator	1	3-phase AC synchronous power generator Capacity: 1,389 kVA Rated power: 3,300 V, 1,100 kW, 1,800 r.p.m.
Gas compressor	1	Motor drive: Screw type Capacity: 400 m ³ _N /h, 75 kW Pressure: Suction: 1.3 kg/cm ² -G, Delivery: 15.0 kg/cm ² -G
Exhaust-reheat boiler	1	Natural-circulation water-tube type Exhaust-reheat boiler Capacity: 150 t/h, Pressure: 9 kg/cm ² -G Temperature (saturated): 179 °C Exhaust gas flow volume: 14,690 m ³ _N /h

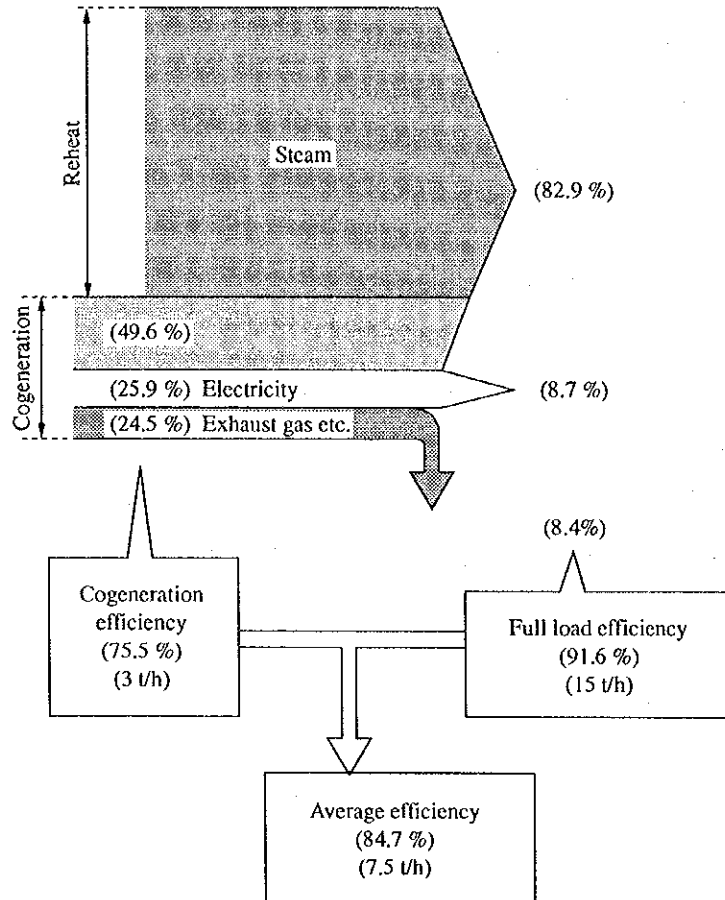
当システムの概要は次のとおりである。

- a. ガスタービンにより発電機を駆動して 3,300V、1,100kW の発電を行い、常時商用系統 (受電) との並列運転を行う。
- b. 発電電力は工場電力として使用し、商用系統への逆潮防止を行う。
- c. ガスタービン排ガスは排気再燃ボイラに導き、常時 3t/h の蒸気を発生させるが、追焚することによって最大 15t/h の蒸気を発生させる事が可能である。(急激な負荷変動にも追従できる。)
- d. ガスタービン停止時でも排気再燃ボイラ単独でガスを燃料として 15t/h の蒸気を発生させることが可能である。(FDF 押込通風ファンに切替。)
- e. 発生蒸気はスチームエッダーを通じて次養生とオートクレーブ養生に用いる。
- f. タービン燃焼器に水噴霧を行い、ガスタービン排ガス中の NO_x を低減させる。
- g. 煙突から出る CO_2 はパイプラインを通じて排水処理施設に導入し、製造工程排水の Ca (カルシウム) 除去のために活用する。

(4) 総合エネルギー効率

本システムのエネルギー効率を Figure 4.2.20 に示す。

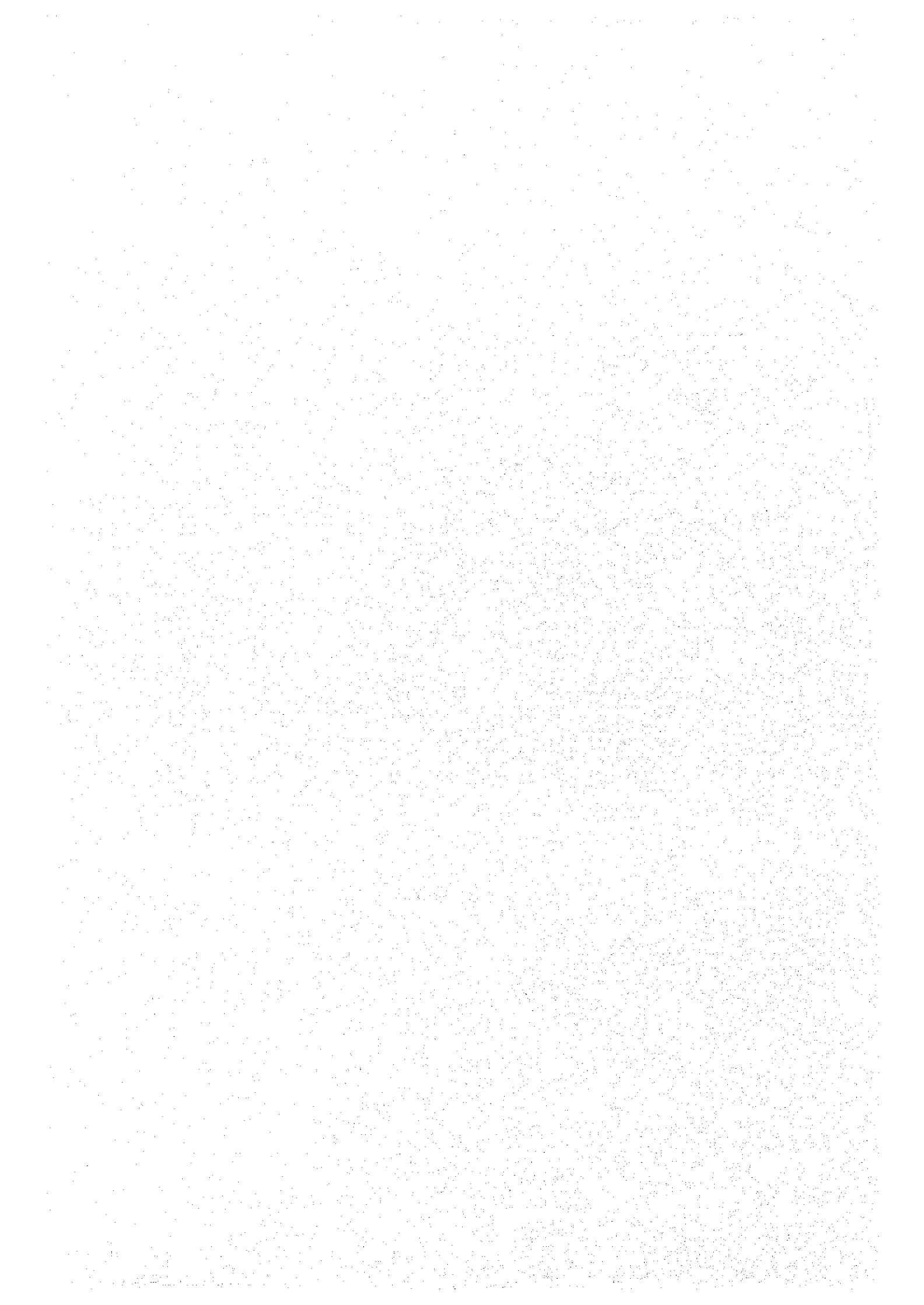
Figure 4.2.20 Energy Efficiency of This System



上図に示した如く、平均効率でも 84.7%という極めて高い効率が得られている。ガスコージェネレーションシステムは発生する電力に比して熱エネルギーの割合が大きいため、如何に熱エネルギーを有効に利用できるシステムを構築するかが経済性を高める大きなポイントである。

本システムの熱ロス追焚がない場合で 24.5%、追焚フル負荷時で 8.4%あるので、この排熱を更に風呂、給湯、冷暖房、製造工程プロセス加熱等に利用すれば更に効率を上げることが可能である。

5. 食品加工業の省エネルギー



5. 食品工業の省エネルギー

5.1 食用油工業の省エネルギー

5.1.1 製造工程

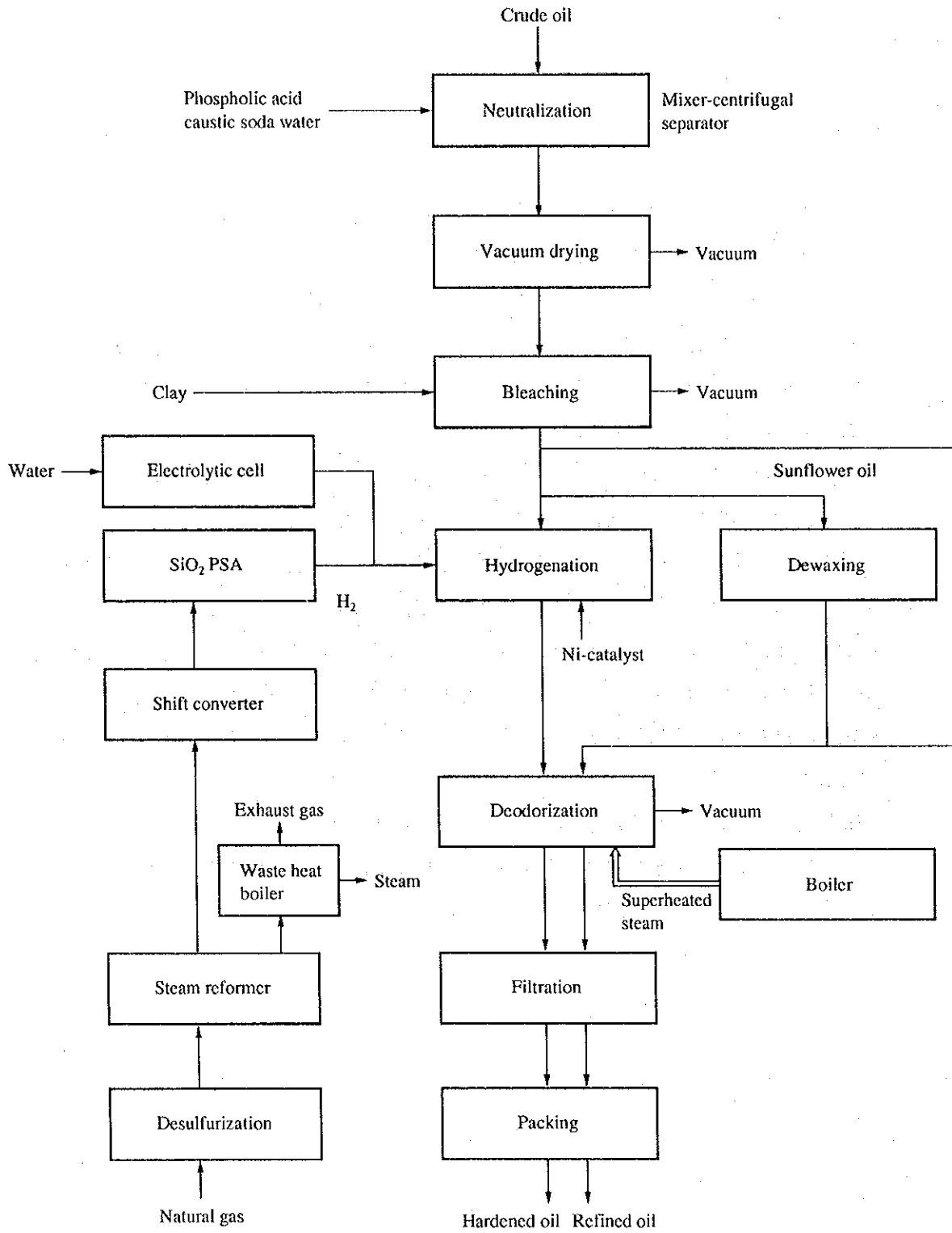
食用油は植物から採取された「植物油」と動物から採取された「動物油」に大別できる。今回の調査対象となった工場は植物油の精製工場である。現在食用油の原料となる種子は、世界的にみると大豆、菜種、ヒマワリ、パームなどが多く使われている。ヒマワリの種子には油分が 40～45 % 含まれており、特にリノール酸やオレイン酸を多く含んでいる。ヒマワリは旧ソ連、オーストラリア、東欧諸国、米国で生産されている。植物油脂の採油は、一部で圧搾法が採用されている以外は油分

20 % 程度以下のものは直接ヘキサンで抽出し (抽出法)、油分の多いものはまず圧搾法でしぼり、油分の少なくなったものを抽出にかける (圧搾法) のが普通である。

圧搾や抽出によって得られる油は多くの不純物を含んでいるために、そのままでは食用に適さない。したがって精製工程において遊離脂肪酸や色素・ロウ分・臭気成分など様々な不純物を除去したのちに充填される。Figure 5.1.1 にヒマワリ油の製造工程を示す。植物油脂の製造工場では副産物として脱脂粕が発生し、その量は油の発生量よりむしろ多い。脱脂粕は飼料のタンパク供給源として多用されており、良質の脱脂粕を製造することが工場に要求される。

製造工程は、原料や要求される油や粕の品質・技術水準・方式の違いなどにより多少の違いがみられるが、大別して原料から油脂を取り出す採油工程と、取り出された原油を食用に適するように仕立て上げる精製工程から成る。

Figure 5.1.1 Process Flow for Oil Refining



(1) 採油工程

a. 前処理

原料から夾雑物などを除去したあと加熱する。この加熱は細胞壁の蛋白質を凝固させることなどにより、抽出溶剤のとおりを円滑にし、また、原料の組織を強固に、壊れにくくして作業性や、油の搾油率を高め、品質の良い原油を得るために重要である。

b. 圧搾

古くから行われ、現在も油分を多く含む菜種、サフラワー、ゴマなどの原料に採用されている方法であり、物理的に高圧をかけることにより油を採り出す。一般的には、エキスペラーと呼ばれる連続搾油機を用い、原料が持つ油分のおよそ3分の1から4分の1を搾り採る。

c. 抽出

油分の比較的少ない大豆などの場合には、圧搾では油が得られないので、まず扁平に押しつぶし表面積を拡大し、溶剤ヘキサンを用いて効率的に油分を溶かし出す方法が用いられる。圧扁された原料の移送方向に逆行してヘキサンが動くように作られた抽出機(向流抽出)の中で原料がヘキサンに浸漬され、1~2時間の間に残油分を1%以下程度に減少させる。大型のものでは、その能力が1,500~2,000 t/d程度のものが標準である。油分を抽出し終えたヘキサン溶液はミセラと呼ばれ、油分25~30%を含む。ミセラはまず蒸留器で濃縮され、次にストリップ(減圧下で水蒸気を吹き込む)でほぼ完全にヘキサンを除去し原油が得られる。ヘキサンは回収され再使用される。

d. 圧抽法

前述した圧搾では残油分が10~20%あり、この残りを回収するために抽出も行うことで、圧搾および抽出を略して圧抽と呼ぶ。

(2) 精製工程

原油は特有の臭気成分のほかに、リン脂質、遊離脂肪酸、微量金属、色素などを含むため、そのままでは食用に適さない。したがって、トコフェロールなどの有用成分を極力残しつつ、これら不要成分を除くのが精製である。

a. 脱ガム

原油中に含まれるもののうち、リン脂質には有用な用途があり、また、油にリン脂質が残存すると加熱したときに、着色したり、泡立ったりする。このため、リン脂質を除去する必要がある、まずこれを除去し、別途リン脂質からレシチンを回収する。

この主としてリン脂質を除去する工程を脱ガムといい、原油に温湯または水蒸気を加えてリン脂質を水和させ、遠心分離器にかけてガム質と油を分離させる。大豆油のリン脂質（レシチンなど）含量は、2~3% であるが、脱ガム工程を経たものは 0.5% 以下程度となる。

b. 脱酸

油中に存在する遊離脂肪酸 (Free Fatty Acid, FFA) の除去を主な目的とする。FFA の量は一般に酸価 (Acid Value, AV) として表現される。その大小は原料種子の良否、搾油方法の適否などを判断する指標となる。また、脱ガム工程で除去出来なかった油溶性リン脂質や蛋白質・色素・水分なども本脱酸工程で除かれる。FFA は脱臭工程でも除去可能である。FFA の量は次式により表される。

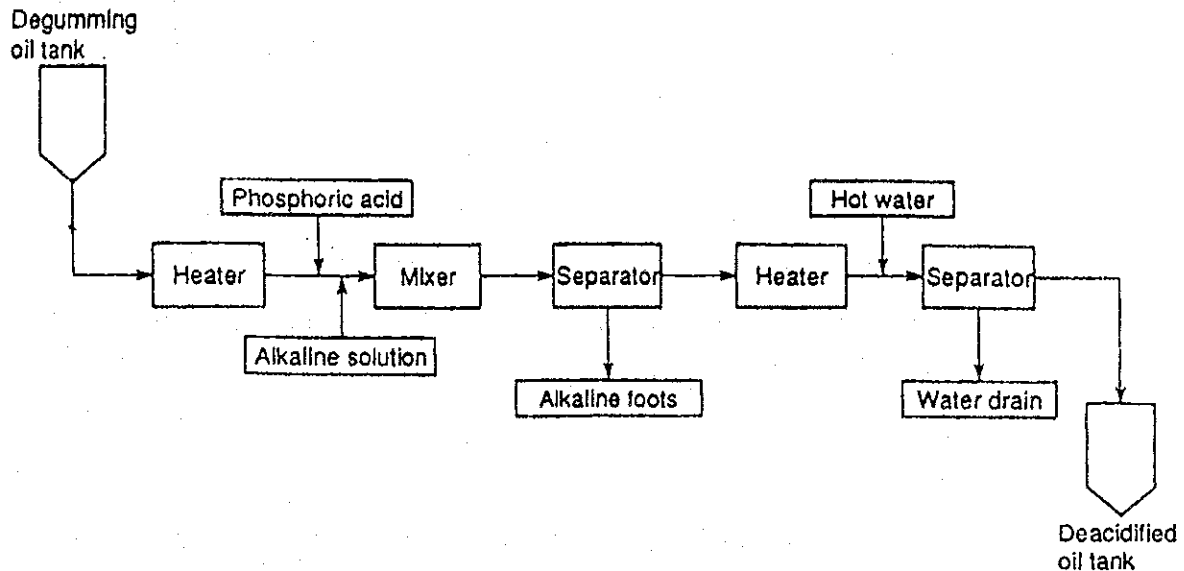
$$\text{FFA} (\%) = \text{AV} / 2$$

脱酸の代表的な方法は、アルカリ水溶液を油脂とよく混合・接触させ、FFA をアルカリフーツ (石鹼油滓) の形で油脂分と分離するアルカリ脱酸法である。アルカリ脱酸には、一般的には 10~24° Be (6.55~17.7%) の苛性ソーダ水溶液が用いられる。

綿実油のバッチ式脱酸の例を紹介する。脱ガム油を 50 °C に加熱し、18° Be (12%) の苛性ソーダ水溶液を中和当量の 100% 過剰に添加し、20~30 分攪拌する。フレークが起り始めると攪拌を止め、油に対して 10% の水を 50 °C に予熱して加え、約 1 時間静置する。下層のアルカリフーツを抜き取ったのち、0.4% 濃度のアルカリ水溶液を油に対して 10% 加えて、100 °C で洗浄する。下層を抜き取ってからもう一度 95 °C のアルカリ水で洗浄して、最後に油に対して 8~10% の沸騰水で 2~3 回洗浄する。全工程に 10~12 時間を要する。バッチ式の脱酸方法では、アルカリ水溶液と油脂の接触時間は 10~60 分、アルカリフーツの分離のための静置が 1~10 時間必要である。しかも、沈降したアルカリフーツの中には中性油が多く含まれており、精製ロスが大きい。処理時間を短縮し、遠心分離機によるアルカリフーツの分離を行うことにより、中性油ロスを防ぐ方法が連続脱酸法である。

連続脱酸方式の代表例として、Alfa-Laval 社のショートミックス法の例を紹介する。アルカリ水溶液には、苛性ソーダ水溶液が用いられる。フローシートを Figure 5.1.2 に示す。

Figure 5.1.2 Continuous Neutralization Process



アルカリ水溶液の使用量は次式で表される。

$$\text{アルカリ水使用量(\%)} = \frac{\text{FFA(\%)} \times \text{Factor} \times \text{Excess}}{\text{アルカリ水溶液の濃度(\%)}} \times 100$$

ファクタは次式で計算する。

$$\begin{aligned} \text{ファクタ} &= \text{苛性ソーダ分子量} / \text{オレイン酸分子量} \\ &= 40 / 282 \\ &= 0.142 \end{aligned}$$

Excess (過剰量) は大豆の場合で 0.1 ~ 0.13% が普通用いられる。

あらかじめ 75~82 °C に加熱された脱ガム油に約 0.1% のリン酸を加え、その混合油に所定量のアルカリ水溶液を加えてラインミキサかパドルミキサ中でよく混合接触させる。この短時間 (2~3hr) の接触中に油溶性リン脂質の水和、FFA の中和、着色成分との反応が行われる。生成したアルカリフーツを密閉式の回転ディスク型遠心分離機 (6,000 rpm) を用いて中性油と分離する。遠心分離機の油の出口の背圧を調節して遠心分離機内の重液、軽液の分離ゾーンを移動する。

背圧を高くし差圧を小さくすると油中に残留する石鹼分は少なくなるが、アルカリフーツ中に包みこまれる中性油の量が増加し、脱酸ロスが大きくなる。逆に背圧を低くすると脱酸ロスは小さくなるが、油中に残留する石鹼分が増加する。ふつう脱酸油中の石鹼分が 300 ppm 以下になるように調整する。精製ロス (1~2 %) の内脱酸ロスの占める割合が 65 % で最も大きい。脱酸された油は洗浄工程へ送られる。熱交換器により 90 °C 前後まで加熱し、95 °C の熱水を 10 ~20 % 混合、接触させて遠心分離機により振り分けると、脱酸油中に残留する石鹼分の約 90 % は洗浄水側へ移行する。

脱酸工程による理論ロスをウェッソンロスと呼び、次式により表される。

$$\text{ウェッソンロス (\%)} = \text{AV/2} + \text{リン脂質 (\%)} + \text{水分 (\%)}$$

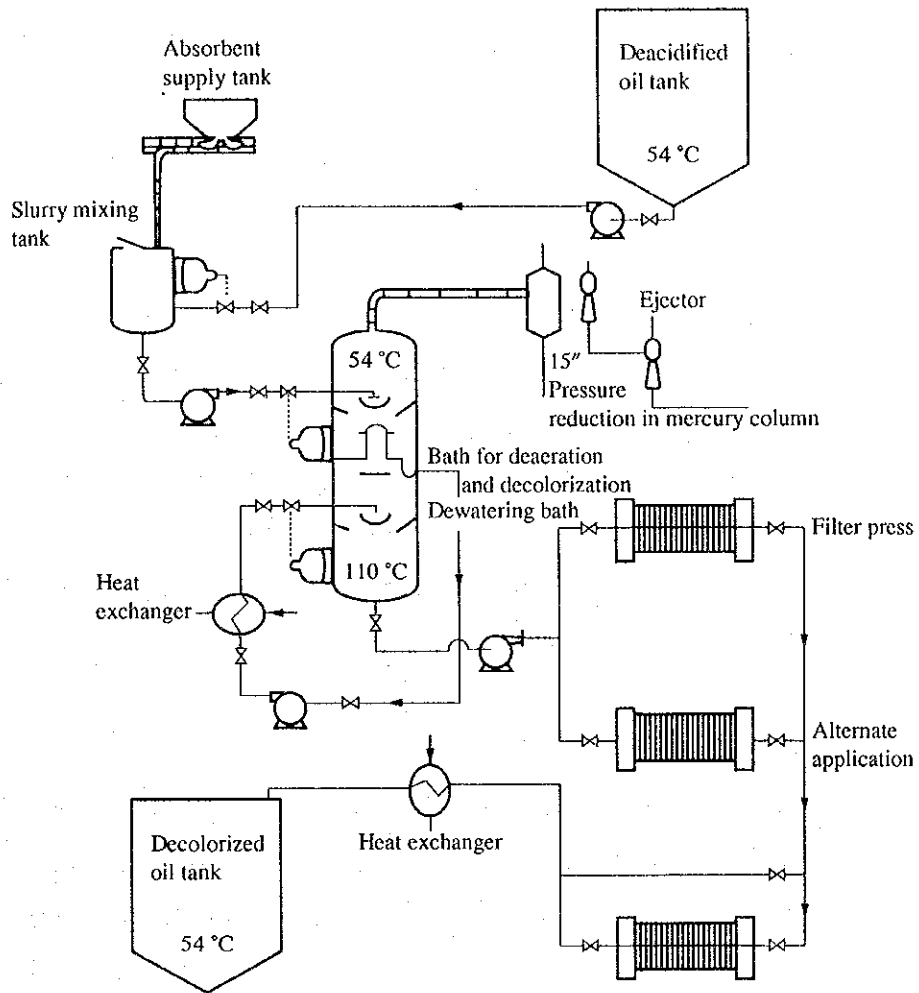
脱酸工程において理想的に FFA ・リン脂質 ・水分が除去できれば脱酸ロスとウェッソンロスは等しくなる。

c. 脱色

常圧下での脱色作業では、油の酸化が促進され、活性白土の脱色効果も落ちるために、近年では減圧下で作業が行われている。また、なるべく空気との接触を避け、その操作を効率的に実施するために、連続式の減圧脱色方式が採用されていることが多い。

連続減圧脱色方式の例を紹介する。フローシートを Figure 5.1.3 に示す。

Figure 5.1.3 Continuous Vacuum Decolorization Process



54 °Cに予熱された脱酸油に 0.3~2.0 % の活性白土を加えてスラリーとし、380 Torr に減圧された脱色塔の上段の脱気槽に導入して、脱水、脱気を行う。次いで熱交換器によって加熱し、110 °C減圧で7 分間保持したのち、白土と分離する。濾過機としては一般にフィルタプレスのほか、密閉容器中に収納された水平あるいは垂直型の加圧式リーフフィルタが使用される。

油脂と分離された廃白土は廃棄処分されるが、この廃白土に吸着された油脂分を回収するために、ヘキサンのような溶剤を用いて溶出洗浄をすることもある。普通アルカリ脱酸後の油脂中には、10~100 ppm 程度の石鹼分が含まれており、加熱中に油脂の劣化を促進する。菜種油や未熟種子などに多く含まれているクロロフィルやフェオフィチンなどは、油脂の酸化促進作用を有し、その除去は油の品質安定に寄与する。しかし、一方で天然の抗酸化剤として機能するトコフェロール、カロチン、ホスファチドなども吸着によって除去される。

白土は、火山灰が長年の間に風化し、地熱によって熱化学的に反応してできたモンモリロナイト $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ を主成分とする鉱物で、Al イオンが水素で置換されているほど吸着力が増大する。水分が高過ぎても低過ぎても吸着効力が損なわれ、8~16% が適当であるとされている。

使用する活性白土の量は 0.3~2.0 % で、着色物質や酸化分解成分の含有量の多いもの程白土量を多く必要となる。

d. 脱ロウ

本工程を採用するときは、脱色後、脱臭前に行うのが通常である。マヨネーズを作り冷蔵保存するとき、油中に固体脂が含まれていると、マヨネーズのエマルジョンを破る（フリーズブレイクという）ので、この低温固化脂を除くのが本来の目的であったが、寒冷時、油がロウ分で濁るのを防ぐためにも行われるようになった。いずれの場合も、油を徐々に冷却し、低温で固まる成分を十分析出させたのちに、濾過により取り除くという方法をとる。

e. 水素添加（硬化）

マーガリン・ショートニングなどの固体脂を製造するには、固体脂を用いるか液体油を固めなければならないが、この固めるための方法である。

液体油（植物油、魚油）を構成する脂肪酸は不飽和、すなわち部分的に水素が欠如しているので、この部分に化学反応を起こして水素をはめ込むことを水素添加という。触媒として主に Ni を用い、水素を加え圧力、温度を与え、攪拌して反応を進めるが、この反応の度合いを適度にコントロールすれば求める固さの水添脂が得られることになる。

固さが与えられると同時に、より飽和に近くなるので、酸化に対しても当然強くなるのでこれを目的とする場合もある。

f. 脱臭

脱色、水素添加を終わった油はまだいろいろな有臭成分、その他の揮発性成分を含んでいるので、脱色油を 240℃ 以上の高い温度に保ち、真空下で水蒸気を吹き込んで、有臭成分などを水蒸気とともに蒸発させる。この工程を脱臭と呼んでいる。

油の酸化安定性を増すために、油が持っている天然抗酸化成分のトコフェロールを極力残しつつ、これと共働するクエン酸を少量加えて仕上げる。また、加

熱安定性、消泡性を与えるため、シリコーン樹脂を通常加える。

240 °C以上の高温に加熱するために、以前は熱媒体 (特にダウサム) を用いたが、微量でも製品に混入した場合健康上重大な影響を与えるので、現在では全て過熱蒸気などに切り替わっている。

真空の形成には、エゼクタ、ブースタなどスチーム噴流による方式が採用され、普通 6 Torr 以下の高真空が適用されている。

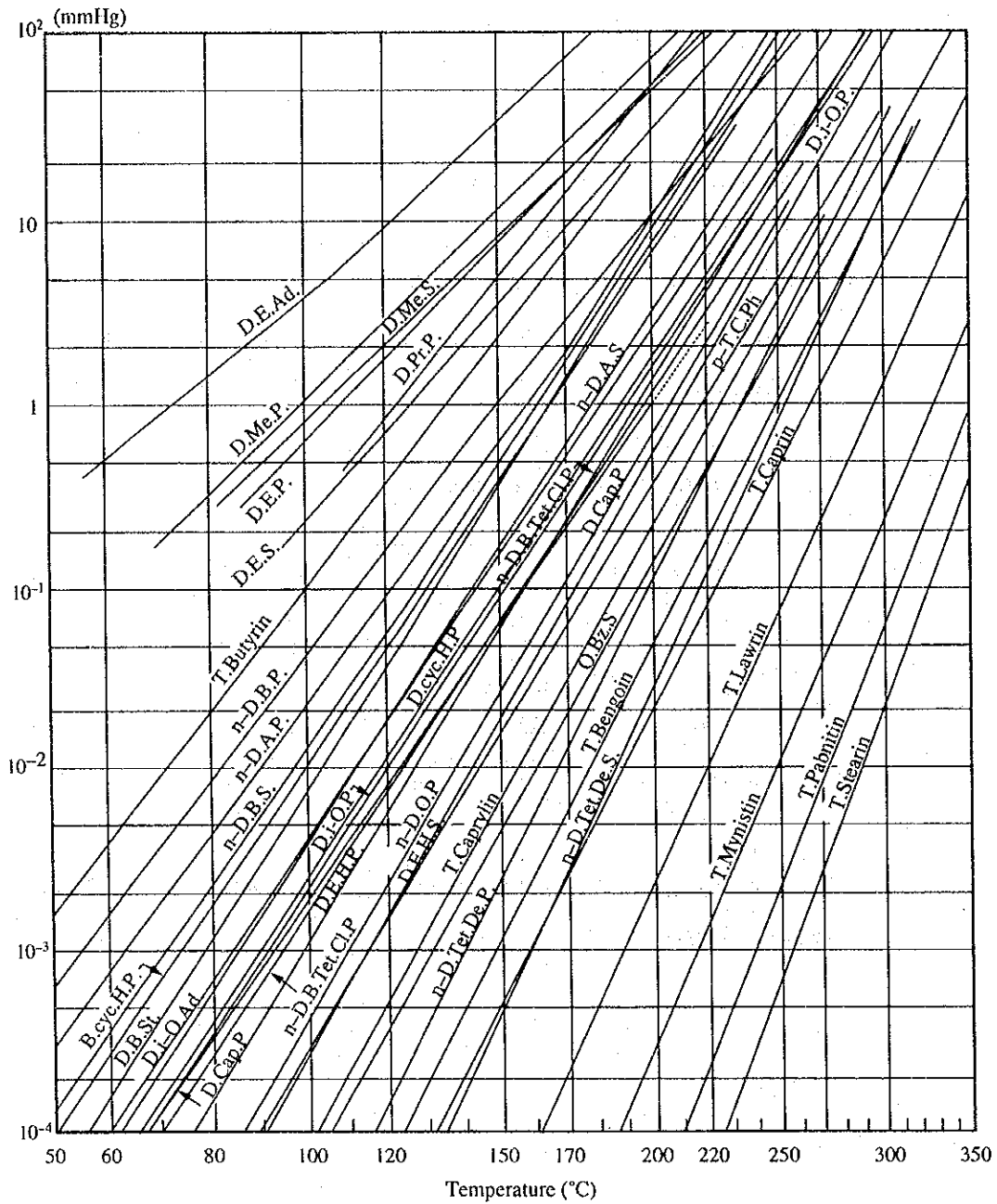
脱臭操作は高真空下、高温に加熱された油脂中にスチームを吹き込み、揮発成分を蒸留する水蒸気蒸留の原理によるものであり、吹き込みスチーム量にもよるが系の絶対圧が低い程、加熱温度も低くなる。Table 5.1.1 に油脂中に含まれる遊離脂肪酸の代表的成分であるパルミチン酸とオレイン酸の蒸気圧を示す。

Table 5.1.1 Vapor Pressure of Fatty Acid

mmHg	Palmitin acid (°C)	Oleic acid (°C)
1	153.6	176.5
5	188.1	208.5
10	205.8	223.0
20	223.8	240.0
40	244.4	257.2

また、Figure 5.1.4 にエステル類、Figure 5.1.5 に炭化水素、塩素化炭化水素、有機珪素化合物の蒸気圧線図を示す。

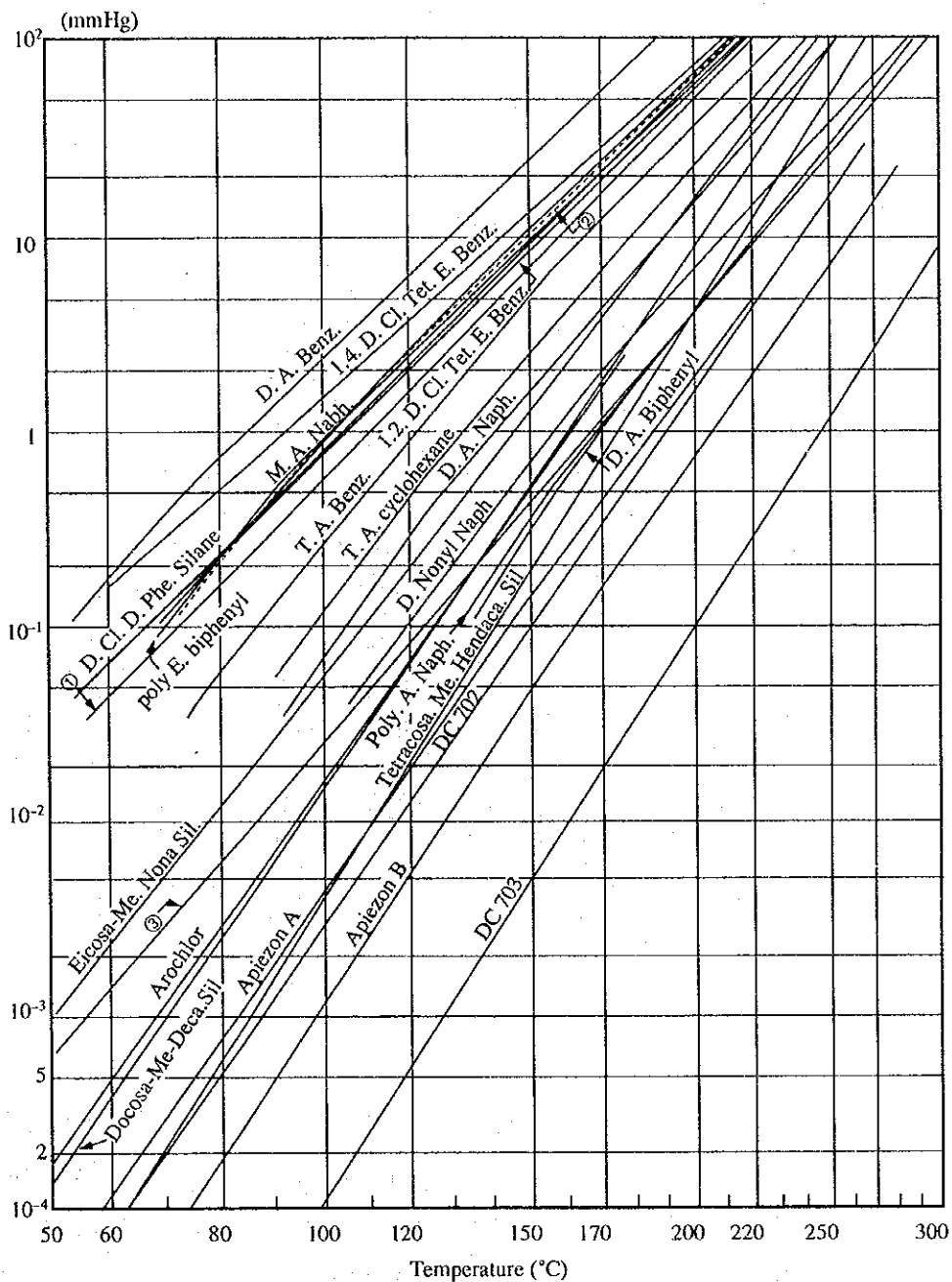
Figure 5.1.4 Vapor Pressure Curve of Organic Compounds (Esters)



Symbols:

A.	Amyl	D.	Di	P.	Phthalate
Ad.	Adipate	E.	Ethyl	Ph.	Phosphate
B.	Butyl	H.	Hexyl	S.	Sebacate
Bg.	Benzyl	i-	iso-	St.	Stearate
C.	Cresyl	Mc.	Methyl	T.	Tri
Cap.	Capryl	n-	normal	Tet.	Tetra
cyc.	cyclo	O.	Octyl		

Figure 5.1.5 Vapor Pressure Curve of Organic Compounds
(Hydrocarbon, chlorinated hydrocarbon and organic silicon compounds)



A.	Amyl	E.	Ethyl
Benz.	Benzene	Naph.	Naphthalene
Cl.	Chloro	Sil.	Siloxane
D.	Di	T	Tri
M.	Mono	Phe	Phenyl

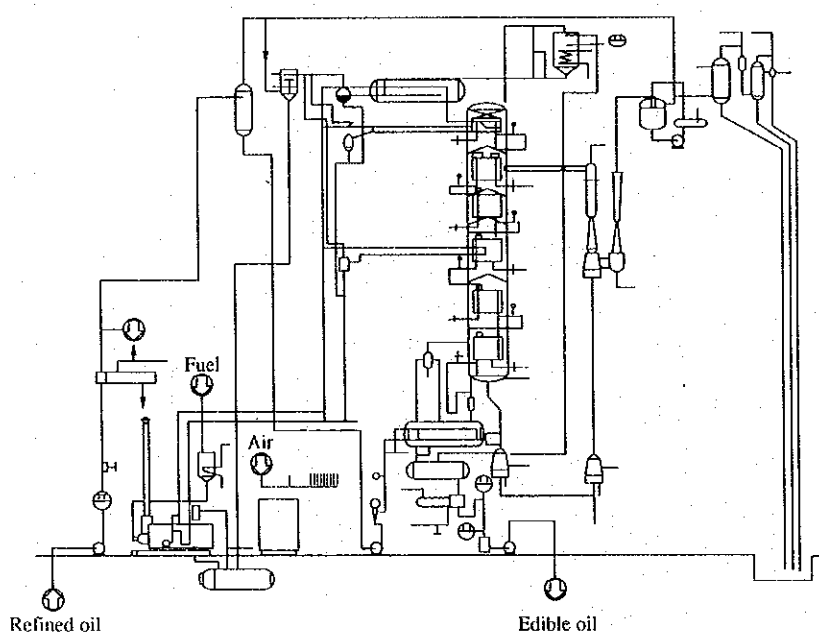
⊙ Chlor. Me. D. phe. Silane Broken line: Dodecyl Benz.
 ⊕ D. Phe. Silicon D. isothio cyanate

吹き込みスチームは、脱臭時の油脂を攪拌する役目も果たし、揮発成分の蒸発を容易にする。吹き込みスチームの使用量は連続、半連続では油脂の 1~4% とされ、バッチ式では 20~30% に達する。

連続、半連続式の脱臭温度は普通 230~250 °C、真空度は 3~6 Torr である。バッチ式では油種により異なるが、一般に連続、半連続式に比べて、低温、低真空 (絶対圧力が低い) である。

Figure 5.1.6 に Gardner 式の連続脱臭装置のフローシートを示す。

Figure 5.1.6 Continuous Deodorization Process



Gardner 式の本体は 1 つの縦型円筒形の真空塔(シェル)の中に 5 ~ 6 個のトレイを懸垂したものである。シェルの内部は、エゼクタ、ブースタの作動によりほぼ一定の真空に保たれ、その中を脱色油が第 1 トレイから順次下のトレイへと落とされていく。5 段式のトレイでは、第 1 トレイで脱気、第 2 トレイで加熱、第 3 ~ 第 4 トレイで脱臭、第 5 トレイで冷却が行われる。連続式の場合は、連続的に脱色油が第 1 トレイへ供給され、トレイをオーバーフローして下のトレイへと供給されるため、段間弁はついていない。

エネルギー原単位は、プロセスにより変わるが、その他にも原料の水分や外気温度、要求される製品の品質などにより違ってくる。日本における連続、半連続式脱臭装置の原単位は次のようである。

エネルギー原単位 スチーム：80～120 kg/t (製品油トン)
電 気：30～50 kWh/t (製品油トン)

5.1.2 エネルギー使用の合理化対策

エネルギーの合理化を進めるにあたっては、先ず現在消費されているエネルギー量を把握することが必要となる。スチームの場合、直接スチームの場合はオリフィス、渦流量計などを使って、間接スチームの場合は発生したドレン量を実測することにより、各機器のスチーム消費量を知ることができる。また熱収支を計算することでも推測できる。

その上で直接スチームは吹き込む場所、ノズルの形状、スチーム圧力、原料との接触時間および排ガスの利用などを考慮にいれてスチーム使用量の削減を試みる。間接スチームの場合はスチーム圧力、コンデンセートの再利用、他の熱源による代替などを検討する。また連続プロセスでは、最適条件で処理するために原料の温度を上げたり下げたりしているので、相互に熱交換ができないかを検討することも必要である。

(1) 脱臭装置における熱回収

脱臭装置における熱回収は、精製工程内の熱回収の中でも回収熱量が一番大きい。しかし、この熱回収システムでは、最終製品を取り扱うという点で品質、安全、運転、保守などの面で注意を払わなければならない。

脱臭装置における熱回収は、基本的には入口のフィード油と出口の高温の製品油との熱交換である。しかし、それでもなお廃熱があればそれをどう利用するかを考慮しなければならないので、この脱臭装置における熱回収は、他の熱回収と同様に精製関係あるいは工場全体の熱回収システムの一部と考える必要がある。

熱回収方法について、各メーカーの方法あるいは発表された実施例について記載するが、この方法は種々組み合わせて採用することも可能である。

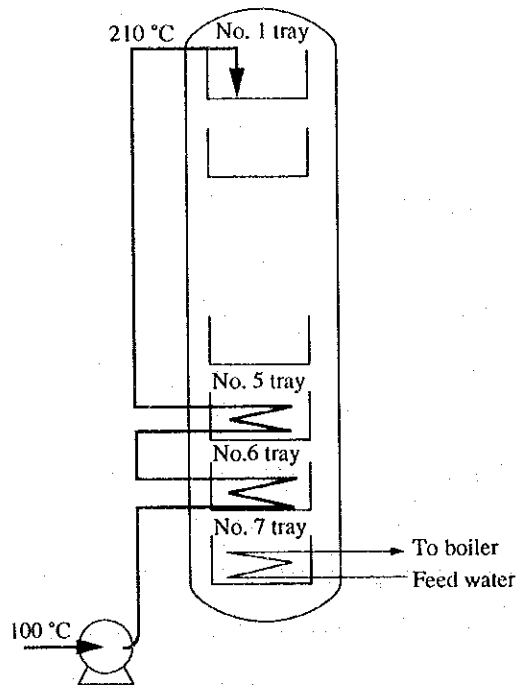
一般には、1. 油/油の直接熱交換と、2. 中間媒体を利用した間接熱交換の2とおりに大別される。

この熱交換の簡単なフローと方法および熱回収量について述べる。

a. 油/油直接熱交換

1) トレイ内コイルによる熱回収 (Figure 5.1.7)

Figure 5.1.7 Heat Recovery by Coil in the Tray



脱臭塔内に油 / 油熱交換用トレイを 2 基設置し熱回収を行う。また、冷却トレイでは、冷却水としてボイラ用給水を使用することにより、熱回収を行う。

100 °C のフィード油は、No.6 トレイ内のコイル内を通るので、No.6 トレイ内の油の熱が移り、140 °C に予熱される。この予熱された油は次に No.5 トレイのコイル内を通過して、同じように加熱され、210 °C まで上昇し、No.1 トレイにフィードされる。

一方、脱臭された油は、No.5、6 トレイで予冷され、No.7 の冷却トレイに落ちてくる。

No.7 の冷却トレイでは冷却用にボイラ給水を使用し温水として利用している。

この熱回収システムで考慮しなければならないことは、コイル内面が長期間に汚れを発生させることが考えられるので洗浄方法をよく検討しておくことである。

また、フィード油は熱交換トレイにはいる前に脱気しておくことも必要である。

交換熱量

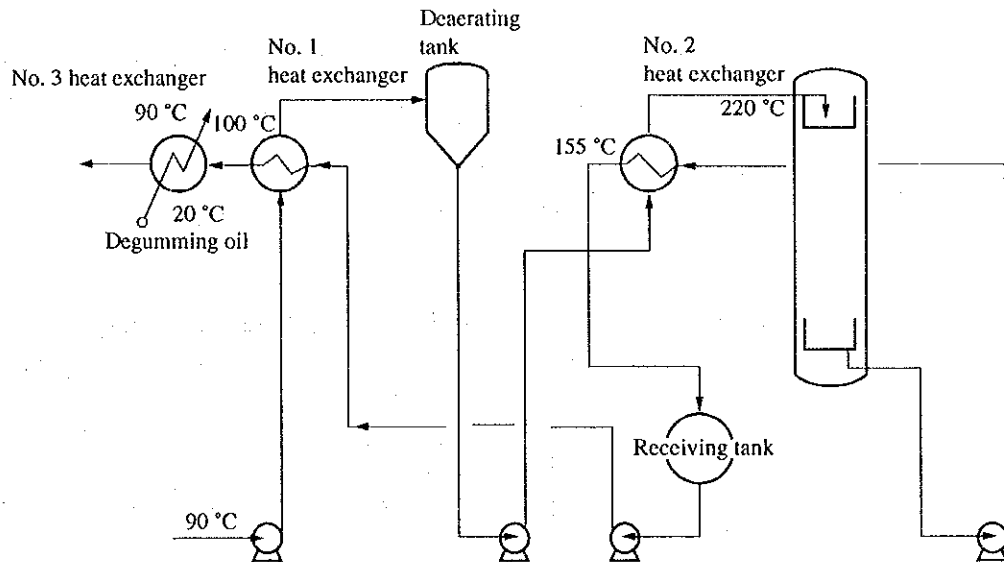
フィード油	:	100°C→210°C	272,000	kJ/t-oil
温 水	:	30°C→60°C	151,000	kJ/t-oil

節減蒸気量

フィード油加熱	:(中圧蒸気 10kg/cm ² (G))	66 kg/t-oil
	:(高圧蒸気 66kg/cm ² (g))	87 kg/t-oil
給水加熱	:	73 kg/t-oil

2) 外部熱交換による熱回収 (Figure 5.1.8)

Figure 5.1.8 Heat Recovery by External Heat Exchangers (1)



これは熱交換器を3基使用して熱回収を行うシステムである。

90 °Cのフィード油は、No.1 熱交換器に入り製品油と熱交換し 130 °Cまで加熱されて脱気槽に入る。

この脱気された油はNo.2 熱交換器に入り、再び製品油と熱交換し 220 °Cまで加熱される。

一方、脱臭された高温の油は、最下部のトレイから連続的に抽出されつつ

No.2 熱交換器に入り、155 °C程度に冷却され受タンクに入る。

その後この油は No.1 熱交換器に入り 110 °Cに冷却され、次の No.3 熱交換器に入り所要の最終製品温度である 30~50 °C まで冷却される。

この熱回収システムで考慮しなければならないことは、品質面と熱交換器の伝熱面の汚れの洗浄方法である。

交換熱量

フィード油 : 90 °C→220 °C 301,000 kJ/t-oil

脱ガム油 : 20 °C→ 90 °C 138,000 kJ/t-oil

節約蒸気量

フィード油 : (中圧蒸気 10 kg/cm²(G)) 75 kg/t-oil

: (高圧蒸気 60 kg/cm²(G)) 95 kg/t-oil

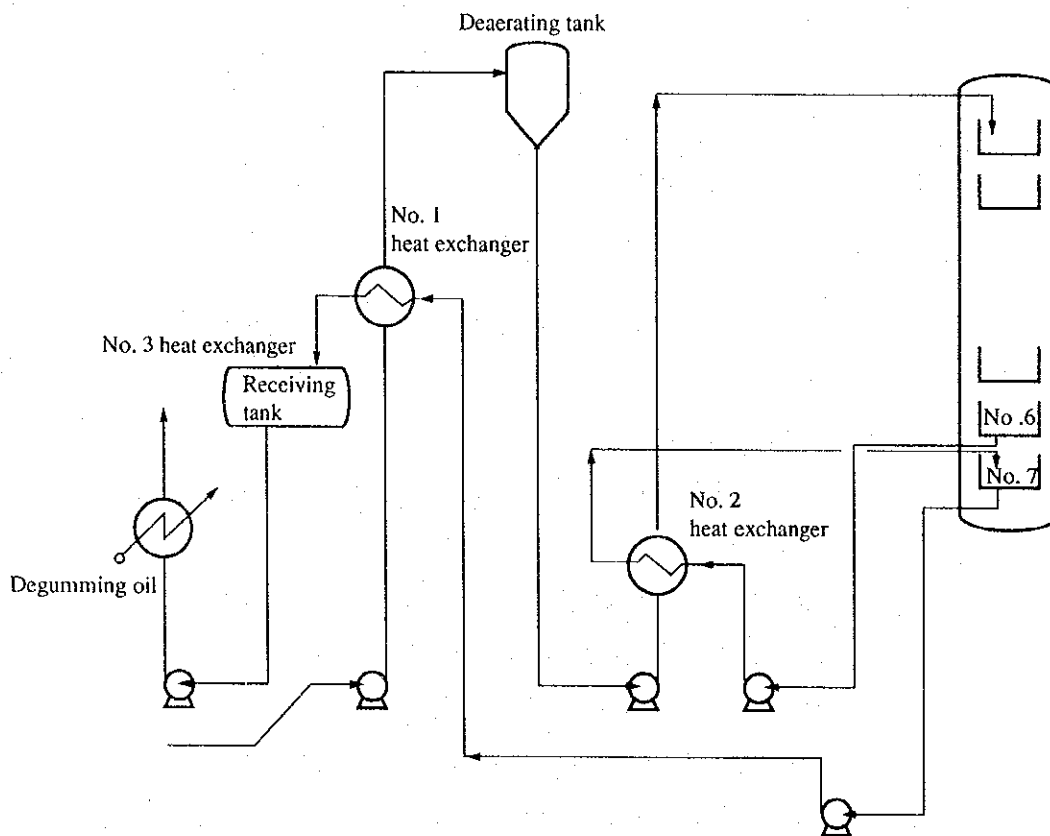
脱ガム油加熱 : (中圧蒸気 10 kg/cm²(G)) 69 kg/t-oil

上記システムの変形として考えられるのが次の方法である (Figure 5.1.9 参照)。

これは脱臭塔よりの抜出手前の No.6 トレイより行い、No.2 熱交換器から再度脱臭塔内のトレイに戻るシステムである。

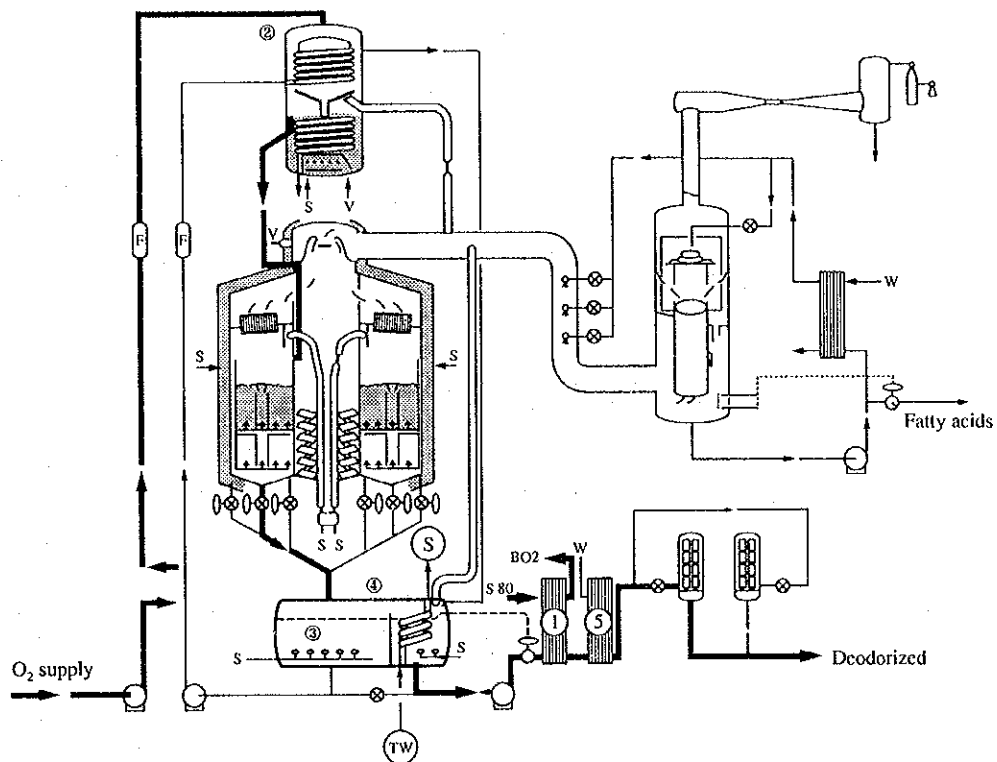
考慮すべき点や熱回収量は、前記方法と同じである。

Figure 5.1.9 Heat Recovery by External Heat Exchangers (2)



3) デスメット方式による熱回収 (Figure 5.1.10)

Figure 5.1.10 Heat Recovery by Desmet Method (Continuous Type)



これは熱交換器を 2 基使用して熱回収を図るシステムである。しかもそのうちの 1 基は、脱気槽を兼ねている。

50 °C のフィード油は、熱交換器 ① に入り、製品の脱臭油と熱交換し、予熱され、脱気槽 ② に入る。この脱気槽では、熱交換コイルの上をフィルム状に落下しながら熱交換と脱気が行われ、210 °C まで上昇する。

一方 ③ で脱臭された製品は、④ の受タンクの左側に落ちる。この油は、脱気槽のコイル内を通過してフィード油と熱交換し、冷却され ④ の受タンクの右側に入る。この槽の中に油を冷却するためのコイルが設置してある。このコイルに入れた水は、油と熱交換し蒸発して、1.5 kg/cm²(G) の蒸気となり、脱臭塔吹き込み用蒸気として利用できる。この給水には、工程中のスチームドレンを使用する。

このようにして、予冷された製品油は、次に ① の熱交換器においてフィード油と熱交換・冷却され、最終クーラで所要の温度になる。

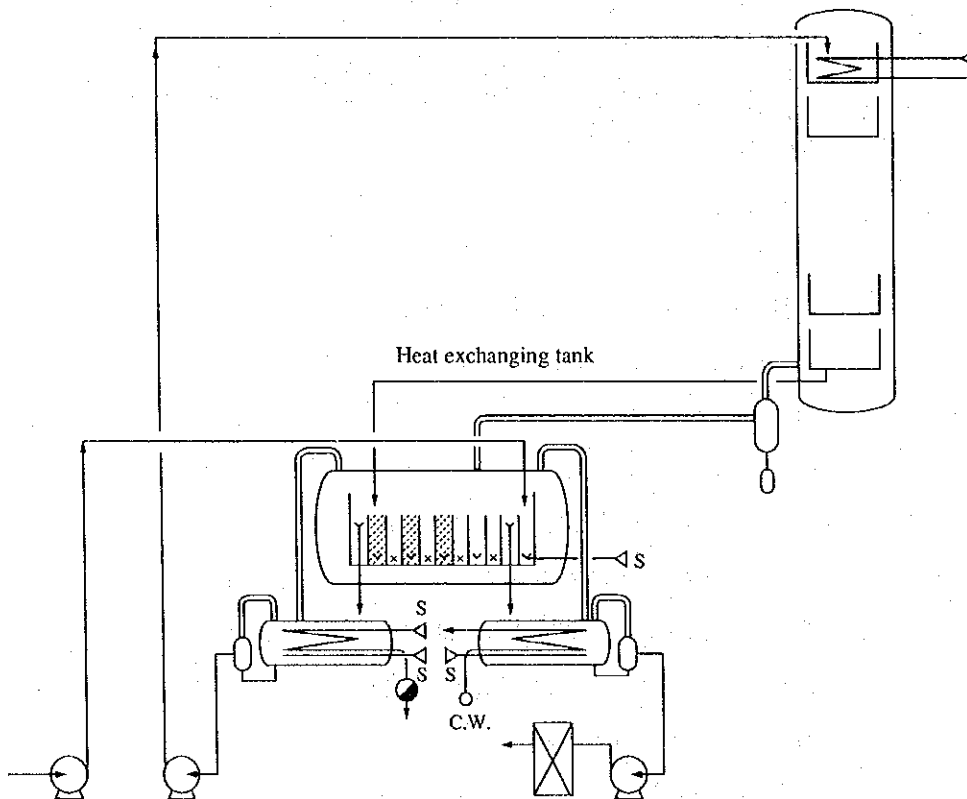
上記、脱臭・加熱槽 ② と受タンク ④ は、脱臭塔と同じ真空度の下に、生蒸気を吹き込んでいる。

このシステムの省エネルギー効果は次のようになる。

	熱回収設備あり	なし
必要加熱用熱量	150,000 kJ/t-oil (Steam 52.6 kg/t-oil)	500,000 kJ/t-oil (Steam 175.3 kg/t-oil)
生 蒸 気	-	17 kg/t-oil
脱 臭 温 度	: 255 °C	
節約エネルギー量	: Steam (139.7 kg/t-oil)	

4) 熱交換槽による熱回収 (Figure 5.1.11)

Figure 5.1.11 Heat Recovery by Heat Exchanging Tank



これは、脱臭油とフィード油とを熱交換壁を介して、互いが向流となるように流通させ、しかも各々に吹き込み蒸気を吹き込むようにしたもので、熱交換トレイをシェルに収容した形状となっている。

70 °Cのフィード油は、熱交換によって 225 °Cまで加熱され、250 °Cの製品油は 100 °Cまで冷却される。

このシステムの長所は、交換熱量が多いことであるが、熱交換槽内において、フィード油と製品油の混入が絶対ないように注意しなければならない。

交換熱量

フィード油 : 70 °C → 225 °C 360,000 kJ/t-oil

節減蒸気量

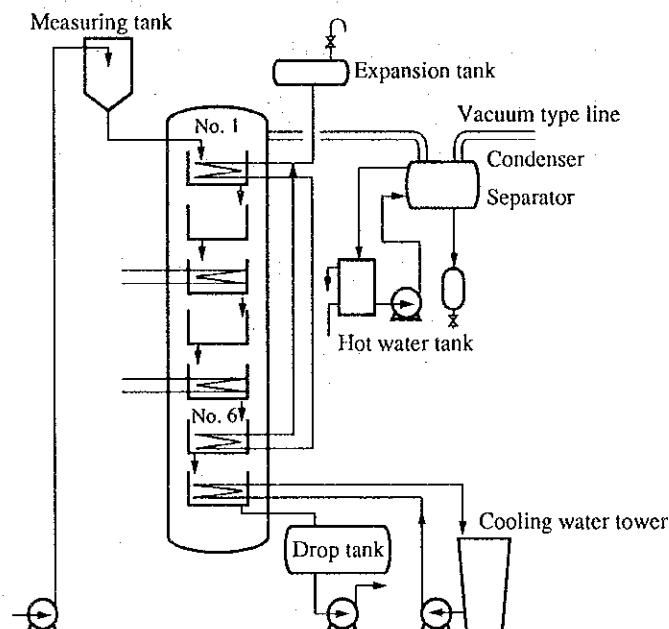
フィード油加熱 : (中圧蒸気 10 kg/cm²(G)) 87 kg/t-oil

フィード油加熱 : (高圧蒸気 60 kg/cm²(G)) 116 kg/t-oil

b. 間接熱交換

1) 熱水循環による熱回収 (Figure 5.1.12)

Figure 5.1.12 Heat Recovery by Hot Water Circulation



No.1 トレイと No.6 トレイのコイルを配管で結びクローズド化する。

No.5 トレイまでに脱臭の終わった熱い油 (通常 250 °C) が、No.6 トレイに落

下してくるので、その熱をコイル内の水に移し、熱くなった熱水をそのまま No.1 トレイのコイルに流せば、No.1 トレイでは計量槽から落下してくる冷たい油 (90 °C程度) に熱水から熱が移り、No.1 トレイの油は予熱される。

油に熱を与えて冷えた熱水は再び No.6 トレイに戻り、熱い油から熱をもらって再び No.1 トレイに戻り油を予熱する。

このようにコイル内の熱水は、No.1 トレイと No.6 トレイの間を自然に循環するので、予熱用蒸気は全く不要になる。

この方法は媒体が水であり、運転方法も変わらないので品質に対する影響はない。

交換熱量

フィード油 : 90 °C → 170 °C 176,000 kJ/t-oil

節減蒸気量

(中圧蒸気 10 kg/cm²(G)) 85 kg/t-oil

2) 蒸気・熱水循環による熱回収

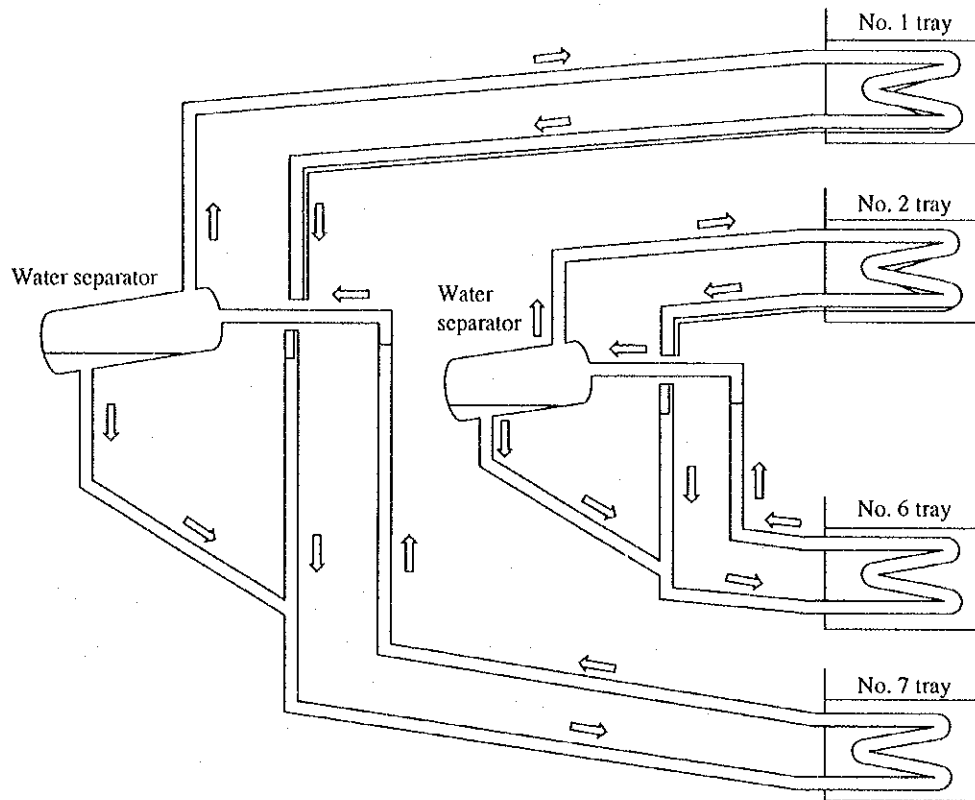
前記 1) 熱水循環と同様の構想であるが、No.6、No.7 トレイのコイル内で水蒸気を発生させ、この蒸気が No.1、No.2 トレイのコイル内で熱移動し、凝縮したあとドレンとなって再び No.6、No.7 トレイのコイル内へ流入する。

この過程で No.1、No.2 トレイの油は加熱され、No.6、No.7 トレイの油は冷却される。

この方式では、前記フローシートのうちの膨張槽だけが不要となるだけでほかに変更はない。70 °C のフィード油は約 200 °C まで予熱される。

Figure 5.1.13 に熱回収装置を示す。

Figure 5.1.13 Heat Recovery Equipment



交換熱量： 70℃ → 200℃ 245 MJ/t-oil
 節約蒸気量： (中圧蒸気 10kg/cm²(G)) 86 kg/t-oil

(2) 真空保持対策

精製工程の蒸気原単位の中で一番大きな割合を占めているのは、脱臭塔の真空発生装置に使われている蒸気である。

適正な品質を保つためには、脱臭塔を適正な真空度に設定し、それを保持することが大切である。しかもこれが省エネルギーに大きく貢献できる。

真空装置の運転に当たっては次の点に注意すべきである。

- ・脱臭塔廻りからの空気漏れを減らす。
 運転停止ごとに真空度の低下と時間を測定し、リークチェックおよび量を把握する。漏れが見つかればすぐに修理をする。
- ・ブースタにかかる負荷を減らす。

脱臭塔にフィードする前に加熱脱気を行う。

この負荷はブースタにかからずあとのバロコン以降にかかる。

適正な吹き込み蒸気量を把握する。

- ・ブースタにかかる負荷を連続にする。

脱臭塔へのフィードを連続に行う。

- ・駆動蒸気圧力を一定に保つ。

蒸気圧力の変動は、低真空領域で作動しているブースタの性能に大きく影響を及ぼし、真空度が不安定になる。

- ・バロコン用冷却水の水量、水温を一定に保つ。

安定した真空度を得ながら、駆動蒸気量を減らすには、バロコン内水温をできる限り低くする。また、夏、冬用ノズルの使い分けにより、一層蒸気量が減らせる。

エゼクタのスチーム量と水温の関係を Table 5.1.2 に示す。

Table 5.1.2 Relationship between Barometric Condenser Cooling Water Temperature and Ejector Steam Amount

Temperature	°C	10	15	20	25	30	34
Steam amount for drive	kg/h	200	250	330	425	585	720

a. 駆動スチーム圧の適正化

省エネルギーが叫ばれる以前に製作されたブースタと現在の省エネルギー型ブースタとの大きな違いは、同一仕様 (抽気量) であってもメーカーで設計する際の余裕の取り方である。

Table 5.1.3 のように従来の設計値は、吸入側、吐出側に余裕があり、また No.1、No.2 ブースタの重なりが大きくなっている。

Table 5.1.3 Difference in Booster Setting Values

(Unit: Torr)

	Calculated Value		Conventional Value Used		Energy Conservation Type Value to be Used	
	Suction Pressure	Discharge Pressure	Suction Pressure	Discharge Pressure	Suction Pressure	Discharge Pressure
Booster No. 1	3	12.2	2.8	15	3	13
Booster No. 2	12.2	49.7	11	60	12	55

このブースタで 3 Torr を保持するのに設計時の駆動圧力を少し下げても問題ない。これは、抽気量の仕様が実際の量よりも余裕があり、また重なりが大きいためでもある。

この 3 Torr 仕様のブースタで 4~5 Torr の圧力にコントロールしようとする、No.1 ブースタの駆動圧力を下げて低真空作動域で運転させることになる。この低真空作動域での運転に関する理論的根拠はなく、実際にトライしてデータ取りをする以外になさそうである。

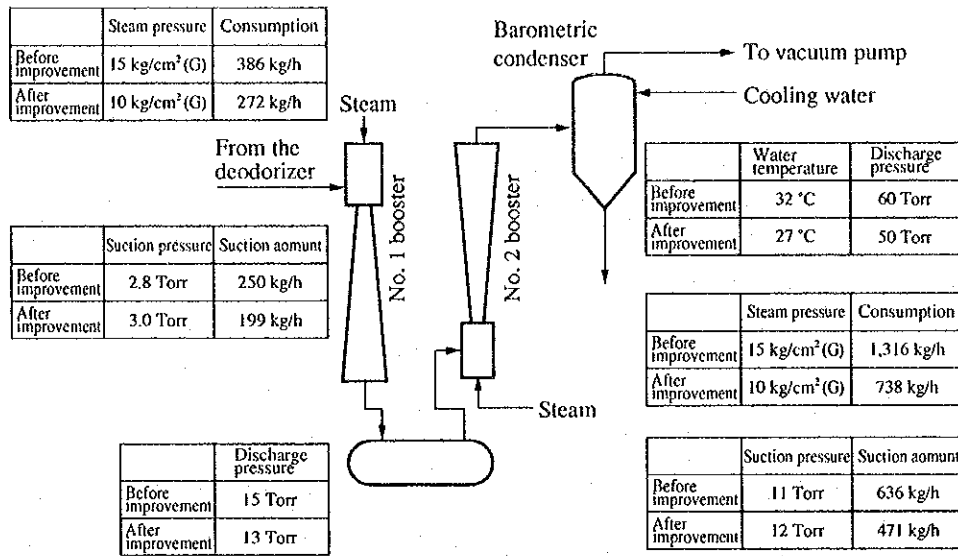
駆動用スチーム圧 10 kg/cm²(G) と 7 kg/cm²(G) の差がそのまま、30 % のスチーム使用量の減少となった例がある。

b. 脱臭用ブースタ容量の見直し (改善事例)

油脂脱臭工程に必要な真空発生のために従来から大型スチームエゼクタ (ブースタ) が用いられているが、省エネルギーが重視される以前に製作されたブースタについては、余裕をとり過ぎオーバーデザインのものもある。それを現状の操作条件に見合うものに取り替えることにより、省エネルギーが図れることがある。

1971 年に建設された脱臭装置のブースタを調べたところ、Figure 5.1.14 に示すような改善前の数値のもとに運転されていた (平均能力 180 t/d)。

Figure 5.1.14 Operating Condition for Vacuum Device



Note: The above-mentioned steam quantities indicate the annual mean values.

必要脱臭条件、リークエアの測定、原料油中の揮発分などにより吸入量を算出し、年間の冷却水温（海水）より、最高水温を決定した。また第1ブースタの吐出圧と第2ブースタの吸入圧についてはメーカーと相談しできるだけ重なりを少なくとった。この場合ブースタの駆動蒸気圧の変動を避けるため蒸気本管圧より低い圧を設計値とした（本管圧 15 kg/cm²(G) を減圧して 10 kg/cm²(G) で供給）。

以上の結果、Figure 5.1.14 の改善後の数値になった。

省エネルギー効果は、次のようになる。

$$\text{年間蒸気節減量} = \{(386 + 1,316) - (272 + 738)\} \times 7,200 \text{ H} = 4,982 \text{ t/y}$$

c. バロメトリックコンデンサ冷却水強制冷却（改善事例）

Figure 5.1.15 のように、バロコン冷却水を強制的に冷却し、ブースタの蒸気消費量を低減する方法がある。この場合、冷却水の強制冷却を冷凍機で行うことにより、蒸気節減が徹底できる（Table 5.1.4 参照）。

Figure 5.1.15 Forced Cooling of Barometric Condenser Cooling Water

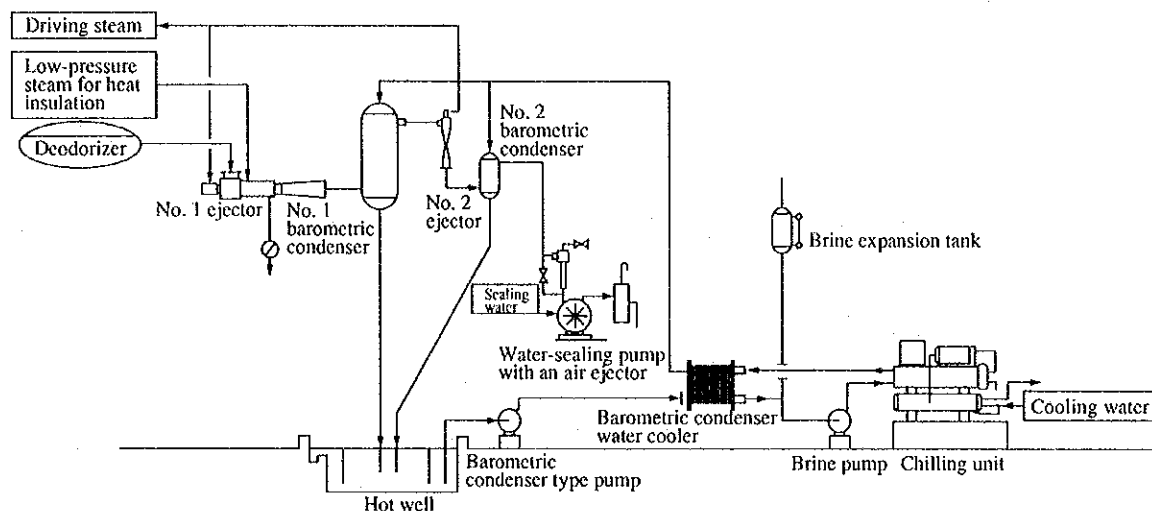


Table 5.1.4 Forced Cooling of Barometric Condenser Cooling Water

	Conventional method	After Improvement	Difference in Energy Used
Steam	197 kg	50 kg	147 kg
Electricity			
Vacuum pump	0.9 kWh	0.9 kWh	
Barometric condenser pump	4.4 kWh	1.5 kWh	
Brine cooling equipment	-	17.8 kWh	
Total	5.3 kWh	20.2 kWh	Δ14.9 kWh

節約エネルギー Steam 1.47 kg/y = 419 MJ/y
 Electricity 14.9 kWh/y 増 = 152 MJ/y } 267 MJ

(3) 脱臭塔トレイ改善

脱臭塔内のトレイ皿では通常吹込スチームはチューブ内を油と一緒に上昇しながら脱臭されるが、特殊加工をし、薄膜状で上昇する方式に改善したものは吹込蒸気が30%減少している。

(4) 水添工程の省エネルギー

水添工程では、油脂と水素の接触反応を効果的に進めることと、触媒を選択することにより反応時間を短縮できる。水添装置は、従来タイプ(攪拌式)と油循環式(スイスBUSS社、日本三浦事務所、ドイツルルギ社等)がある。

a. 従来タイプ (攪拌式)

改良型の攪拌式水添装置は、Figure 5.1.16 に示すように、原料油をタンク容量の 55% 程度装入し、下記の条件で運転されている。

原料油装入温度：60℃ (装入所要時間 20 分)

水素添加時の油温度：135℃ 水素添加前に真空にする。

蒸気加熱温度：150℃

硬化反応完了温度：210-220℃ (水素添加開始から 20 分)。

210℃以上になったら冷却する。

反応完了は添加水素量とサンプル分析 (沃素価) から判定する。

冷却完了温度：90℃ (冷却所要時間 30 分)

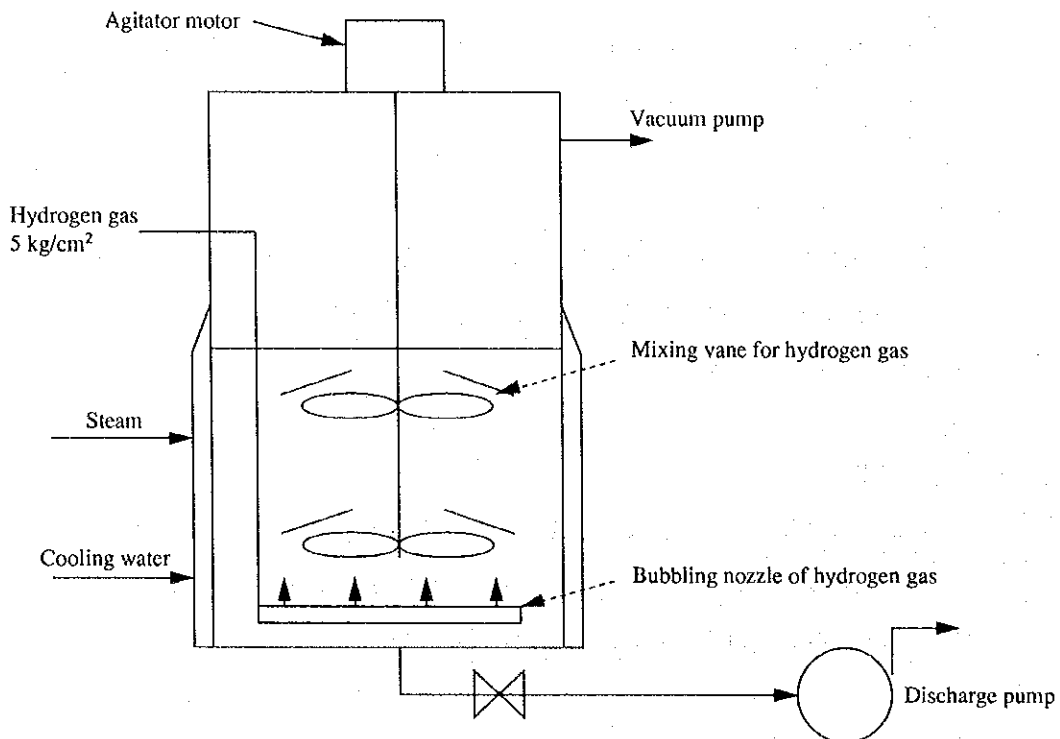
所要時間合計：70分

温度計は、水添槽底部に 1 個所設置。

水素原単位は、沃素価 1 を下げるのに、0.8 kg-H₂/ton-oil である。

沃素価を 50 下げるために、4 kg/t の水素が必要である。

Figure 5.1.16 Agitating Type Hydrogenation Tank

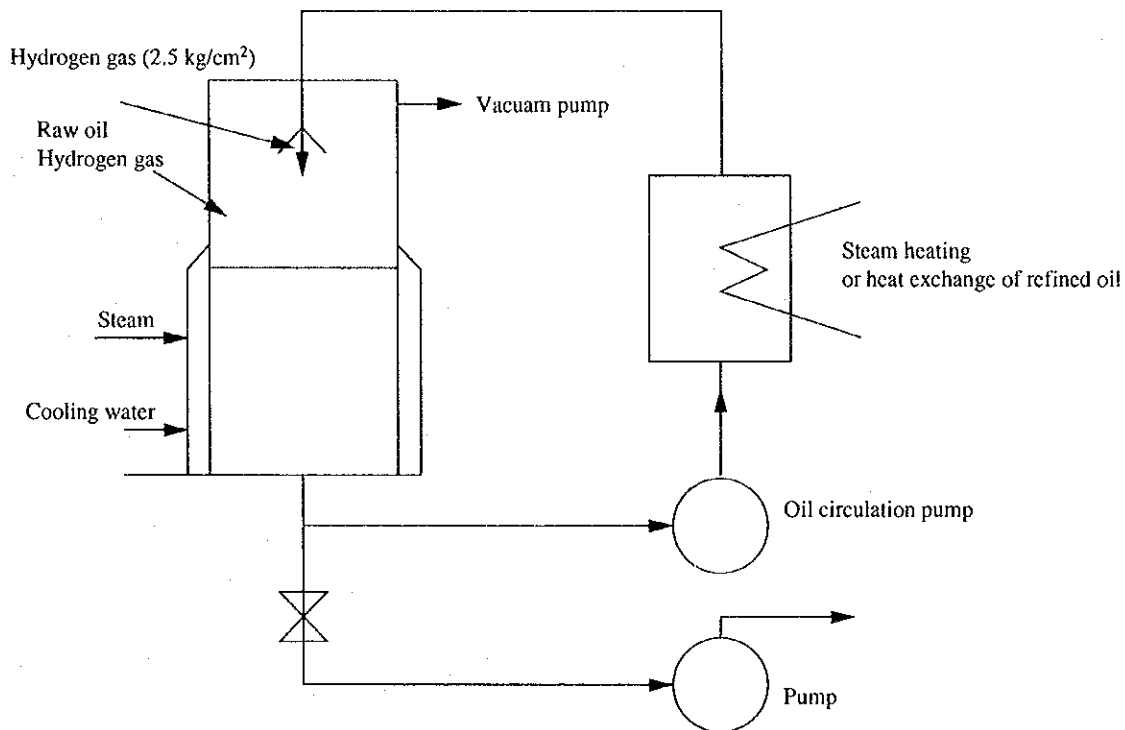


水素は水添槽底部から油脂中を上昇する間に油脂と反応し、未反応の水素はヘッドスペースに溜まるが、攪拌器とその上部につけたプレートの効果で、ヘッドスペースの水素を油脂の中に巻き込み反応させるように工夫されている。反応完了後、ヘッドスペースの水素は外部に放出される。

b. 油循環式水添装置

油を循環して水添槽に散布する際に、水素を添加する方式であり、従来タイプに比べて、水素消費量は減少し、反応時間は短縮される。水素添加前に、水添槽内を真空状態にして系内の空気を除去して、水素反応効率を上げている。

Figure 5.1.17 Oil-circulating Type Hydrogenation System



プロセスは、真空 — 注入 — 反応である。

水素圧力は、2.5 kg/cm²である。

水素添加温度は、175 - 180 °C

反応完了温度は、210 °Cである。

原料油の加熱は、精製油との熱交換が望ましいが、精製油が硬化しやすい場合は蒸気加熱を行う。

5.2 食肉加工業の省エネルギー

5.2.1 製造工程

食肉加工品の代表的なものは、ハム、ソーセージ及びベーコンである。食肉加工工場は次の3種類に分けられる。

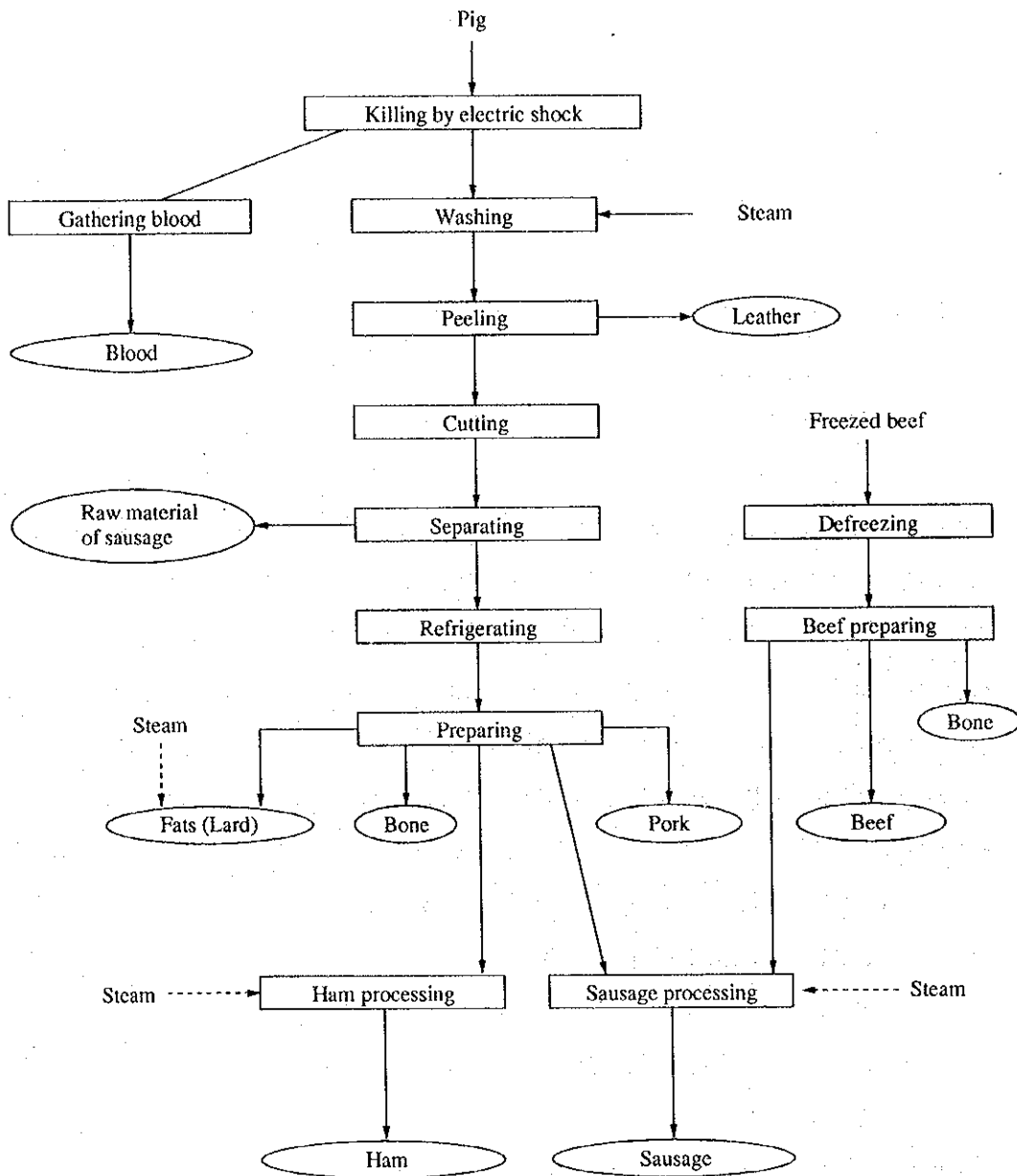
- ・ 屠殺から枝肉加工及びハム加工、缶詰加工などを一貫して行う工場
- ・ 屠殺から枝肉加工まで行う工場
- ・ 枝肉を購入して、ハム加工、缶詰加工等を行う工場

食肉の種類は、豚肉、牛肉、鶏肉、羊肉などがあるが、今回の調査対象となったのは、豚と牛を屠殺から枝肉加工及びハム加工、ソーセージ加工を行う工場である。

ハム、ソーセージは、食肉を長期間保存することを目的とするものでそれらの種類は非常に多い。ハムは元来豚のもも肉の名前であるが、転じてこの部分の肉を塩漬、燻煙した加工品をハムという。ボンレスハム(ロースハム)、ベーコンなどの製造の際の残肉や牛肉、馬肉その他の肉を混ぜ、これらの肉片を圧縮して作るプレスハムがある。製法や原料から見ると、普通のハムとソーセージの中間的なものである。チキンハムは鶏肉をプレスハム原料肉に準じて、処理したものである。混合プレスハムは原料肉に畜肉(豚肉、牛肉、馬肉、羊肉、山羊肉) 家禽肉、兎肉の肉塊を塩漬にしたものを主原料とし、これに塩漬した魚肉を加えたものである。魚肉としては鮪類またはかじき類などを用いる。ベーコンは豚のばら肉を成形し、塩せきし、燻煙したものをいう。

食肉加工プロセスのフローシートの例を、Figure 5.2.1 に示す。

Figure 5.2.1 Process Flow



(1) 原料処理工程

原料処理工程は、屠殺から解体完了までの範囲である。

屠殺工場を有する食肉加工工場の原料処理工程は次のとおりである。

豚に電気ショックを与えて殺し、血液を抜き、75℃の温水で洗浄する。豚の皮を剥き、内臓を取り出し、左右に2分割して、枝肉として冷却室に送り、保管する。枝肉は、冷蔵後に枝肉として出荷されるものと、解体加工工場にて分

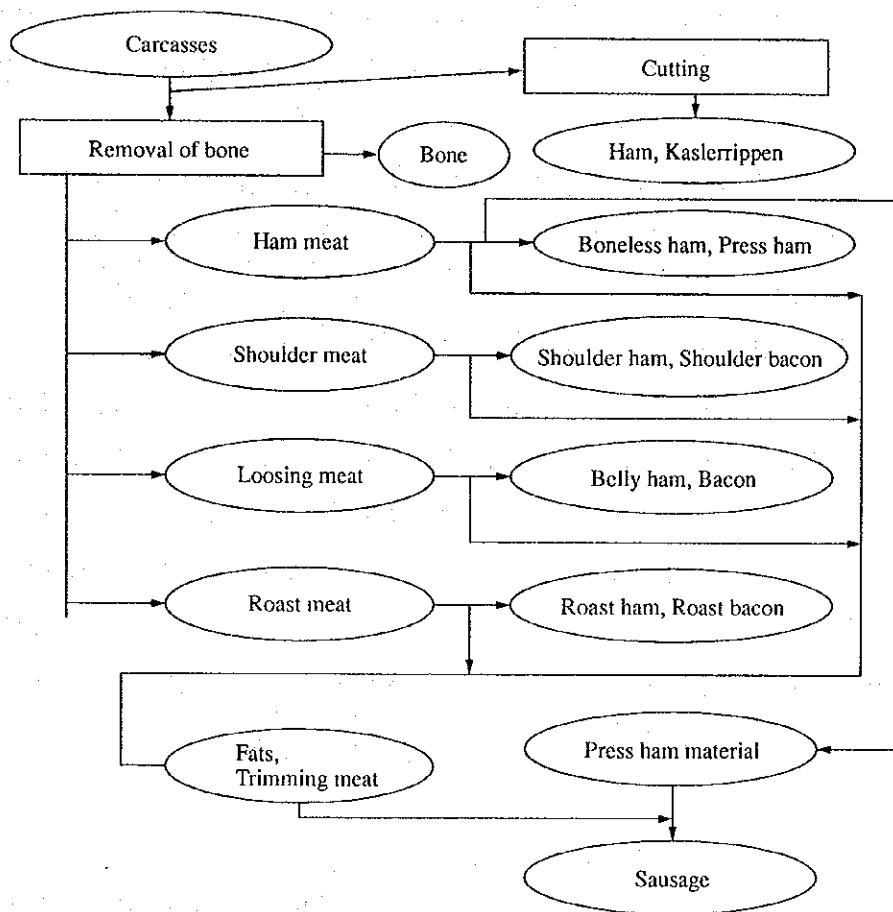
割加工され、ハム・ソーセージの原料肉となるものに分けられる。

内臓物の内、腸はソーセージの原料として使用される。屠殺工場の室温は 10 °C に保たれる。冷却室の室温は 4 °C に保たれる。

冷却室に冷蔵保管された豚の枝肉は、解体加工工場にて用途に応じて小分割される。解体加工場の室温は、10 °C に保たれる。解体された肉の用途は Figure 5.2.2 に示すとおりである。

屠殺工場を有しない食肉加工工場では、小分割され冷凍された購入原料肉が解凍後使用される。原料肉は筋、余剰脂等が除かれ用途に応じて整形される。ハム・ソーセージ原料は、豚肉が主成分である。

Figure 5.2.2 Meat Processing Flow



(2) 塩漬工程

ハムの一般的な塩漬工程は、次のとおりである。整形肉は Injector (注入機) により塩漬液が注入され、ミートソフターにより肉を柔らかくされ、次いでマッサージマシンやタンブラなどの漬け込み促進装置にて注入液の肉組成への浸透

をはかられる。一方、従来法は Injector による注入促進装置を使用せず、塩分の浸透圧のみにより、熟成をかねて 4 ~ 7 日間の塩漬けを行う。この従来法は、現在では高級手作り品の製造に使われている。

ベーコンはハムと異なり、品質上の要求から注入工程をとらず、一般的には塩漬け剤を摺り込み肉のサイズに応じて、4 ~ 7 日間塩漬けをする。漬け込み時の温度は、2 ~ 7 °C で、冷蔵庫でおこなう。

(3) 充填工程

漬込みを終了した塩漬け肉は、プレス材とベーコン材以外のものは最終製品の寸法、重量に応じ切断された後、充填機によりケーシングに充填される。ハム関係のケーシング材質としてはファイブラケーシング (セルローズ系材質) が使用されている。プレスハムには羊腸が使用されている。ベーコンは原料肉の形状をそのまま生かした形で金串に刺すか、または金網台の上に乗せ燻煙工程に移る。

ソーセージは原料として豚肉のほかにマトン肉、馬肉、牛肉、鶏肉などを原料とともに、サイレントカッター (1,500~5,000 rpm) に投入し、肉蛋白、水、脂材からなるエマルジョンにする。最近ではサイレントカッターの代わりに、原料肉と副原料をミキサーで混合した後、バキュームマイクロカッター、ミンスマスター、コロイドミルなどの乳化微細機を通し均一なエマルジョンを得る方法も採用されている。これらの方法は連続生産システムに適している。ソーセージエマルジョンは、バキューム自動計量充填機、連続自動ツイスト充填機、エアスタッハー等によって充填される。前記 2 機種を使用充填する場合のケーシングは通常人工ケーシング (コラーゲン、ファイブラス、ビニリデン) を使用し、天然腸の場合はエアスタッハーまたはバキュームエアスタッハーにツイストマシンを接続し使用する。

(4) 加熱工程

充填されたハム、ソーセージなどは、加熱工程に送られる。通気性のあるケーシング (天然腸、セロハン等) に充填されたものは燻煙後に蒸煮される。また、気密性ケーシングに充填されたものはボイル工程に送られ蒸煮される。加熱は 70~80 °C で中心部が 63 °C × 30 min 同等以上に加熱されるように加熱時間が設定される。燻煙装置 (スモークジェネレーター) は多くが自動化されており、

その性能も大幅に向上され従来の 1 / 5 の時間で燻煙されるが、風味の点で注意を要する。燻煙の熱源は、一般に蒸気を使用している。

(5) 包装工程

加熱後の成品は冷水シャワーあるいは冷風で冷却された後、包装工程に送られ、ロータリー連続真空結束機などにより包装される。ウインナーソーセージ、スライスハム製品はバイオクリーンルームまたはこれに準ずる衛生的な室内でウインナーカッタースライサー、ハムスライサー、コンピュータスケール計量機、選別機などを経て真空包装機、ピロータイプ包装機などにより包装される。

5.2.2 エネルギー使用の合理的対策

食肉加工工場のエネルギー多消費部門は、加工工場内の空調装置、冷蔵・冷凍室の冷却装置及びハム・ソーセージ等の蒸気による燻蒸装置である。

エネルギー使用の合理化を進めるにあたっては、先ず現在消費されているエネルギー量を把握することが必要となる。スチーム使用量を測定する場合に、直接蒸気使用の時はオリフィス、渦流量計などで測定し、間接蒸気使用の時はドレントラップからのドレン量を測定して推測する方法がある。その上で直接蒸気使用の場合は、蒸気を吹き込む位置、ノズルの形状、蒸気圧力、原料との接触時間及び排気の利用等を考慮にいれて蒸気使用量の削減を試みる。間接蒸気使用の場合は、蒸気圧力、コンデンセートの再利用及び他の熱源による代替などを検討する。また連続プロセスでは最適条件で処理するために原料の温度を上げたり下げたりしているので、相互に熱交換ができないかを検討することも必要である。

(1) エネルギー原単位及びエネルギー使用比率

日本における屠殺・枝肉加工工場とハム・ソーセージ加工工場のエネルギー原単位の例を Table 5.2.1 に示す。

Table 5.2.1 Energy Intensity of a Meat Factory

Factory name	Production	Energy intensity	
		Fuel	Electricity
Butchery and carcass factory	24,353 t/y	844 MJ/t	221 kWh/t
Ham and sausage factory	14,400 t/y	2,832 MJ/t-ham	292 kWh/t-ham

(2) ハム・ソーセージ工程のコンデンセイト回収

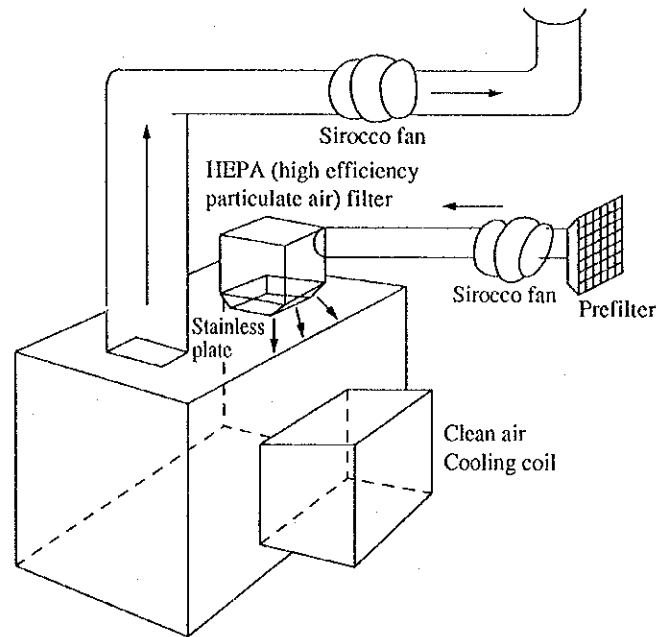
ケーシングに充填されたハム・ソーセージは、燻煙加熱工程に送られ、蒸気で加熱される。使用された蒸気のコンデンセイトを回収することにより省エネルギーがはかれる。

通常ソーセージ製造には、熱と電気を合わせた工場全体のエネルギーの 50 % の熱エネルギーが使用されている。燻煙工程で使用される間接加熱用の蒸気は工場全体のエネルギーの 10 % はあり、この内 30 % 熱量相当のコンデンセイトを回収し、ボイラ給水加熱及び燻煙加湿に使用できる。したがって工場全体のエネルギーの 3% の省エネルギーが達成できる。 ($10\% \times 0.3 = 3\%$)

(3) 外気取り入れ

冬期に外気を無菌濾過して、作業場内に取り入れることにより、空調用冷凍機の負荷を下げている例がある。食肉加工工場では、裸の肉に直接空気が当たるので衛生上の問題があり、利用場所を限定している。熱処理室、洗浄室など、湿度の高い部屋の換気空調に外気取り入れを採用している。外気取り入れ装置を Figure 5.2.3 に示す。本装置は、クリーンルームを併設する場合にも利用される。無菌フィルターは、紙フィルターであり、3ヶ月毎に交換している。

Figure 5.2.3 Outline of an Outside Air Treatment System



(4) 出入口自動ドアの設置

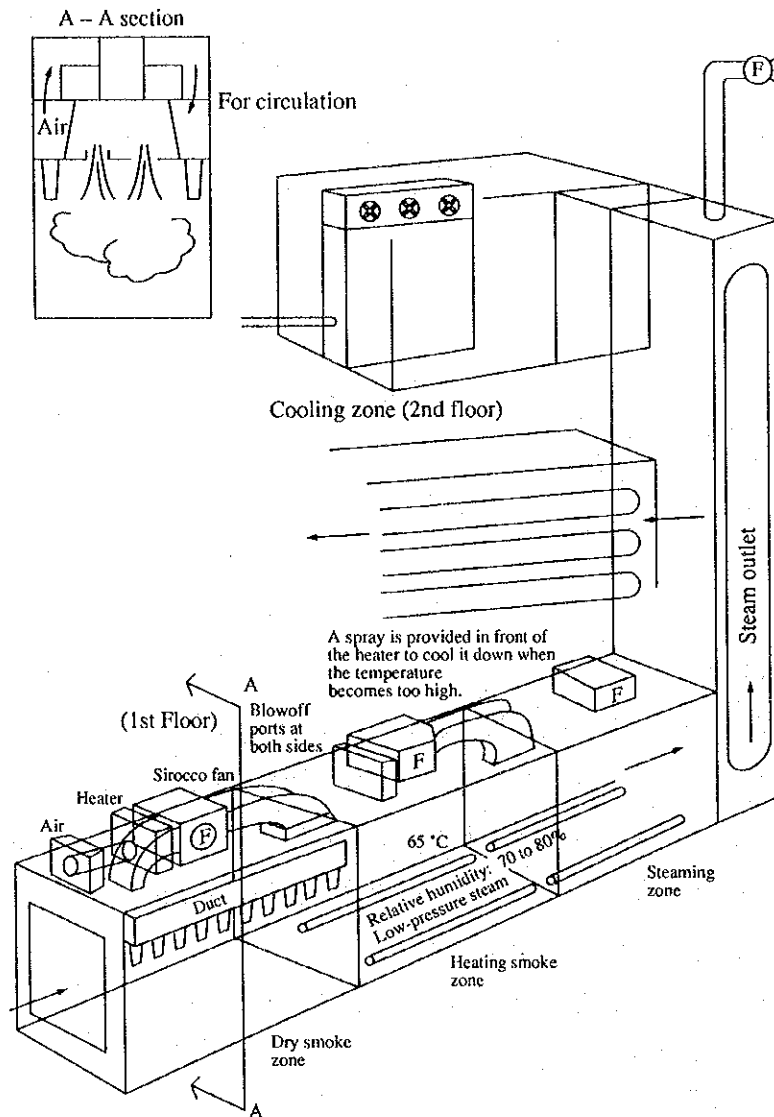
食肉加工工場の室内温度は、屠殺工場 10℃、冷蔵室 4℃、処理加工室 10℃が望ましい。ラード工場では、二重釜を使用しているため、室温は高温になっている例が多い。温度差のある作業室の間のドアが開放されている場合は、自動ドアを設置して、空調の電力負荷を低減すべきである。また、夏期の外気が高温である場合に、処理加工室の出入り口に自動ドアを設置して、処理加工室の冷気を外に流出しないようにすべきである。自動ドアの設置が困難な場合は、少なくとも出入り口にカーテンを設置して、空調電力の省エネルギーを図るべきである。

(5) 全自動式燻煙装置

全自動式燻煙装置は乾燥、燻煙から冷却まで連続的に行われるもので、充填された成品はスモークケージにつるされたまま、装置内に入る。装置内は、自動制御装置により、すべての工程が設定された温度、湿度、時間で行われるので、品質が均一で歩留まりの高い製品が得られるよう調整されている。全自動式燻煙装置は、Figure 5.2.4 に示すように、本体に蒸気噴射パイプ、温度湿度調節電磁弁、冷却水噴射ノズル、燻煙ダクト、熱風循環パイプなどで構成されている。

この他に燻煙発生装置及びガス燃焼装置がある。

Figure 5.2.4 Outline of Automatic Smoking Unit for Ham and Sausage



(6) NH₃ 冷凍機

低温管理を必要とする食品工場では NH₃ 冷凍機の効率改善に努力することにより電力の省エネルギーが達成できる。

例えば、大幅な省エネルギー達成事例を以下に記す。当該工場ではチルド水冷却器が現場ごとにあり 2 基の冷却器を使用しており、150 kW を主動力として使用していた。負荷状況を検討の結果 110 kW を常用とできるとの結論に達し、容量が大きく運転員が監視しやすい冷凍機室の冷却タンク 1 基に統合し、110

kW を主として運転することとした。

ピーク負荷も軽負荷時も 11 kW チルドポンプが稼働しムダな電力を使っていたが、11 kW 2 台のうち 1 台を 7.5 kW に入替、軽負荷時には自動的に 7.5 kW に切替える方式とした。

チルドアジテーター 11 kW 2 台での攪拌を 7.5kW 1 台とした。

冷蔵庫内温度管理に温度センサーを取付け、自動発停とした。これらの効果の合計は冷却設備容量で 48 kWh の改善に達した。この工場の例では、電力原単位で、30 %の省エネルギーに相当する。

NH₃ 冷凍機の場合、冷凍機の性能の判定には使用条件により多くの検討すべきファクターがあるが、一つの目安としてチルド水の場合冷凍能力を 0.9 kURT (1URT=3,020 kcal=12,642 kJ) として現状機種について性能チェックをしておくことも必要である。フロン系冷媒は 2010 年には生産が中止される見込みであり、各種冷媒の中で NH₃ が見直されてきている。NH₃ 冷凍機はガス漏れのないうように充分保全する必要がある。

(7) その他

熱交換機、缶詰殺菌工程の熱回収効率の向上、機器の保温等、食品工場として当然常日頃から省エネルギーを念頭に目を向けて行くべき項目は多い。日頃の努力の積み重ねが大きな省エネルギー効果を生むことを認識し努力して行く必要がある。また製品歩留の向上は直接省エネルギーの向上にはねかえる事を考慮して、ロスの回収につとめることは重要である。

5.3 乳製品工業の省エネルギー

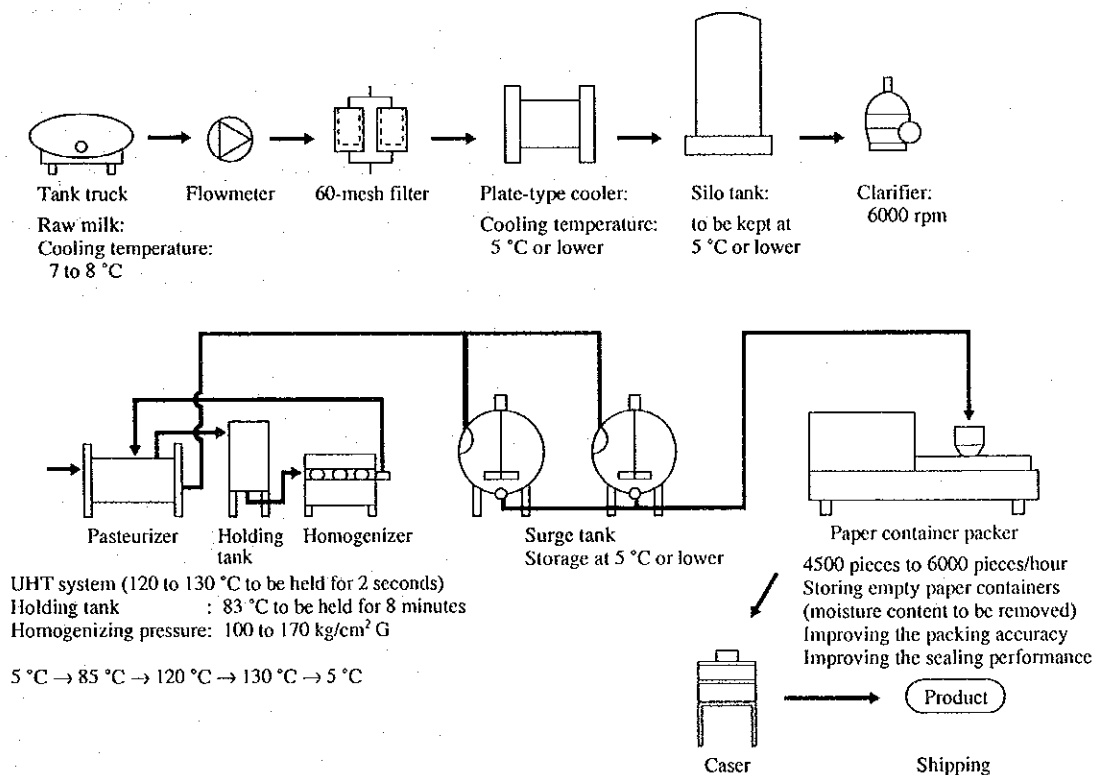
5.3.1 製造工程

乳牛が生産した生乳のみを原料として飲料用に供される商品が、牛乳である。牛乳の商品形態は従来の 180mL、200mL のびん容器から、1,000mL、500mL、200mL 等の紙容器に変化してきている。

牛乳の主な単位操作としては生乳中の異物の除去、生乳中の脂肪処理、生乳の殺菌や滅菌処理、均質、充填工程がある。殺菌条件としては UHT 牛乳 (120~135 °C、2 秒間保持殺菌) が一般的であるが、近年酪農搾乳技術と生乳の管理技術が向上し、工場で受け入れる生乳の細菌数が減少したこと、及び消費者の自然嗜好の傾向から低温殺菌処理 (HTST 72 °C、15 秒間保持。LTLT 63 °C、30 分間保持) による良質の生乳が生産、供給されるようになってきた。

Figure 5.3.1 に牛乳の製造フローシートを示す。

Figure 5.3.1 Milk Processing Flow



(1) 受乳

生乳はタンクローリーで集乳所あるいは直接酪農家から牛乳工場に輸送される。近年搾乳後の生乳は牧場のクーラで直ちに冷却された上で集乳所あるいは工場に輸送されるため、夏場でも 10℃以下に保持され、良好な状態で工場に受乳される。

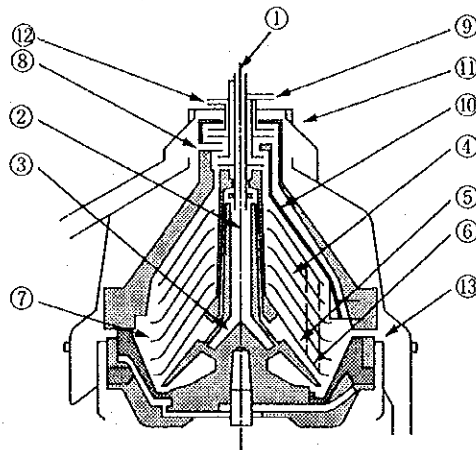
タンクローリーから生乳の一部がサンプリングされ、品質保持 (酸度、比重、脂肪率、細菌数など) が実施され、所定の基準に合格する生乳のみが受け入れられ、使用される。日本の受入基準は、細菌数 100,000 個 / cc 以下である。ポーランドにおいても一部の工場で日本と同一の基準で受け入れている。細菌数が多いと、殺菌のためのエネルギーが増加する。

生乳はタンクローリーからミルクポンプで引き出しながら、60 メッシュの濾布の製置されたバスケットフィルタで塵埃などが粗濾過され、プレート式クーラで 5℃以下に冷却され、サイロタンクに貯蔵される。冷却媒体はアイスバンク (冷蔵熱槽) の 1~2℃のチルド水が使用される。サイロタンクは 1 日の受乳量、工場規模によって異なるが近年では休日にも生乳を入れ、貯蔵可能とするため設備は大型化しており、数基の 100 トンサイロを設置する例もある。

(2) 清浄

生乳中の微細な塵埃等を除去するためには、濾布によるフィルタでは不十分であり、通常クラリファイヤと称する遠心分離機を使用する。この工程で塵埃に付着する微生物も除去することができる。分離された塵埃は自動的に排出される。Figure 5.3.2 にクラリファイヤの構造を示す。

Figure 5.3.2 Cross-section of a Wesfaria-type Clarifier



- | | |
|--------------------------------------|--|
| ① Supply port | ⑧ Centri-pedal pump for sterilization hole |
| ② Inlet chamber (Soft stream system) | ⑨ Outlet for sterilized milk |
| ③ Supply to the disk set | ⑩ Separating disk |
| ④ Disk set | ⑪ Centri-pedal pump for concentrated germs |
| ⑤ Guide disk | ⑫ Discharge port for concentrated germs |
| ⑥ Riser hole | ⑬ Sliding piston |
| ⑦ Sludge accumulator | |

供給口 1 から供給された生乳は高速回転する多数枚の円錐形のホールで形成される狭い間隔の流路に流し出される。ボールと同じ速度で生乳が高速回転することによりボールの上昇孔 6 の部分に遠心力がかかり、比重の大きい塵埃、微生物はスラッジ堆積部 7 へ送られる。そして生乳は上昇孔 6 を経てボールの中心部へ流れ、ポンプ 8 によって吐出口 9 へ送られる。

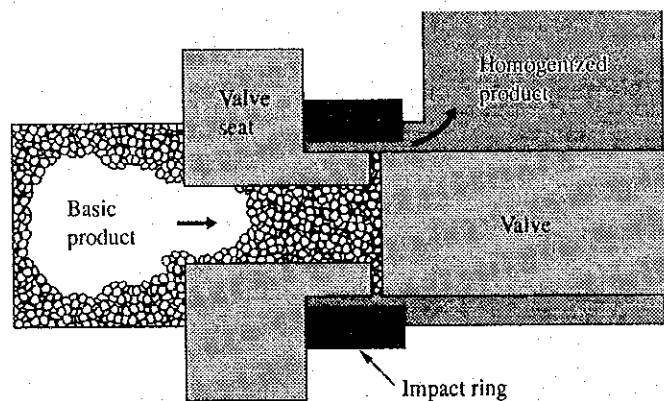
500 L/h~25,000 L/h の処理能力のものがあり、運転処理中にタイマー調整により、堆積したスラッジは機外へ排出される。同様の遠心力を利用した方式としては、牛乳中の脂肪分を分離するクリームセパレータがある。ほとんど同じ構造であるが、クリームセパレータは分離するための上昇孔の位置が中心部に寄っていることにより、比重の小さいクリーム分を分離している。この遠心分離方式によるクラリファイヤおよびセパレータで除菌も可能であり、特に孢子形成菌の除去に有効であることから、近年、市場拡大の傾向にある低温殺菌牛乳の処理に適していると言える。

(3) 均質

牛乳中には通常 3~4.5 % の脂肪が含まれているが、その脂肪球は 1~18 μm の大きさで懸濁している。通常生乳は放置しておくとも脂肪が浮上し、分離してく

る。したがって、この脂肪球を物理的に破壊し平均 $2\mu\text{m}$ の粒径にすることにより、長期間、安定した懸濁状態を保つことができる。この操作を均質工程 (ホモゲナイズ) と称する。生乳に 150 kg/cm^2 程度の圧力をかけ、狭い流路を通過させることにより、脂肪球を微細化している。最近、生乳本来の風味を好む傾向から、脂肪球粒子を大きめにし、若干のクリーム分離を嗜好する向きも出てきた。Figure 5.3.3 に均質機構の原理を示す。

Figure 5.3.3 Theory of Homogenizing Mechanism



バルブシートの小さい間隙を通過し、急速に速度を増し、低圧部に噴出され、脂肪球は微細化される。バルブ部で高速で通過する時に激しい乱流とキャピテーションにより、粒子間の剪断力を生じ破壊され、さらに低圧部に噴出され、脂肪球の高圧から急速な圧力変化による爆発作用あるいはインパクトリングへの衝撃圧による粒子の粉砕が行われる。

(4) 殺菌

牛乳の殺菌は蒸気を加熱源とするプレート式熱交換器による加熱殺菌が一般的である。プレート式熱交換器は管式熱交換器に比較し、熱伝導率が高く短時間で殺菌温度まで加熱し、また短時間で貯蔵温度まで冷却できる点に特徴がある。日本における牛乳の殺菌は、UHT (超高温瞬時殺菌) と称する殺菌処理による牛乳が 90% 以上を占めるが、 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、2 秒間保持という高温殺菌にも関わらず、生乳本来の風味、栄養価の熱変成による損失を最小限に抑え、殺菌効果を上げることができるのもプレート式熱交換器の開発に負うところが大きい。

Figure 5.3.4 に牛乳の UHT 殺菌のフローシートを示す。4 °C 前後に冷却保蔵された生乳がミルクポンプによりプレート式熱交換器の第 1 熱交換部、第 1 加熱部に供給され、85 °C にまで昇温される。その後、保持タンクで約 6 分間保持することにより熱変成し易いタンパク質を変成させ、第 2 熱交換部、第 2 加熱部の高温部プレート面への付着を防止する。保持後、ホモゲナイザー (均質機) により脂肪球を微細化する。さらに第 2 熱交換部、第 2 加熱部を通じて 130 °C まで昇温され、2 秒間保持の後、直ちに第 2 熱交換部、第 1 熱交換部および冷却部を通じて 4 °C 以下まで冷却される。6 分間の保持時間を除けば約 30 秒で 130 °C まで加熱処理され、さらに約 30 秒の短時間で 4 °C 以下に冷却される。Figure 5.3.5 に時間経過の例を示す。プレート式熱交換器を中心に UHT 殺菌機はコンパクトにまとめることができる。

Figure 5.3.4 Flow Sheet of UHT Milk

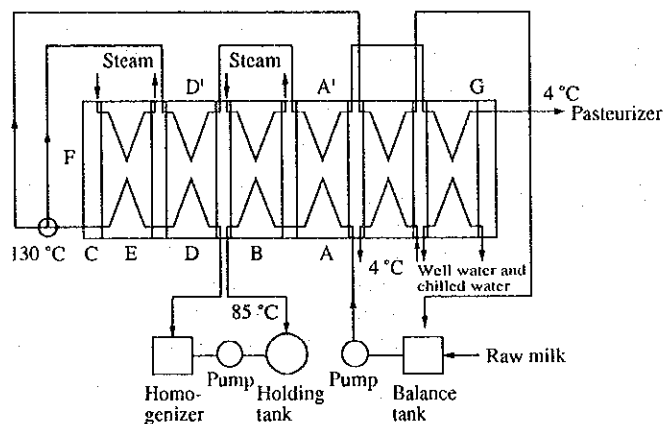
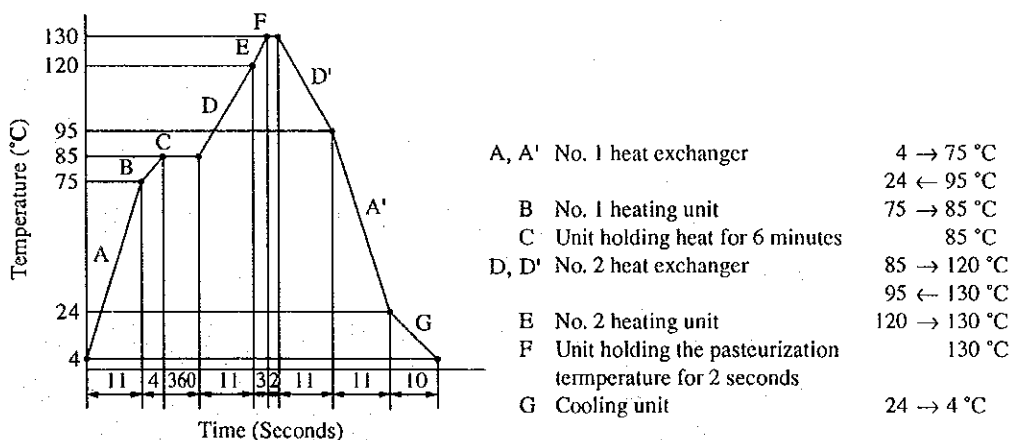


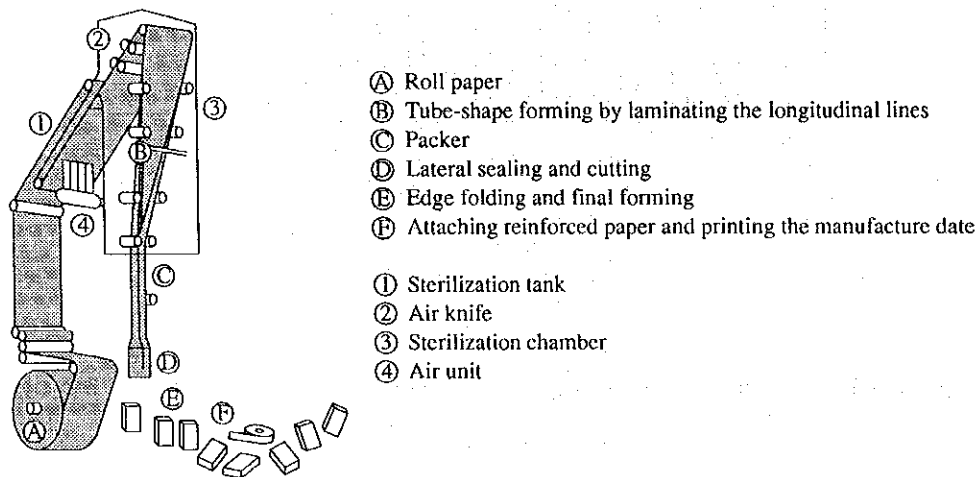
Figure 5.3.5 Temperature Change in the Pasteurization Time of UHT Milk



(5) 充填

近年、牛乳の充填容器はほとんど紙容器である。その要因としては ① 高速化、② 大量処理、③ ワンウェー化、④ 保存性向上、⑤ 容器の大型化などのニーズが考えられこれら要求に応えるものとしての紙容器充填機の開発改良に負うところが大きい。しかし、一方、地球環境、資源回収、エネルギー資源などの問題から、今一度ガラス容器の見直しも検討されなければならない。紙容器充填機はロール用紙より成形充填密封する方式 (テトラブリック社製、Figure 5.3.6 参照) と、あらかじめ用紙を打ち抜き、折り目を付け、充填機で容器を成形し充填する方式 (ヤスダファインチ社製) がある。いずれもアセプティック充填 (滅菌充填) が可能な充填機が開発されており、ロングライフミルクの普及に貢献している。テトラブリック方式の充填機は据付面積より高さを必要とするが、ピュアパック方式の充填機は高さを必要としないが、長さを必要とするところに特徴がある。

Figure 5.3.6 Tetra Brick Type Aseptic Packing



(6) 洗浄

殺菌、充填が終了後、各設備機器、配管ラインは洗浄が必要である。最近の工場はほとんどが C.I.P. (Cleaning In Place 定置洗浄) により行われている。まず、設備、機器、配管ライン中に残留している製品をできる限り滅菌水により水押し、回収する。その後、温水リンス、アルカリ洗浄、温水リンス、酸洗浄、温水リンス、滅菌水の順で配管ライン、設備内部を液封し、外気の侵入による内

面の2次汚染を防止し、洗浄後の無菌状態を維持する。酸洗浄を行うのはUHT殺菌機のみで、通常、他の設備、配管ラインは温水とアルカリ洗浄で十分である。

a. C.I.Pユニット

乳業機械の洗浄はそのほとんどが分解手洗いすることなく、C.I.P.により、省力化と安全性の確保を果たしている。C.I.P.のメリットとしては、① 作業時間の短縮：分解、組立が不要。② 洗浄性の一定化：個人差がなく一定条件で洗浄が可能。③ 設備の耐用年数の増加：分解による損傷が防げる。④ 省エネルギー、省資源：一定条件による工程のためムダが省ける。⑤ 労働安全性の確保：洗剤による事故が少なくなる、などが挙げられる。

牛乳UHT殺菌機のC.I.P.は高温加熱部を有するプレート式熱交換器のプレート伝熱面のスケールを洗浄することがポイントである。スケール付着発生の原因としては① 加熱温度、② 伝熱面流動分布、③ 伝熱面温度、④ 空気存在、⑤ 伝熱面の表面粗さなどが考えられる。牛乳UHT殺菌機のプレート式熱交換器のプレート伝熱面のスケール組成の分析の一例をTable 5.3.1に示す。第1熱交換部、第1加熱部まではタンパク質を中心とした黄褐色状のスケールが厚く付着し、第2熱交換部、第2加熱部はミネラル分が主体で白色の薄膜状のスケールが付着する。このスケール成分の組成によって使用する洗剤は変えられなければならない。タンパク主成分のスケール除去のためには2~3%のアルカリ性洗剤、ミネラル分のスケール除去のためには1%程度の酸性洗剤が使用される。Figure 5.3.7にC.I.P.ユニットのフローシートを示す。パイプラインの洗浄は $Re > 30,000$ 以上になるよう高流速で洗浄液を流動させることによって、パイプ内面に付着するスケールを洗浄除去する。

Figure 5.3.8にタンクC.I.P.ボールが取り付けられた図を示す。タンク内面全てに確実に洗浄されるようC.I.P.ボールの孔の位置、噴射速度を決定しなければならない。

Table 5.3.1 Components of Milk Scales (Unit: % in dry milk)

	Protein	Fat	Ash
Primary heat exchanger	59.7	12.8	25.8
Primary heater	62.1	24.1	14.6
Secondary heat exchanger	13.0	5.0	72.0
Secondary heater	19.4	8.3	68.2

Figure 5.3.7 Flow Sheet of C.I.P. Unit

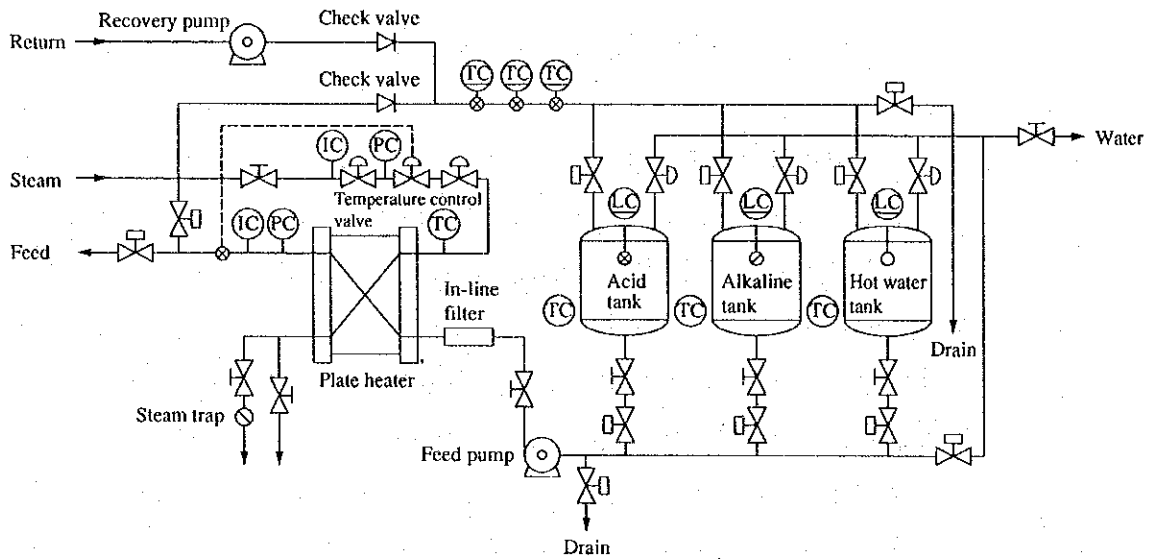
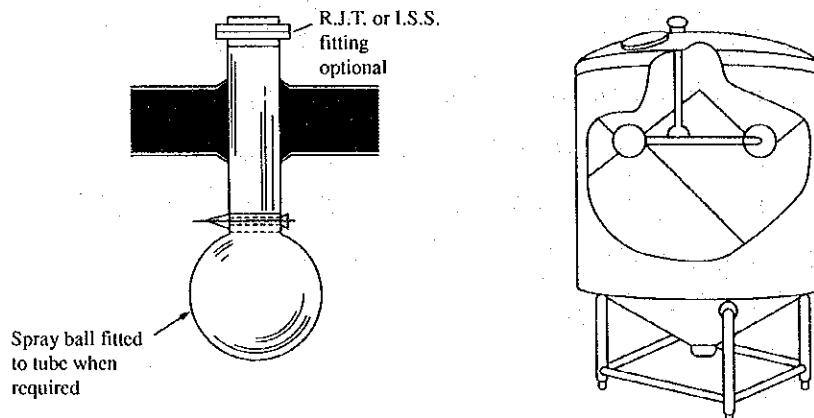


Figure 5.3.8 C.I.P. Spray Ball and Tank



b. サニタリー自動バルブ

従来より、乳業工場の製造プラントは製造運転の安定化、安全性、衛生性の面から製造、洗浄の全ての工程について自動化と集中管理が進められてきた。製造ラインの自動化、洗浄工程への切り替えの自動化、および異種製品の混合防止、製品と洗浄液混合に対する防止等は重要であり、そのために自動バルブの果たす役割は大きい。このため種々の改良開発がなされてきた。今日ではほとんどの食品工場でエア作動による自動バルブが採用されている。

5.3.2 エネルギー使用の合理的対策

牛乳工場のエネルギー多消費部門は、受乳工程の貯蔵サイロ内の原料乳の冷却装置、殺菌工程の蒸気による加熱殺菌装置、包装貯蔵工程の冷却装置である。

エネルギー使用の合理化を進めるにあたっては、先ず現在消費されているエネルギー量を把握することが必要となる。

(1) エネルギー原単位及びエネルギー使用比率

日本における乳製品工場のエネルギー原単位の例を Table 5.3.2 に示す。

この工場では、牛乳生産 80 %で、その他 20 %は飲料、クリーム、デザート等を生産している。

Table 5.3.2 Energy Intensity in Milk Factory

Energy	Intensity
Fuel	2,320 MJ/t
Electricity	1,128 MJ/t
Total	3,448 MJ/t

(2) 気温によるエネルギー原単位変動

牛乳工場では、夏期と冬期で同一製品、同一生産量の場合に、電力消費量は夏期に多く、冬期に少ない。一方、ボイラ用燃料は夏期に少なく、冬期に多い。冷凍機の運転と加熱装置の運転に気温の影響が大きいためである。夏期と冬期

のエネルギー消費原単位に、30%以上の差がある様な場合は、工場建屋の断熱は省エネルギー対策として効果的であり建家の構造改善等考慮する必要がある。

(3) 加熱殺菌

牛乳工場では加熱殺菌に蒸気を使用している。牛乳をプレート型熱交換器で殺菌する場合の連続運転時間は原料乳の乳質 (特に酸度) にもよるが、固形分の付着による熱交換器の効率低下を生じ、通常 3~4 時間である。CIP 操作を経て殺菌洗浄し、運転再開可能な状態とする。最近は、低温殺菌が好まれてきており熱交換器の伝熱面積を大きくとり、牛乳の熱変成を少なくするために、蒸気加熱から温水加熱に加熱方式が変化している。

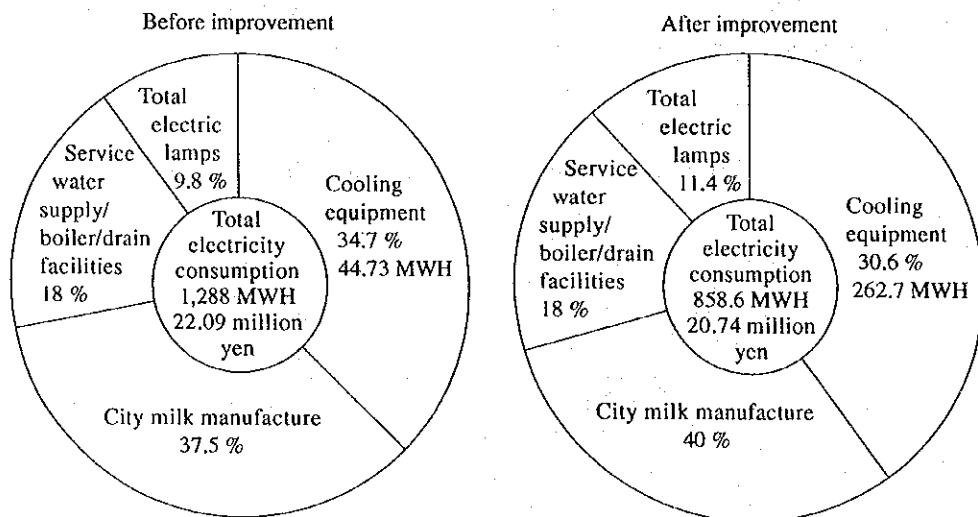
(4) 冷却設備の改善による電力節減事例

工場の生產品目 : 牛乳及び乳飲料

エネルギー消費量 : 燃料 (重油) : 328 kL/y

電力 : 859 MWh/y

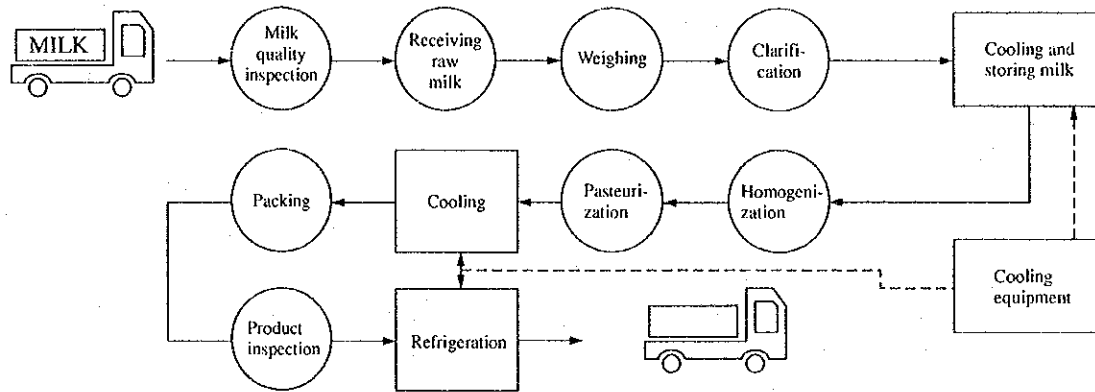
Figure 5.3.9 Electricity Use by Process before and after Improvement



この工場は 3 年間にわたって冷却装置の改善を行い、冷却装置部門の電力使用量を 41%削減した。改善前後の部門別電力使用量を、Figure 5.3.9 に示す。Figure 5.3.10 に示すように、冷却設備としては生牛乳受入清浄後の貯乳冷却、殺菌後

の冷却及び成品の冷蔵用があるが当該工場ではこれら冷却用にチルド水を使用している。

Figure 5.3.10 Process Flow and Chilled Water Supply

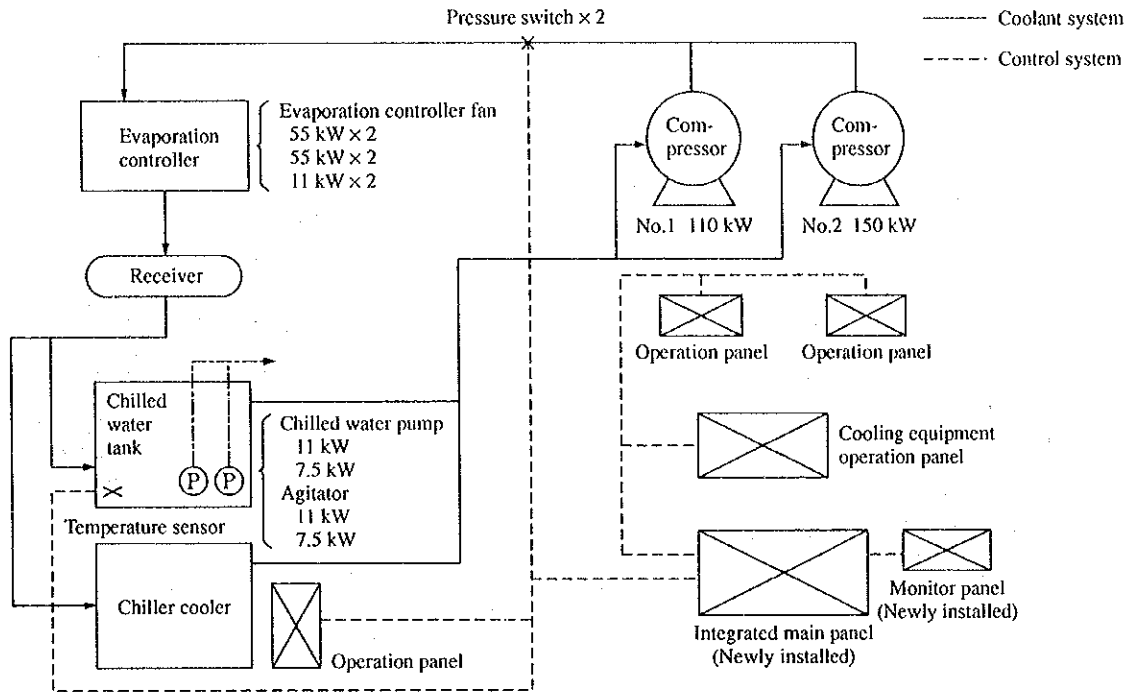


冷却設備における問題点と対策を Table 5.3.3 に示す。改善後の冷凍冷却設備のフローシートを Figure 5.3.11 に示す。

Table 5.3.3 Problems and Measures related to the Chiller and Cooling system

Problems	Measures
1. There are two chilled water coolers, whose capacity is too large.	These coolers should be integrated with the large-capacity cooling tank in the chiller room, and can be easily monitored by the operation. (Implemented in the third year)
2. The low-efficiency 150 kW chiller is often used for light-load operations.	Operation should be mainly based on the 110 kW type. (Implemented in the first year)
3. The 11 kW chilled pump is run during both in peak-load time and light-load time, resulting in a waste of electricity.	One of the two 11 kW pumps should be replaced by a 7.5 kW type. During the light-load time, operation is automatically switched to the 7.5 kW type. (Implemented in July, 1983)
4. Two 11 kW chilled agitators are used for mixing. Can energy-saving be achieved by replacing one with a 7.5 kW type?	A spare 7.5 kW agitator should be used. (Implemented in the third year)
5. The operator runs the cooler by checking the thermometer visually for temperature control of the refrigerator. Therefore, this operation depends on each operator's ability.	A temperature sensor is installed for automatic start/stop. (Implementation in the second year)
6. The condenser fan is manually operated by the operator. Therefore, this operation depends on each operator.	Two pressure sensors are installed on the high-pressure side for automatic start/stop. (Implementation in the third year)
7. The boiler monitoring room is set apart from the chiller monitoring room; thus two operators are always required.	The chiller operation annunciator panel is installed in the boiler monitoring room. (Implementation in the third year)
8. Chiller operation does not immediately respond to the load.	A temperature sensor was installed for precise unloader control. (Implemented in the third year)

Figure 5.3.11 Flow Sheet of the Chiller and Cooling System after Improvement



(5) ガスエンジン駆動冷凍システムによる電力節減事例

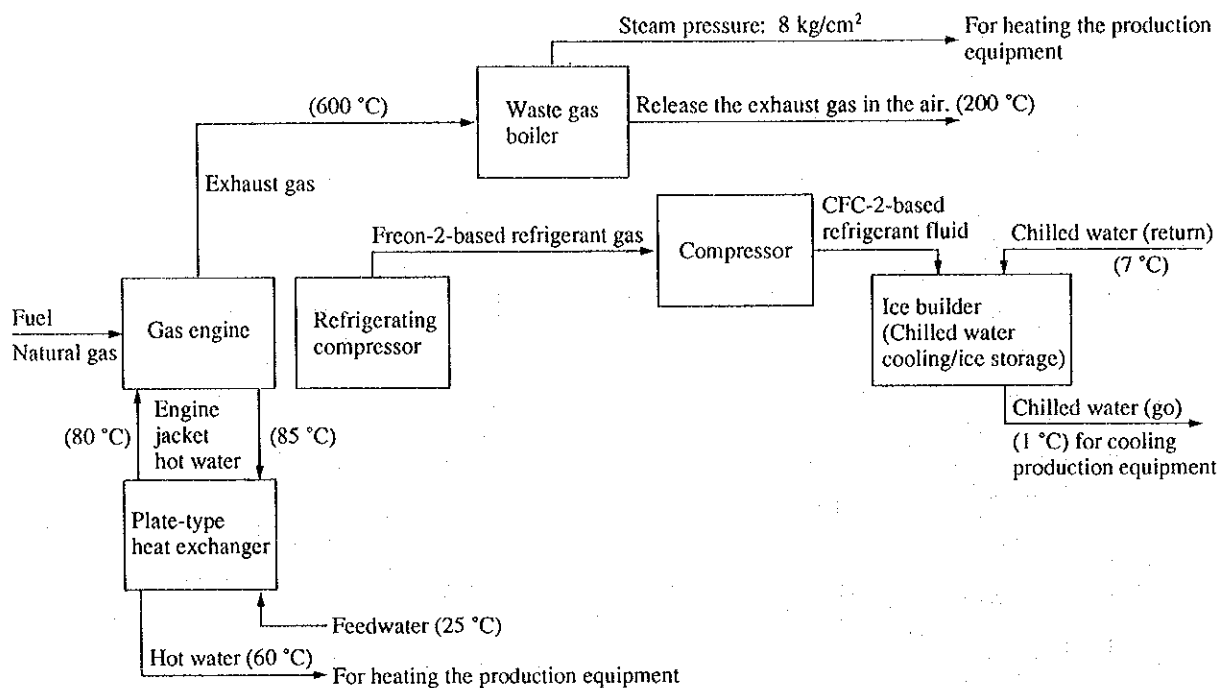
工場の生産品目：牛乳、ヨーグルト

従業員数：200人

年間エネルギー使用金額：

電力用 95,000,000 円、ガス用 134,000,000 円、計 229,000,000 円

Figure 5.3.12 Conceptual Diagram of Flow for Gas Engine-operated Refrigeration System



氷蓄熱冷凍システムの冷凍圧縮機をガスエンジンで駆動する。ガスエンジンジャケットで発生する温水を生産工程で利用する。

ガスエンジン排ガスを熱源とする排ガスボイラにより蒸気を発生させ、生産工程で利用する。

設備費：130,000,000 円

省電力による投資回収年数：約3年

本改善により既設ボイラが不要となった。排ガスボイラ、アイズビルダ等の新設に120,000,000 円を要したが、燃料費の節減で予定どおり投資回収を果たしている。

(6) 冷凍機吐出ガスの熱回収事例

工場の生産品目：牛乳、生クリーム及びアイスクリーム

年間エネルギー使用量：燃料(都市ガス)：2,500,000 m³

電力：8,500 MWh

食品工場では冷却装置としての冷凍機を多く使用している。工場で使用する電

力の 60~70 %は冷凍装置で占めている。冷凍機の吐出ガス温度は約 100 °C であるので、牛乳チルド水用冷凍機の吐出ガスの熱を回収して温水を作り、機器の洗浄用水などに使用し、燃料原単位を 38.2 m³/kL-Milk から 35.0 m³/kL-Milk に引き下げ、8%改善した。

その詳細は以下のとおりである。

牛乳チルド水用冷凍機 (冷媒 NH₃; レシプロ型 170 kW; 冷凍能力 191 JRT; 凝縮能力 220 JRT) の理論回収可能熱量は 3.06 GJ/h (= 220 JRT×13,900 kJ/JRT/h) である。工場で使用する用水は冷却用として、工業用水を使用し、また機器の洗浄用、飲料用として市上水道を使用している。飲料用以外は全て蒸気で加温しており、使用温度は通常の手洗いすすぎ用として 35~45 °C、CIP のすすぎ用として 60 °Cまで昇温している。

市上水道水の水温は、Table 5.3.4 に示すとおりである。水温 15 °C以下の 6ヶ月は NH₃ ガスの凝集熱を回収し、16 °C以上の 6ヶ月は圧縮熱量程度を回収する。経済計算は 11 月から 4 月までの 6ヶ月の熱量を使用した。月別水温、凝縮温度、回収熱量の計画を Table 5.3.5 に示す。

Table 5.3.4 Average Temperature of City Water by Month

Month	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Temperature	14	18	22	25	25	23	19	15	11	9	7	8

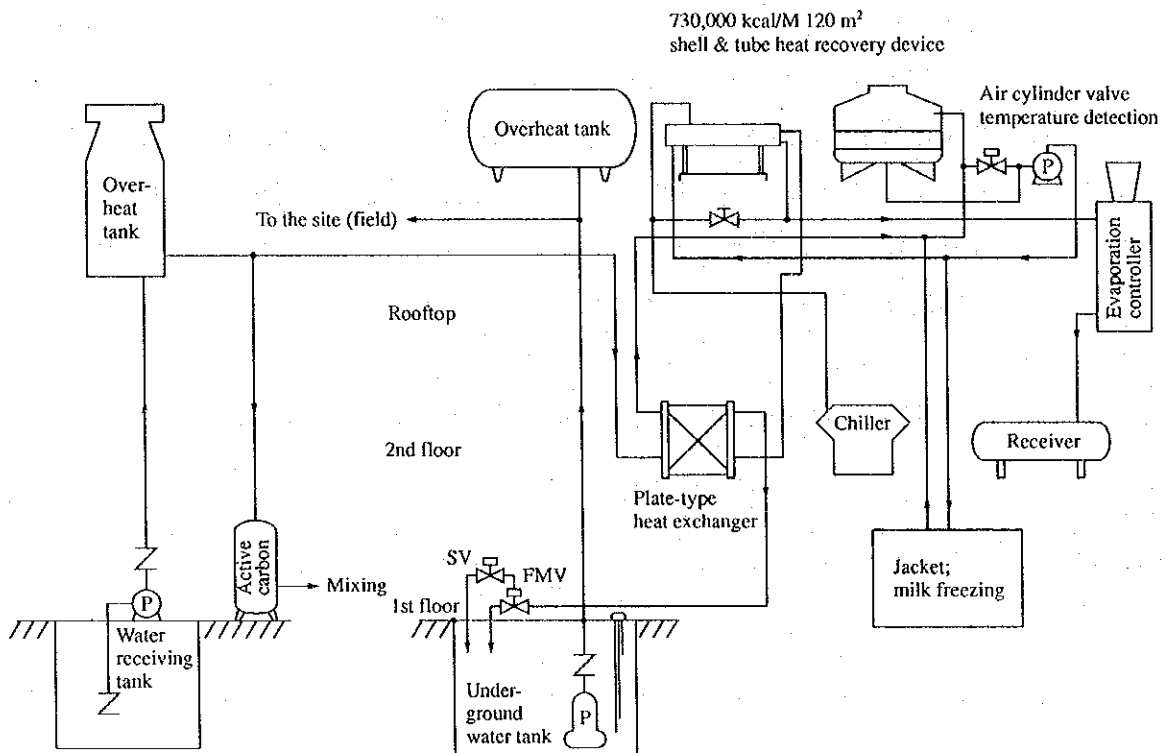
Table 5.3.5 Plan of Water Temperature, Condensation Temperature and Recovered Heat

Month	Primary heat exchanger		Secondary heat exchanger		Condensation temperature	JRT recovered heat value	Remarks
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet			
4	24	29	14	26	35	73967	
5 to 10							
11	25	30	15	27	35	80730	
12	26	33	11	23	33	67363	
1	24	31	9	21	31	54500	
2	22	30	7	19	30	50820	
3	23	30	8	20	30	63085	
Total						390465	

熱回収装置は食品工場の安全性を重視して2重熱交換とした。第1次はエバコン手前に、横型シェルアンドチューブコンデンサーを設置し、ここで熱交換された温水を更にプレートヒータで現場で使用する上水道水と熱交換する。万一冷媒 (NH₃) が装置から漏れても使用する上水道水に混入することは発生しない。熱回収後の上水道貯水槽として、保温性の高い内容積 200 m³ の地下タンクを使用した。

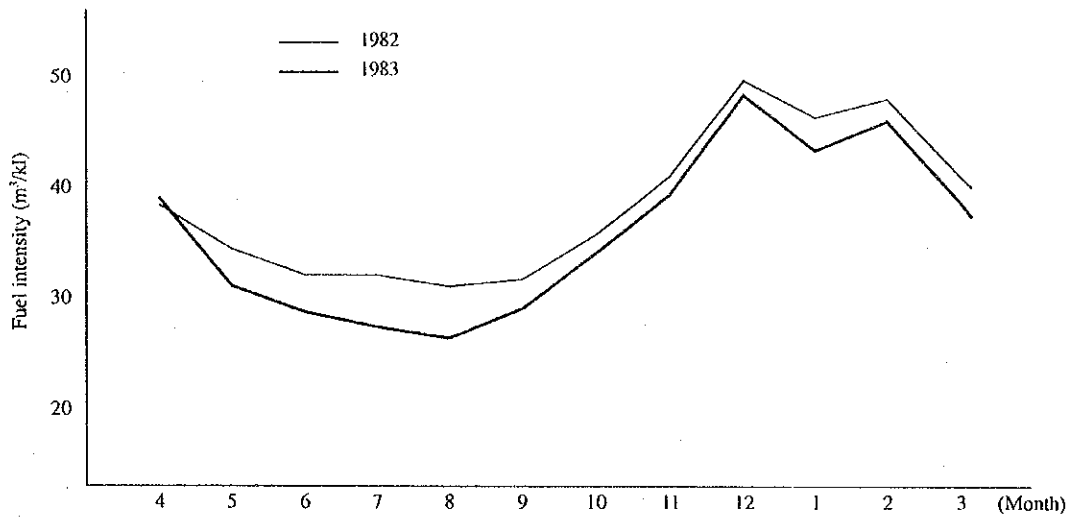
熱回収装置のフローシートを Figure 5.3.13 に示す。

Figure 5.3.13 Flow Sheet of Heat Recovery System



熱回収前後の燃料原単位の推移を Figure 5.3.14 に示す。燃料料金の高い冬期の使用量が低下している。また、デマンド契約量 (時間最大) は 980 m³ から 930 m³ に低下し、燃料費の削減に効果があった。

Figure 5.3.14 Trend of Fuel Intensity before and after Heat Recovery



6. 照明の省エネルギー

6. 照明の省エネルギー

6.1 照明用語と単位

6.1.1 光束

光源からは、いろいろな波長のエネルギーが放射されるが、このうち 380～780 nm の波長範囲だけが光として人間の目に感じる。単位時間にある面を通過する放射エネルギーの量を放射束という。放射束を目の感度のフィルタ (視感度) にかけてみた量を光束といい、単位はルーメン [lm] である。

6.1.2 光度

光源から光が四方にでていても、方向により光の強さが異なることが多い。このような各方向への光の強さを表すのに光度が使用され、ある方向への単位立体角当たりの光束で与えられる。単位はカンデラ [cd] である。

6.1.3 照度

光源によって照らされている面の明るさの程度を表すのに照度が使用され、単位面積当たりに入射する光束で与えられる。単位はルクス [lx] である。

6.1.4 輝度

光源などをみた場合、強く輝いているものとそうでないものがある。これは各部分から目に入ってくる光束量が異なっているため、このように人間がものをみたときに感じる明るさに対応した量として輝度が使用される。発光面上のある一点における与えられた方向への輝度は、その点を含む微小面積の与えられた方向の光度を、微小面積のその方向への見かけの面積で除したものであり、単位はカンデラ / 平方メートル [cd/m^2] である。

6.1.5 光束発散度

ある面の明るさは照度で表されるが、人間の目に感じられる明るさの程度として光束発散度を使用され、単位面積から発散する光束で与えられる。単位はルーメン / 平方メートル [lm/m^2] である。

6.1.6 配光

光源あるいは照明器具の各方向に対する光度の分布を配光という。また、光源の中心あるいは照明器具の測光中心から、空間のあらゆる方向へ放射される光の光度分布を表した曲線を配光曲線という。

6.2 光源の色温度と演色性

6.2.1 色温度

黒体 (完全放射体) を加熱し、温度を上げていくと、光を発するようになる。この光は、黒体の表面温度に依存し、温度とともに輝きを増す。色も赤からだんだんと白みを増し、赤→黄赤→白→青みの白に変化する。光源の色温度は、黒体の光の色とある光源の見かけの光の色とが等しくなったときの黒体の絶対温度 (K:ケルビン) で表す。

6.2.2 演色性

照明する光の組成が異なっていると、同一物体から反射される光の組成が異なるため、色の見え方が異なってしまう。このように照明光が物体の色の見え方に及ぼす影響を演色といい、光源の演色がよいか悪いかを知る尺度として演色評価数を使用する。演色評価数は 15 種類の試験色をあるランプで照明したときの色の見え方と、そのランプの色温度と等しい色温度の基準光源で照明したときの色の見え方を比較し、その色ずれの大きさを数値で示したものである。平均演色評価数 Ra は 15 種類の試験色のうち、中程度の鮮やかさで、明るさが等しい 8 種類の色相を持つ個々の試験色のずれの平均値で表わされる。

6.3 光源

6.3.1 光源の性能要素

一般照明用の光源には、白熱電球、蛍光ランプおよび HID ランプ (High Intensity Discharge Lamp の略で、高圧水銀ランプ、メタルハライドランプおよび高圧ナトリウムランプの総称である) が使用されている。これらの光源の性能を表現する主要素を Table 6.1 に示す。

Table 6.1 Performance Factors of Light Source

Element	Description
1. Total luminous flux	The amount of light radiated from a light source per unit time. Unit: lm
2. Lamp efficiency	Value obtained by dividing the total luminous flux of a light source (lamp) by the input power of a lamp. Unit: lm/W
3. Overall efficiency	Value obtained by dividing the total luminous flux of a light source (lamp) by the input power of a lamp and a lighting circuit. Unit: lm/W The loss of input power is 5 to 20 % depending on the type of lighting circuit.
4. Light color	The color temperature (K) serves as a guide. The color of an incandescent lamp is approximately 2,850K, and that of a daylight is approximately 6,500 K.
5. Color rendering properties	Expressed by the color rendering index Ra. A lamp whose Ra value is closer to 100 has better color rendering properties.
6. Luminance	When a lamp has high luminance, it will affect glare. Unit: cd/m ²
7. Life	The period until the life of a light ends or until the luminous flux drops below the specified value, whichever comes first. The rated life indicated by a manufacturer means average life when a number of light sources are used under normal conditions.
8. Lumen maintenance factor	A value (%) obtained by dividing the luminous flux value of the rated life period by the initial luminous flux value.
9. Starting characteristics	Indicates the initial startup state of lighting. The luminous flux of an incandescent lamp and fluorescent lamp stabilizes comparatively fast. However, it takes several minutes or more until the luminous flux of a HID lamp becomes stable.
10. Dimming	Dimming may be necessary for power saving. Incandescent and fluorescent lamps can be dimmed in a continuous dimming operation. A mercury lamp and high-pressure sodium lamp can be dimmed stepwise only.

6.3.2 白熱電球

ガラス球内のフィラメントに電流を流すことにより、2,000℃以上に加熱し、熱放射による発光を利用したランプである。その特徴を以下に示す。

- (1) 点光源に近く、光の制御が容易である。
- (2) 演色性が極めて優れ、暖かい白光色である。
- (3) 点灯が簡単で安定器が不要である (電球以外は安定器が必要)
- (4) 調光が連続的にできる。
- (5) 光束維持率がよい。
- (6) 効率が低く、寿命も短い。
- (7) 電源電圧の影響を受けやすい (特に寿命)
- (8) 熱線 (赤外線) 放射が多い。

6.3.3 蛍光ランプ

低圧 (0.6~0.8 Pa) の水銀蒸気中の放電により放射される紫外線 (主に 253.7 nm と 185 nm の波長) が蛍光体を励起して、可視光に変換した光を主として利用するランプである。その特徴を以下に示す。

- (1) 効率が高く、長寿命である。
- (2) 光色の種類が多い。
- (3) ランプは管状で、表面輝度が低くまぶしさが少ない。

- (4) ランプの表面温度が低い。
- (5) 周囲温度の影響を受けやすい。
- (6) 寸法 (長さ) が比較的大きい。
- (7) 高出力のものがない (最大 220 W)
- (8) 調光は連続的にできる。

6.3.4 高圧水銀ランプ

100 kPa 以上の水銀蒸気圧中のアーク放電により放射される光を利用する高輝度放電ランプである。その特徴を以下に示す。

- (1) ランプの発光部が小形で、光の制御が比較的容易である。
- (2) 大きさ (ワット) の種類が多い (40 kW~20 kW)。
- (3) 寿命が長い。
- (4) 始動、再始動に時間がかかる。
- (5) 演色性が不十分である。
- (6) 調光は段階的のみ可能。

6.3.5 メタルハライドランプ

金属のハロゲン化合物 (ナトリウム、タリウム、インジウム、スカンジウム、ジスプロシウム、すずなどのよう化物の単体または組み合わせ) の蒸気中のアーク放電により放射される金属特有の光を利用する高輝度放電ランプである。その特徴を以下に

示す。

- (1) ランプの発光部が小形で、光の制御が比較的容易である。
- (2) 種々の大きさ (ワット) のものがある (50 W~2 kW)
- (3) 種々の光色があり、高演色のものもある。
- (4) 始動、再始動に時間がかかる。
- (5) 点灯時間の経過に伴い光色のぼらつきが生じることがある。
- (6) 調光ができない。

6.3.6 高圧ナトリウムランプ

10 kPa 程度のナトリウム蒸気圧中のアーク放電により放射される光を利用する高輝度放電ランプである。その特徴を以下に示す。

- (1) 一般の照明用光源 (近白色光源) の中で効率が最も高い。
- (2) ランプの発光部が小形で、光の制御が比較的容易である。
- (3) 種々の大きさ (ワット) のものがある (35 W~1 kW)。
- (4) 寿命が長く、光束維持率も優れている。
- (5) 始動、再始動に時間がかかる。他の HID ランプより短い。
- (6) 一般の光色は黄白色で、演色性は低い。高演色のものもある。
- (7) 電源電圧変動による光束の変化が大きい。

(8) 調光は段階的のみ可能。

6.3.7 低圧ナトリウムランプ

0.5 Pa 程度のナトリウム蒸気圧中のアーク放電から放射される、主として黄橙色のD線 (589.0 nm および 589.6 nm) の発光を利用する熱陰極放電ランプである。ランプ効率は実用光源の中でもっとも高いが、黄橙色の単光色のため演色性はきわめて悪く、色別は不可能である。

6.3.8 各種光源の特性比較

一般照明用として、白熱電球、蛍光ランプ、高圧水銀ランプ、メタルハライドランプおよび高圧ナトリウムランプが使用されている。これらの光源はそれぞれ特徴があり、照明の目的、用途を考慮して光源を選択することが大切である。そのための参考として各種光源の比較表を Table 6.2 に、用途を Table 6.3 に示す。

また各種光源の寿命特性である残存率特性および光束維持特性を Figure 6.1 に示す。

Table 6.2 Comparative Examples of the Characteristics of Various Light Sources

Type of light source		Lamp power (W)	Total luminous flux ¹ (lm)	Lamp efficiency (lm/W)	Overall efficiency ² (lm/W)	Color temperature (K)	Average color rendering index Ra	Life (h)	
Incandescent lamps	White coated lamp	100	1,520	15.2	15.2	2,850	100	1,000	
	White thin film coated lamp*	95	1,520	16.0	16.0	2,850	100	1,000	
	White coated ball lamp	100	1370	13.7	13.7	2,850	100	2,000	
	Floodlighting tungsten halogen lamp	500	10,500	21.0	21.0	3,000	100	2,000	
	Small tungsten halogen lamp	500	9,500	19.0	19.0	3,000	100	2,000	
Fluorescent lamps	Fluorescent lamp White	40	3,100	78	61	4,200	64	12,000	
	Fluorescent lamp High color rendering	40	2,400	60	47	5,000	92	12,000	
	Fluorescent lamp* White	37	3,100	84	67	4,200	64	12,000	
	Fluorescent lamp* 3-wavelength zone luminescence type	37	3,350	91	73	5,000	84	12,000	
	Rapid start fluorescent lamp White	40	3,000	75	59	4,200	64	12,000	
	Rapid start fluorescent lamp High color rendering	40	2,380	60	47	5,000	92	12,000	
	Rapid start fluorescent lamp 3-wavelength zone luminescence type	40	3,450	79	68	5,000	88	12,000	
	Rapid start fluorescent lamp* White	36	3,000	83	65	4,200	64	12,000	
	Compact type fluorescent lamp (Dual-tube type) 3-wavelength zone luminescence type	36	2,900	81	67	5,000	88	7,500	
	Bulb type fluorescent lamp (ball shape) Bulb color	17	760	45	45	2,800	82	6,000	
	Hf fluorescent lamp (Dedicated lamp for high frequency lighting)	32	3,200	100	84	5,000	88	12,000	
	HID lamp	Mercury lamp Transparent	400	20,500	51	48	5,800	23	12,000
		Fluorescent mercury lamp	400	22,000	55	52	4,100	44	12,000
Mercury lamp with built-in ballast stabilizer		500	14,000	28	28	4,200	57	9,000	
Metal halide lamp Diffusion type		400	32,000	80	76	5,000	65	9,000	
Metal halide lamp, low starting voltage type Diffusion type		400	38,000	95	87	3,800	70	9,000	
Metal halide lamp High color rendering		400	19,000	48	41	5,000	92	6,000	
High-pressure sodium lamp Diffusion type		400	50,000	125	111	2,100	25	12,000	
High-pressure sodium lamp, high color rendering type Diffusion type		400	21,500	54	48	2,500	85	9,000	
High-pressure sodium lamp, with built-in starter* Diffusion type		360	48,500	135	121	2,100	25	12,000	
High-pressure sodium lamp, improved color rendering type* Diffusion type		360	36,000	100	90	2,100	60	12,000	
Low-pressure sodium lamp		180	31,500	175	140	--	--	9,000	

Lamps marked with an asterisk (*) have a power-saving design.

*1: The total luminous flux for an incandescent lamp indicates a zero-hour value; that for other lamps indicates a 100-hour value.

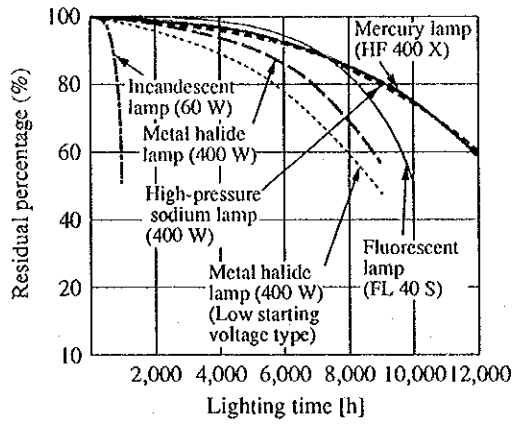
*2: Indicates the efficiency including the ballast stabilizer loss. The calculation is performed assuming that the ballast stabilizer is a 200 V single-lamp high-power-factor model.

Table 6.3 Selection of Lamps from Standpoints of Typical Applications

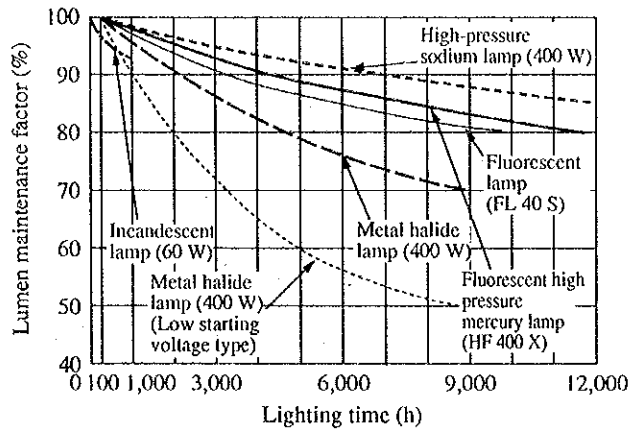
Class of lamps		Incandescent lamp		Fluorescent lamp			Mercury lamp			Halide lamp	Sodium lamp		Xenon lamp		
		General lamp	Reflector lamp	Halogen lamp	General fluorescent lamp	High color rendering properties	High output type	Transparent mercury lamp	Fluorescent mercury lamp	Reflector mercury lamp	Stabilizer built-in type	General type		High lustrous type	High pressure
Residence		⊙	○	△	⊙	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Office	General office	△	△	△	⊙	△	○	×	×	×	×	△	△	×	×
	High-ceiling office, lobby	○	○	○	○	△	○	×	○	△	⊙	○	×	×	△
	Single room, drawing room	○	○	△	⊙	○	×	×	△	×	×	△	△	×	×
Store	General stores	⊙	⊙	○	⊙	⊙	○	×	○	△	△	△	△	×	×
	High-ceiling stores	○	○	○	○	○	⊙	×	○	○	○	⊙	○	△	×
	Exhibits, showcase	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	○	×	△	△	○	○	○	×	×
Factory	Low-ceiling factory	△	△	○	⊙	○	○	×	△	△	△	△	△	△	×
	High-ceiling factory	△	△	○	△	△	⊙	×	⊙	○	○	⊙	○	○	×
	Warehouse	○	△	○	⊙	△	○	△	⊙	○	○	○	△	○	×
School	Class room	△	△	△	⊙	○	△	×	△	×	×	△	△	×	×
Hospital	Operating room	○	○	△	⊙	⊙	△	×	×	×	×	×	×	×	×
Theater, hall	Spectator's seats	⊙	⊙	⊙	⊙	○	△	×	△	△	△	○	○	×	×
	Stage	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○	×	△	△	△	△	△	×	×
Art museum, museum	General	⊙	⊙	○	○	⊙	△	×	△	△	△	○	○	×	×
	Exhibits	⊙	⊙	○	○	⊙	△	×	×	×	×	○	○	×	×
Roads	Automobiles exclusive roads	×	×	×	△	×	×	△	⊙	×	×	△	×	○	△
	Automobiles exclusive tunnel	×	×	×	△	×	×	△	○	×	×	△	×	○	⊙
	Streets	△	×	×	○	×	×	△	⊙	△	△	△	△	○	△
	Shopping streets	○	×	○	○	△	⊙	×	⊙	△	△	⊙	△	○	×
	Roads in resident area	○	×	×	○	×	×	△	⊙	△	×	△	×	○	×
Parking zone	Indoor	△	△	△	⊙	×	○	×	○	△	△	△	△	○	×
	Outdoor	△	△	△	○	×	×	△	⊙	○	△	△	△	○	△
Open space, park, garden		○	△	△	○	△	×	△	⊙	△	△	○	△	○	×
	Structure	○	○	○	×	×	×	△	⊙	⊙	○	○	○	△	○
	Advertisement, signboards	○	⊙	⊙	○	○	○	△	⊙	⊙	△	○	○	△	×
Sports	Indoor	○	○	⊙	○	○	○	△	⊙	○	△	⊙	○	△	×
	Outdoor	○	○	○	×	×	×	△	⊙	○	△	⊙	○	⊙	×

Figure 6.1 shows the residual percentage characteristics and lumen maintenance factor which are the life characteristics of various light sources.

Figure 6.1 Life Characteristics of Various Light Sources



(a) Residual percentage curves of various light sources



(b) Lumen maintenance characteristics of various light sources (based on 100-hour lighting as 100% for lamps other than incandescent lamps)

6.4 工場照明

6.4.1 工場照明の目的

よい照明は、各種の視作業を容易にし、次のような効果がある。

(1) 作業能率の向上

適正な照度は神経の疲労を少くし、不良品を減少させ、作業能率が向上する。

(2) 作業安全の向上

物がはっきり見え、視界が広くなり、作業に対する注意が行きとどき、誤認などによる災害を防止することができる。

(3) 職場管理の徹底

作業並びに職場内の欠陥が指摘しやすくなり、整理整頓と環境衛生の気風が高まり、作業・設備などの管理の徹底ができる。

(4) 作業士気向上

照明をはじめ、作業環境の整った職場は、従業員の誇りと使命感を高め、働く意欲を喚起する。

6.4.2 よい工場照明

工場照明の良否には、次の要素があげられる。

- ・適正な照度および照度分布であること
- ・ちらつき、まぶしさのないこと
- ・光源の演色性が極端に悪くないこと
- ・経済性がよいこと

このうち適正な照度とは、作業の内容、対象物の大小、色彩などによって必要な値が決まってくる。日本では照度の基準値として JISZ 9110 で、Table 6.4 の値が推奨さ

れている。なお高年齢者に対しては、この基準値は若干増加させる必要がある。
 また、ちらつき、まぶしさは目の疲労の原因となり、作業に支障をきたし能率を低下させる。演色性についても、作業の内容によっては支障をきたすことがある。

Table 6.4 Illumination Standard for Factory

Illumination [lx]	Place	Operation
3,000	Instrument panel and control panel in control room, etc.	Exceedingly fine visual operation in manufacture of precision machines and electronic parts, printing factory, etc., such as ◦ assembly a, ◦ inspection a, ◦ test a, ◦ selection a, ◦ design, ◦ drawing.
2,000		
1,500	Design and drawing rooms	Fine visual operation in selection and inspection in textile mills, typesetting and proofreading in printing factory, analysis, etc. in chemical industry, such as ◦ assembly b, ◦ inspection b, ◦ test b, ◦ selection b.
1,000		
750	Control room	Ordinary visual operation in general manufacturing processes, etc., such as ◦ assembly c, ◦ inspection c, ◦ test c, ◦ selection c, ◦ packing a, ◦ desk work in warehouses.
500		
300	Electricity room and air conditioning machine room	Rough visual operation such as ◦ packing a, ◦ wrapping b, ◦ restricted operation
200		
150	Entrance/exit, corridor, passage, warehouses involving operation, staircases, lavatories	Very rough visual operation such as ◦ wrapping c, ◦ packing b, c ◦ restricted operation
100		
75	Indoor emergency staircases, warehouses, outdoor power equipment	Operation such as ◦ loading, unloading, load transfer, etc.
50		
30	Outdoor (for passage and safety guard within compound)	
20		
10		

6.5 照明の省エネルギー

工場や事務所などの全般照明の式として、次の式がよく知られている。

$$E = \frac{N \times F \times U \times M}{A} \quad (\text{lx}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、E : 照度 (lx)

A : 室の面積 (m²)

N : ランプ数

F : 1個のランプの発する光束 (lm)

U : 照明率 (注 1 参照)

M : 保守率 (注 2 参照)

(注 1) 照明率 ランプから出る全光束に対し作業面に入る光束の比で、器具の配光、取り付け位置、室の条件などによって違ってくる。

(注 2) 保守率 使用時間の経過とともに初期照度が低下する割合を予測した数字で、これは設備の保守をどの程度に実施するかによって変わるので、設計段階において定める。

(1) 式を変形して、照明に要する消費電力量を求めれば、

$$W \cdot H = \frac{N \times F}{\eta} \times t = \frac{A \times E \times t}{U \times M \times \eta} \quad [\text{Wh}] \quad \dots\dots\dots (2)$$

W・H : 消費電力量

η : ランプ効率

t : 点灯時間(時間)

となる。実際に消費される照明用電力は、この (2) 式に照明用配電線の損失を加えたものになるので、照明の省エネルギーとは次のように考えることができる。

- ・点灯時間を減らす
- ・配電線の損失を減らす

- ・照度を適正に保つ
- ・効率の高い器具を使用する
- ・照明率を上げる
- ・保守率を上げる

6.6 省エネルギーと具体策

6.6.1 点灯時間を減らすこと

具体策としては、次のことがとりあげられる。

- (1) 昼休みを含め、不用時の消灯
- (2) 窓際照明の個別消灯
- (3) こまめに消灯できるようスイッチを多く設ける。
- (4) 人とおりの少ない地帯の消灯
- (5) 屋外灯に自動点滅器あるいはタイマスイッチの採用
- (6) 無人の倉庫などでは、入退場する車両を検知し、自動的に点灯・消灯する。

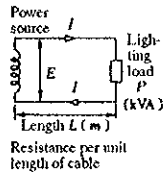
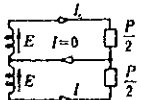
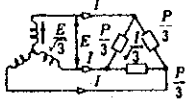
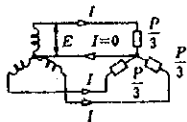
などであるが、いずれにしろこれらの対策は従業員の節電意識によるところが大きいので、その高揚に努める必要がある。

6.6.2 配電線の損失を減らすこと

配線方式によって、配電線の損失には相当の差異があるので (Table 6.5 参照)、設備新設時にはよく比較検討して決定することが望ましい。

このほか、配電電圧の格上げ、力率の改善なども検討すべき項目である。

Table 6.5 Comparison of Loss by Wiring System

Wiring system	Connection	Loss calculation	Loss ratio
Single-phase two-wire system		$P = EI \times 10^{-3} [\text{kVA}]$ $\text{Loss } W = I^2 \times 2LR_1 = \left(\frac{P}{E} \times 10^3 \right)^2 \times 2LR_1 = \frac{2P^2 LR_1}{E^2} \times 10^6 [\text{W}]$	100%
Single-phase three-wire system		$\frac{P}{2} = EI \times 10^{-3} [\text{kVA}]$ $W = 2I^2 LR_1 = \left(\frac{P}{2E} \times 10^3 \right)^2 \times 2LR_1 = \frac{P^2 LR_1}{2E^2} \times 10^6 [\text{W}]$	25%
Three-phase three-wire system		$\frac{P}{3} = E \times \frac{I}{\sqrt{3}} \times 10^{-3} [\text{kVA}]$ $W = 3I^2 LR_1 = \left(\frac{P \times 10^3}{\sqrt{3}E} \right)^2 \times 3LR_1 = \frac{P^2 LR_1}{E^2} \times 10^6 [\text{W}]$	50%
Three-phase four-wire system		$\frac{P}{3} = EI \times 10^{-3} [\text{kW}]$ $W = 3I^2 LR_1 = 3 \left(\frac{P \times 10^3}{3E} \right)^2 \times LR_1 = \frac{P^2 LR_1}{3E^2} \times 10^6 [\text{W}]$	16.7%

NOTE: Each cable size is same.

6.6.3 照度を適正に保つ

作業上必要な照度の確保はもちろん大切なことであるが、通路やあまり人の立ち入らない所、屋外照明などは照明レベルの見直しや、局所化を行うことが、省エネルギーのために大切である。

また工場新設時には、自然採光の取り入れも積極的に考えるべきである。

6.6.4 効率の高い器具を使用する

ここでいう器具とは、安定器、ランプおよび反射笠についてである。

Table 6.6 は安定器の特性の 1 例を示したものである。配電線のサイズを小さくするためには始動時の電流が小さい方がよく、配電線の損失軽減のためには力率がよい方がよい。しかし、これに反比例して重量、価格が増加していくので、機種を選定

には経済性の検討が必要である。

電子技術の進歩により安定器としてインバータを使用し、蛍光ランプを 10~50 [kHz] の高周波で点灯することにより、蛍光ランプの発光効率を高めちらつきを減らしたものが最近普及しつつある。調光が容易に行えるほか、安定器の小型・軽量化、損失減少などの特長がある。

Table 6.6 Example of Stabilizer Characteristic (for 400 W Mercury Lamp)

	Non-dimming type			Dimming type			
	Low power factor type	High power factor type	Constant power type	Constant power type		General type	
Input voltage (V)	200	200	200	200		200	
Voltage tap (V)	200, 220	200, 220	200	200		200,	220
Input current (A)				Normal	Dimmed	Normal	Dimmed
When starting	5.7	4.0	2.3	2.3	—	3.8	—
When stabilized	3.3	2.3	2.3	2.3	1.3	2.4	1.3
Input power (W)	425	425	435	435	255	432	255
Power factor (%)	64	90	95	95	95	90	95
Weight (kg)	4.6	5.2	10.0	13.5		7.0	
Volume ratio (%)	100	160	270	340		220	
Price ratio (%)	100	150	240	310		260	

6.6.5 照明率の向上

照明率とは、ランプから出る全光束に対し作業面に入る光束の比で、器具の配光取り付け位置、室の条件などによって違ってくる。Table 6.7 に照明率の例を示す。この表における室指数 RI は次式で算出する。

Table 6.7 Example of Utilization Factors

Reflectance																			
Ceiling					80%					50%									
Wall		60%			30%			10%			60%			30%			10%		
Floor surface		40%	20%	10%	40%	20%	10%	40%	20%	10%	40%	20%	10%	40%	20%	10%	40%	20%	10%
Room index	Utilization factor																		
0.60	.45	.42	.40	.31	.30	.30	.26	.25	.25	.41	.39	.38	.30	.29	.29	.25	.25	.25	.25
0.80	.56	.51	.49	.41	.39	.38	.35	.34	.33	.51	.48	.47	.39	.38	.37	.34	.33	.33	.33
1.00	.63	.57	.55	.47	.45	.44	.41	.40	.35	.57	.53	.52	.45	.44	.43	.40	.39	.38	.38
1.25	.71	.63	.60	.55	.52	.50	.48	.46	.45	.64	.59	.57	.52	.50	.49	.46	.45	.44	.44
1.50	.76	.66	.64	.61	.56	.54	.54	.51	.50	.68	.63	.61	.57	.54	.53	.52	.50	.49	.49
2.00	.85	.75	.70	.71	.65	.62	.64	.59	.57	.76	.70	.67	.66	.62	.60	.60	.58	.56	.56
2.50	.91	.79	.74	.78	.70	.66	.71	.65	.62	.80	.73	.70	.71	.67	.65	.66	.63	.61	.61
3.00	.95	.82	.76	.83	.74	.70	.77	.69	.66	.84	.76	.73	.76	.70	.68	.71	.67	.65	.65
4.00	1.01	.86	.80	.91	.79	.75	.85	.76	.71	.88	.80	.77	.82	.75	.72	.78	.72	.70	.70
5.00	1.09	.88	.82	.96	.84	.77	.91	.79	.78	.91	.82	.79	.88	.78	.78	.82	.76	.73	.73
10.00	1.13	.93	.86	1.08	.90	.84	1.05	.89	.82	.97	.87	.83	.94	.85	.81	.92	.84	.80	.80

$$RI = \frac{W \times L}{H(W + L)} \quad (3)$$

ここで、W : 室の間口 (m)

L : 室の奥行 (m)

H : 作業面からの光源高さ (m)

室指数は四角い室ほど大きな値となる。また照明率は内壁および床の反射率の高いほど、また室指数が大きいほど高い値となる。

6.6.6 保守率の向上

保守率とは、使用時間の経過とともに器具の汚れなどにより初期照度が低下する割合を予測した数字である。

したがって、保守率を向上させるためには、まず第一に、経年的な器具効率の低下割合の少ない器具を採用することであり、第二に、器具の定期清掃とランプの定期交換である。しかし、工場の実情をいうと人件費の上昇もあって球切れのときに、ランプの交換と器具の清掃を行うのがやむを得ぬ現実であろう。したがって、器具

効率の経年低下割合の少ない器具を使用するのが第一の対策となる。

Figure 6.2 に、ランプ自体の光束の減少傾向を、また Figure 6.3 に器具にほこりが累積した場合の光束の低下状態を示す。

Figure 6.2 Lumen Maintenance Characteristic of Various Light Sources

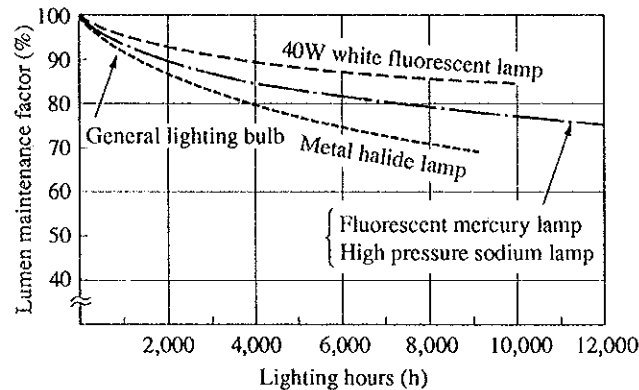
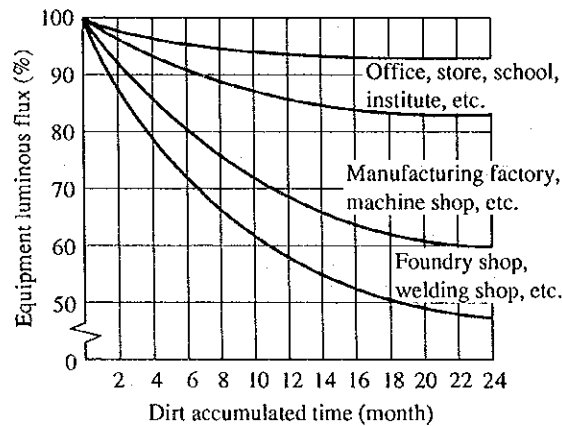


Figure 6.3 Lowered Lumen When Dirt Accumulated on Lamp and Lighting Equipment



6.6.7 その他

照明に関してその他注意すべきことは、電源電圧を変動させないことである。電動機などは $\pm 10\%$ の変動でも支障なく運転できるが、ランプは定格電圧でその機能が最高度に発揮され、また寿命も最も長くなるように作られている。したがって照明回路は、一般の動力回路とは分離し、かつ $\pm 5\%$ 以内の電圧変動に押えるようにすることが望ましい。

また周囲温度に関しても、メーカーの指定値を外れないように、注意することが大切である。