

5. 食用油工業の省エネルギー

5. 食 用 油

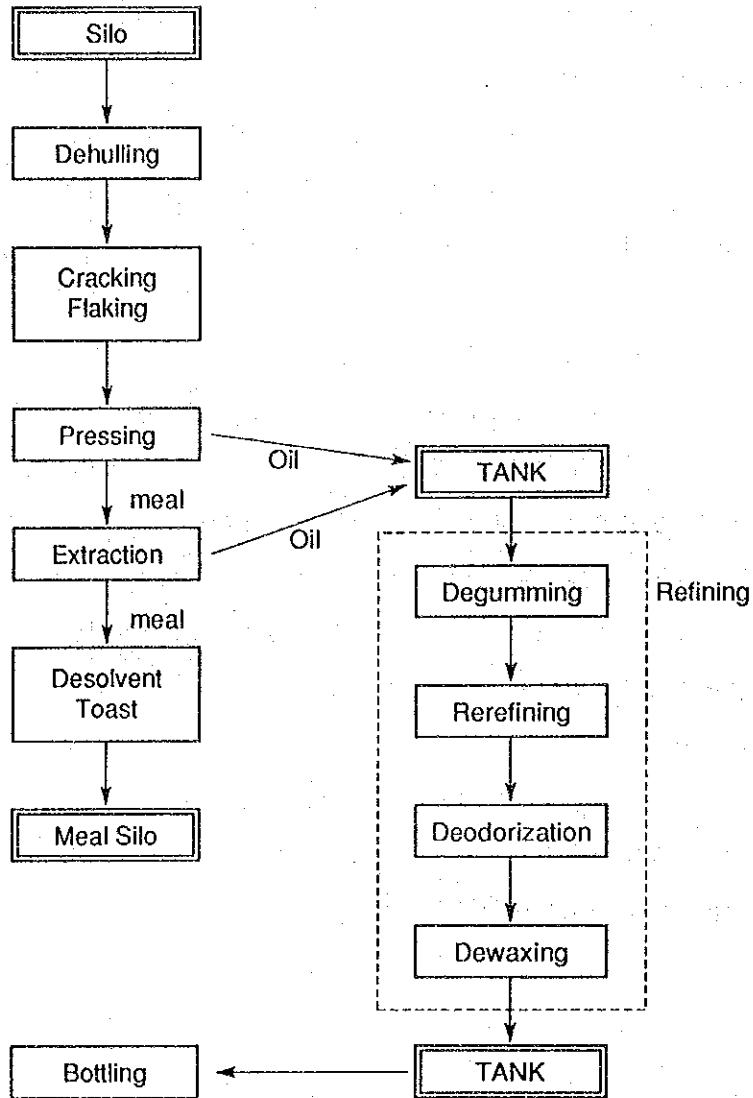
(1) 製造工程

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製造工場である。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・パーム等が多く使われている。ブルガリア国内ではヒマワリを使う事が多い。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（圧抽法）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後に充填される。Figure 5.1 に調査工場におけるヒマワリ油の製造工程を示す。植物油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事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・方式の違い等により多少の違いがみられる。

調査対象工場では、ヒマワリによる油脂製造が中心であるが、一部大豆の処理も行っている。大豆は油分が20%以下であるので、一般的には圧搾せずに直接抽出するが、ここでは抽出の能力不足を補うために圧抽法を採用している。

Figure 5.1 Process Flowchart for Sunflower Oil

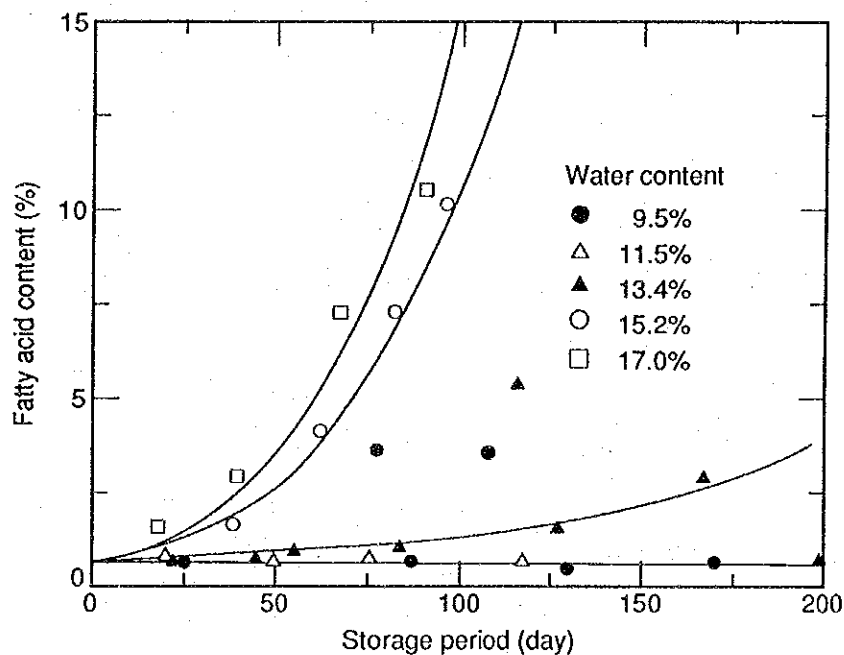


a. 压榨工程

油脂原料は茎、葉、その他の夾雑物を除去し、水分の多い場合は乾燥して一定の水分レベルにまで下げて貯蔵する。水分の多い原料を長期間保存すると、発熱して油分の酸価が高くなったり、油の脱色が困難になったり、さらには種子のタンパク質が変性したりして、いわゆる damaged seed になる。

綿実の水分と保存後の抽出油の酸価との関係を Figure 5.2 に示す。この図から貯蔵水分は12%以下が望ましい事がわかる。

Figure 5.2 Relation between Water Content and Value



1) 準備工程

压榨工程ではプレス機によって油分を絞るが、最適な状態でプレス出来るように原料種子の形状や水分・温度を予めコントロールする。プレス機にかける前の諸工程を前処理工程と呼ぶ事もある。

脱脂粕の製品規格の中には、必ずタンパク含量が決められているが、必要なタンパク量を確保するために、脱皮工程で皮の量を調整する事がある。調査対象工場で使用されているヒマワリ原料には22~23%の皮(殻)が含まれているが、脱皮工程において13%程度の皮をとっている。とった皮はボイラーの燃料に使用している。大豆の場合は脱脂粕を食用として利用する場合があります、その場合にも脱皮を行なう。

脱皮のあと、クラッシャーロールで軽く粉碎し、圧扁ロールで種子をフレーク状にした

後、クック中で加熱処理して水分と温度を調整する。フレークの厚みは0.2~0.4 mm程度にし、出来るだけ粉が発生しないようにするのが望ましい。

この他に、水分の高い原料では原料ドライヤを通したり、圧扁ロールの前でプレヒーターを通して予熱したりする事がある。ヒマワリの水分は6~7%と低く、原料ドライヤを使用しないことが多い。調査対象工場には原料ドライヤ設備はあるが、原料水分が低いために使用していない。また圧扁ロールの前のプレヒーター設備はない。

2) プレス

クックで水分と温度を調整された原料は、プレス機にかけて油を取り出す。クッカ及びプレス機を Figure 5.3 に示す。プレス機でとれる油の量は、入口の水分・温度によって変化する。一般に温度が高く、水分が低い程、プレス機出口粕の残油分は減少する。ヒマワリの場合、プレス機入口における水分は3~5%、温度は100~120℃でプレスされ、プレス機出口粕の油分を20%程度にして抽出工程へ送られる。

プレス機から取り出された油（圧搾油）は、抽出油と一緒に精製工程へ送られるが、圧搾油には粕が多く含まれているので、濾過機などで粕分を除去する。一般に圧搾油は抽出油と比べて精製しやすい性質を持っている。

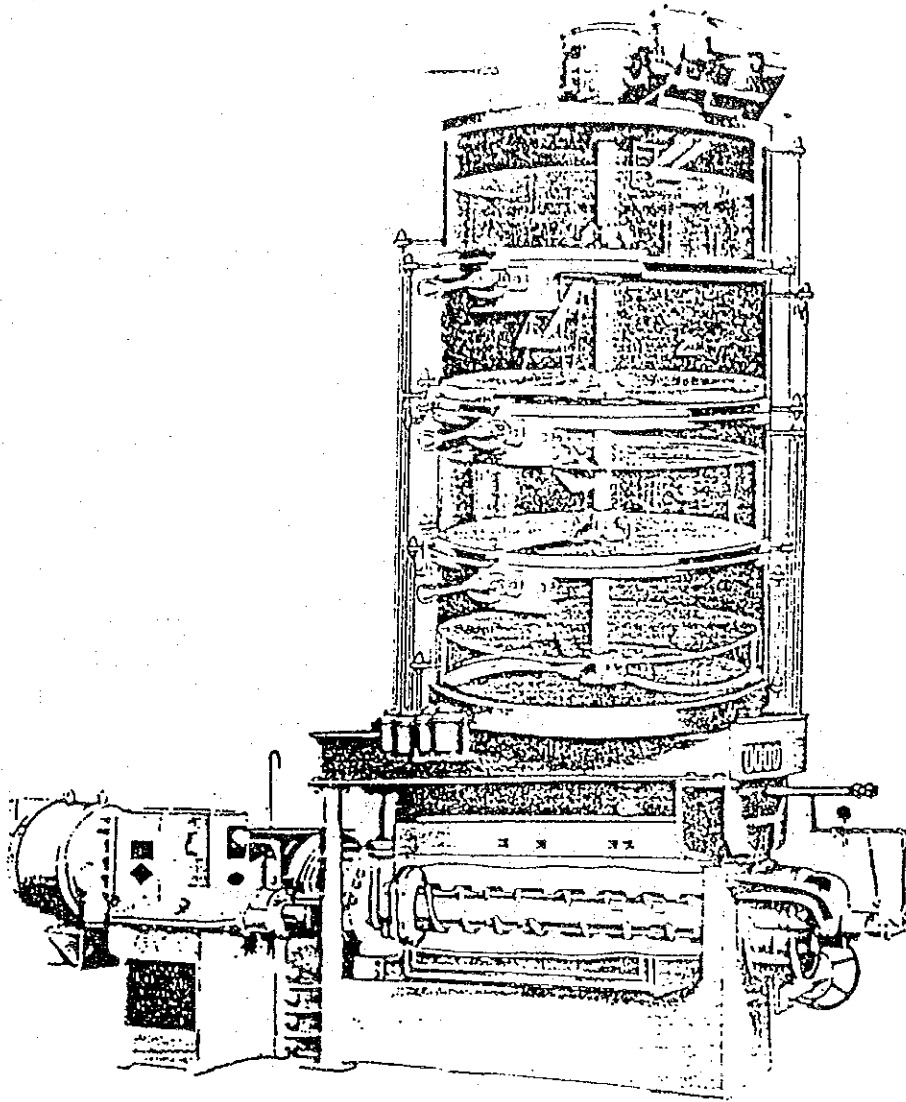
圧搾工程におけるエネルギー原単位については、水分の少ない原料ほどスチーム原単位が低くなっている。また、プレス機出口の粕の油分を低くするほど、電気原単位が高くなる傾向を示す。原料は天然物であるため、生産地や収穫年度により水分や油分などの品質が変化するので、原単位はその都度変化する。日本の菜種圧搾工程におけるエネルギー原単位の例は次の通りであるが、原料の品質や外気温度の違いにより幅が大きい。

日本の菜種圧搾工程でのエネルギー原単位

スチーム：80~120 kg/t (原料t₂)

電 気：25~ 35 kWh/t (原料t₂)

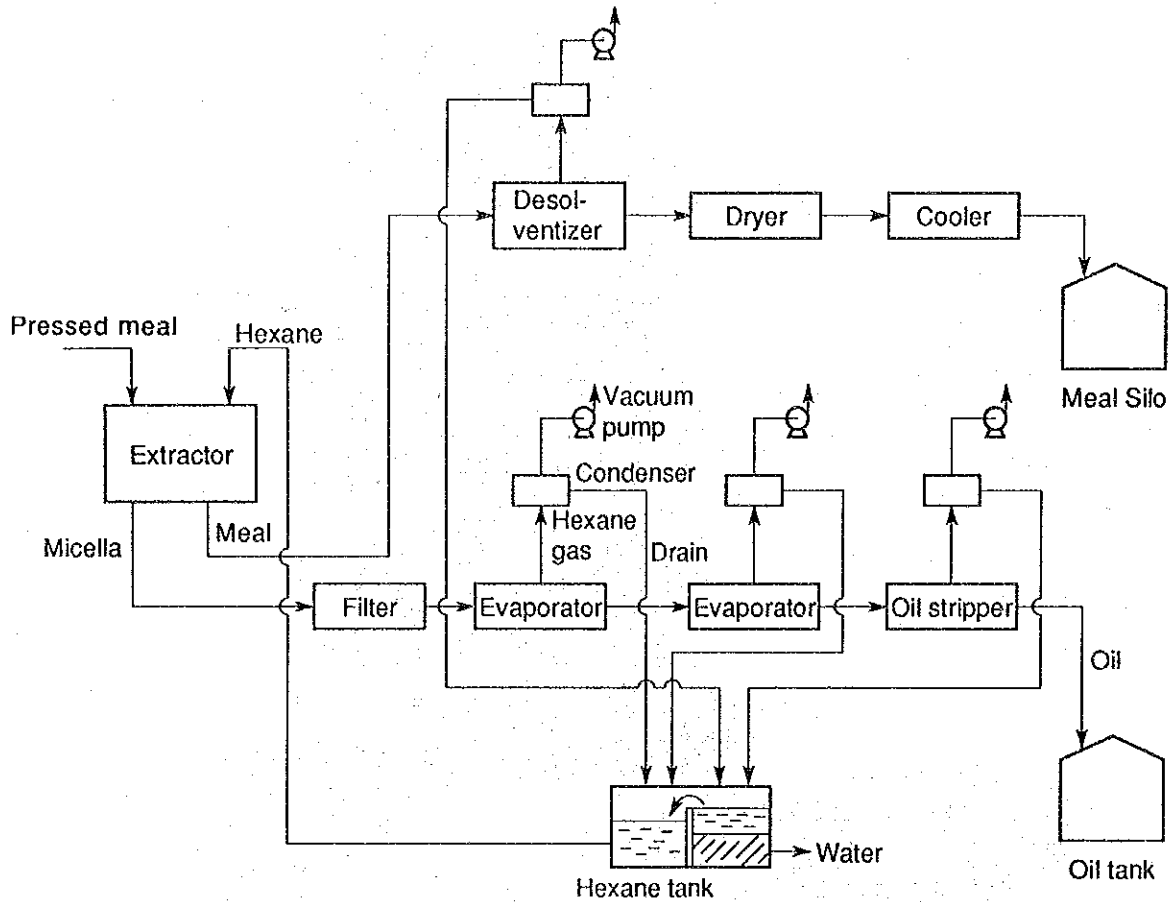
Figure 5.3 Cooker and Press



b. 抽出工程

圧搾工程の後、粕は抽出機にかけられて、ミセラと呼ばれる溶剤と油の混合液と、抽出粕とに分けられる。ミセラ中の油分は15~25%程度である。溶剤を蒸発させて分離し、抽出油として圧搾油と一緒に精製工程へ送られる。抽出粕には30%程度の溶剤が付着しており、脱溶剤機によって溶剤を取り除いた後、抽出粕貯蔵サイロへ送られる。抽出工程のフローシートを Figure 5.4 に示す。

Figure 5.4 Flowchart of Extraction



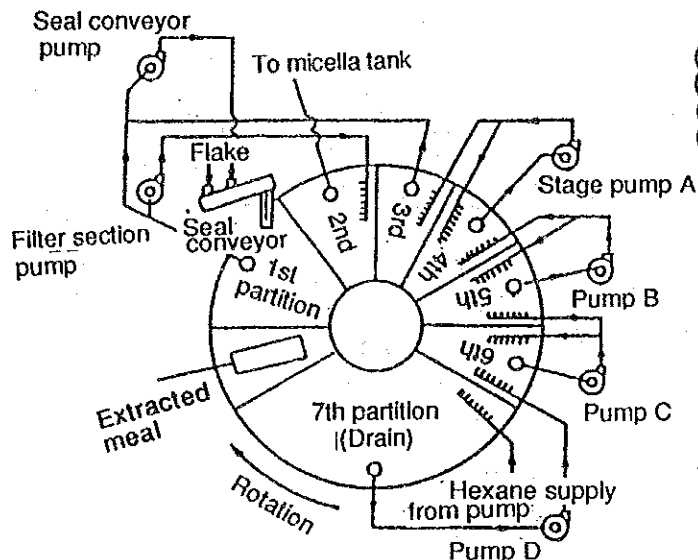
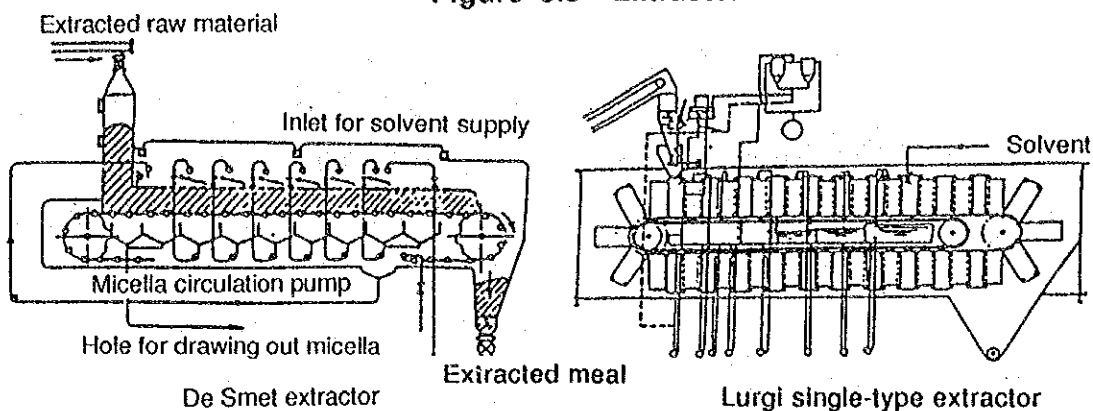
1) 抽出

抽出機は貫流式と浸漬式とに大別する事ができる。アメリカやヨーロッパで多く使われている De Smet (ベルギー)、Lurgi (ドイツ)、Rotocel (アメリカ) 等は貫流式に含まれる。1980年代にブルガリアの各工場に導入された Hildebrandt (ドイツ) は浸漬式である。Figure 5.5 にこれらの抽出機を示す。

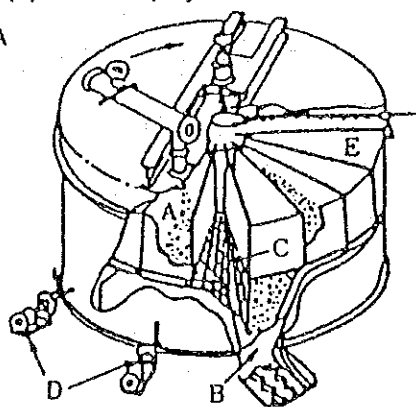
一般に、浸漬式は貫流式に比べてコンパクトであるが、抽出粕とミセラの分離が悪くなると言われている。そのため、浸漬式ではミセラを蒸留する前に濾過工程が必要となる。抽出に使われる溶剤は一般にヘキサンが使われる。ヘキサンの沸点は69℃であり、60℃前後が最適の抽出温度とされている。それ以上の温度ではヘキサンの沸騰が始まり、抽出効率が低下するだけでなく、抽出機内の圧力が上昇し、ヘキサンロスが多くなる。

抽出時間は機種により異なるが、1～2時間程度である。

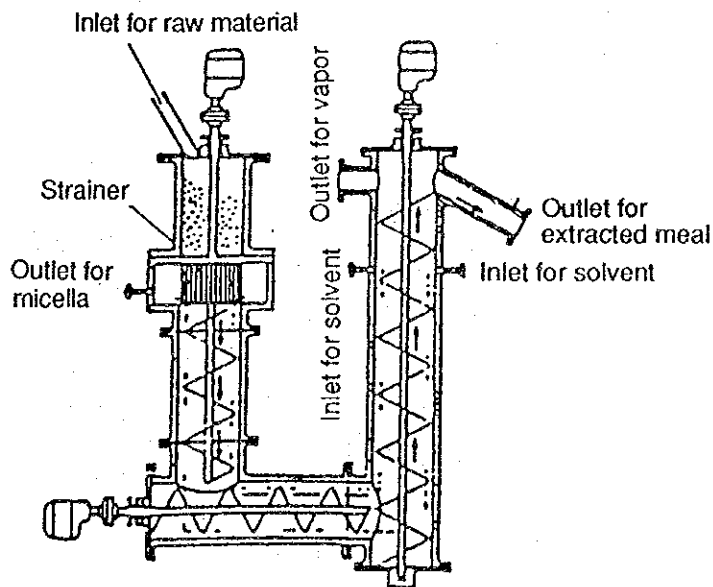
Figure 5.5 Extractor



- (A) Inlet for raw material supply
- (B) Meal take-out
- (C) Screen window
- (D) Micella circulation pump
- (E) Solvent spray



Rotocel extractor



Hildebrandt Extractor

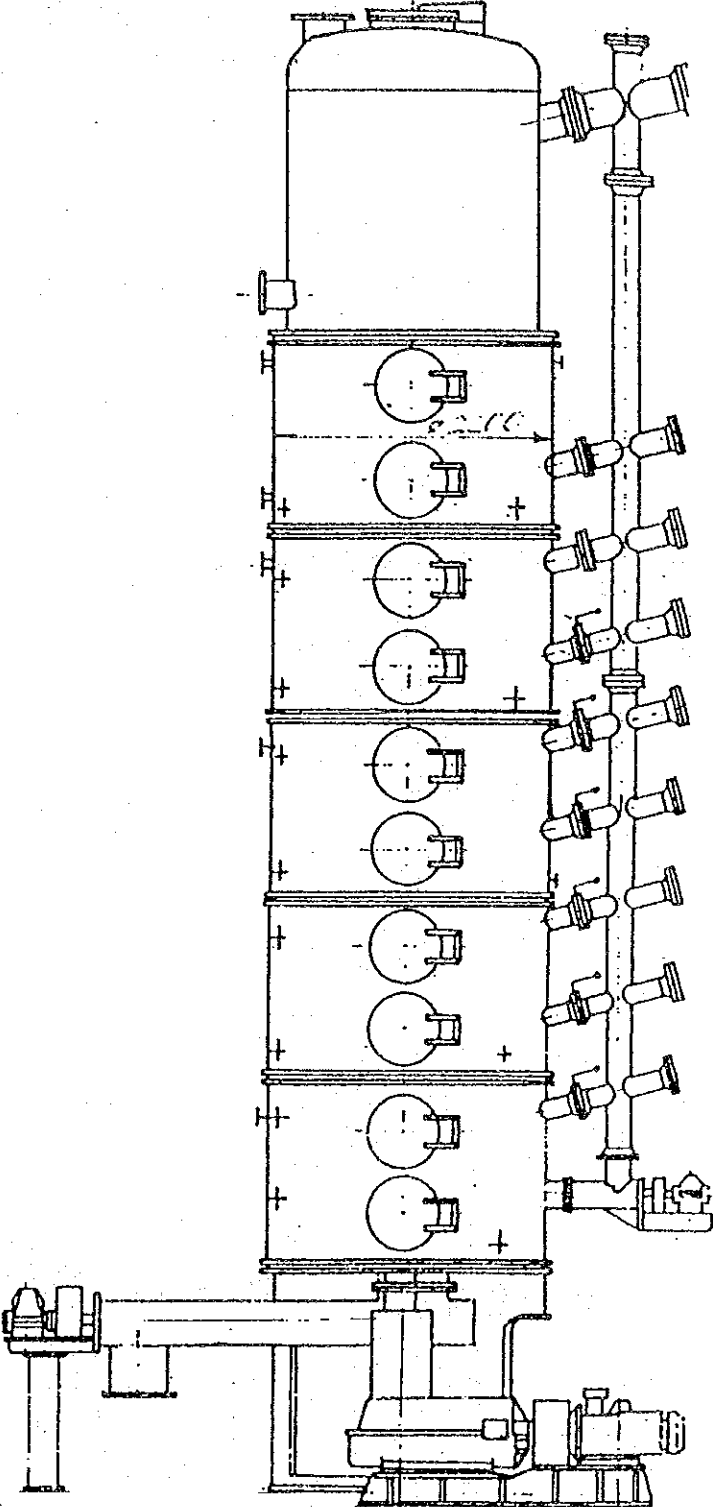
2) 粕の処理

抽出粕は30%程度の溶剤を含んでいるので、脱溶剤機で脱溶剤及びトーストを行う。8～10段の塔の上段で直接・間接スチームによって脱溶剤し、下段において間接スチームによってトーストをする。脱溶剤機によって使われるスチーム量は抽出工程全体で使う量の50%近い。特に直接スチーム量が多い。脱溶剤機を Figure 5.6 に示す。脱溶剤機出口の温度は100℃前後、水分は運転条件にもよるが8～15%である。

脱溶剤機出口水分が製品の水分規格よりも多い場合は、脱溶剤機の後でドライヤにより水分を除き、製品サイロにおけるブリッジを防止するために、クーラにより適温まで冷却する。

調査対象工場におけるヒマワリ粕の水分規格は9%以下であるが、脱溶剤機出口で水分が7～8%になっており、ドライヤを必要としていない。また、製品水分が低く、冷却をせずに製品サイロへ入れてもブリッジの心配が少ないことから、クーラも導入されていない。

Figure 5.6 Desolventizer



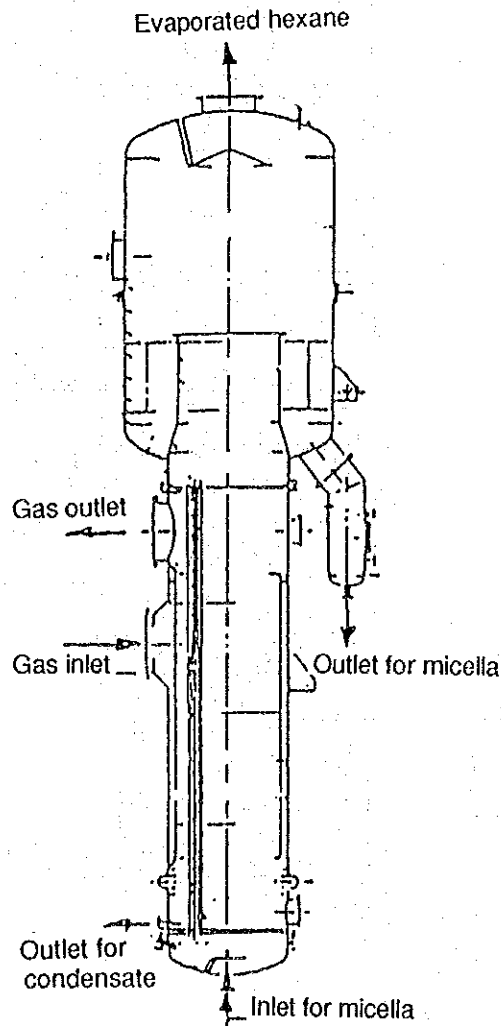
3) ミセラの処理

ミセラ中の油の濃度は貫流式で20~25%、浸漬式で15~20%程度である。2段の蒸発器とオイルストリップによって、残留ヘキサン量が100 ppm程度になるまでヘキサンを除去する。ミセラや油は高温で長時間加熱すると劣化してしまうので、真空下で短時間に溶剤を蒸発させる事が求められる。ミセラ中の油の濃度は、1段目の蒸発器出口で60%、2段目の蒸発器出口で95%程度となる。

蒸発器はKestner型と呼ばれる液膜上昇式蒸発器が使われる。Figure 5.7に示すように、縦型のシェルアンドチューブタイプの熱交換器のチューブの内側にミセラを通し、シェル側にスチーム等の熱源を通す。ミセラは下部より入って、蒸発しながらチューブ内を上昇し、上部のドーム部で気液を分離する。

オイルストリップではミセラとスチームを向流で直接接触させて、溶剤を蒸発させる。

Figure 5.7 Kestner Evaporator



4) 溶剤の回収

脱溶剤工程や蒸留工程で蒸発した溶剤はコンデンサーにて凝縮させて回収し、再度抽出機へ送られて繰り返し使用される。処理中のロス分だけ新たな溶剤を加える。

抽出工程の成績を判断する指標として、抽出粕の残油分と溶剤ロスが用いられる。よく管理されている工場では、抽出粕の残油分は1%以下、原料1t当りの溶剤ロスは1ℓ以下となっている。

日本における大豆・菜種の抽出工程におけるエネルギー原単位の例を示す。

日本の抽出工程エネルギー原単位

スチーム：200～240 kg/t (原料ト)

電 気：15～20 kWh/t (原料ト)

特にスチーム原単位は、外気温度により大きく影響される。一般に、ミセラ濃度を低くして粕の残油分を下げる程スチーム原単位は高くなる。また、真空発生装置にスチームエジェクタを採用するか、真空ポンプを採用するかによっても原単位は変わる。

抽出粕のドライヤやクーラは、大型ファンにより温風・冷風を送る場合が多いので、設備の有無により電気原単位が大きく違ってくる。

5) 溶剤の特徴と取扱い

溶剤としてはヘキサンが広く利用されているが、その物性を Table 5.1 に示す。

Table 5.1 Properties of n-Hexane

Item	Properties
Name	Normal hexane
Molecular weight	86
Molecular formula	C_6H_{12}
Structural formula	$ \begin{array}{cccccccc} & H & & H & & H & & H & & H & & H \\ & & & & & & & & & & & \\ H & -C & - & C & - & C & - & C & - & C & - & C & -H \\ & & & & & & & & & & & \\ & H & & H & & H & & H & & H & & H \end{array} $
External appearance	Colorless transparent volatile liquid
Specific gravity	0.66 (20 °C), 0.64 (40 °C), 0.62 (60 °C)
Water solvency	Insoluble in water
Specific heat	0.54 cal/(g·°C) at 20 °C
Latent heat for evaporation	80 cal/g at 60 °C
Boiling point	69 °C under the normal pressure
Flash point	-26 °C
Explosion range	1.2 ~ 7.5 vol %

取扱う際の注意事項を以下に列記する。

1. 引火点は極めて低く、引火しやすい。
 2. 揮発したヘキサンガスの蒸気密度は空気の3倍で、床面、地面に沿って遠方まで拡散して、引火の危険性を生じる。
 3. 揮発したヘキサンガスが空気と混合し、その濃度が爆発範囲内にあるとき着火すると、爆発的に燃焼する。そのため、ガス検知器は1.2 vol%で警報を鳴らすようにセットしておかなければならない。
 4. 工場内の電気設備は場所の危険度区分に応じて、防爆対策をとらなければならない。
 5. 消火方法は空気遮断の方法をとる。消火剤としては泡、粉末、炭酸ガスなどを用いる。
 6. スチームパージをしていない時には、電動工具、スパークの恐れのある道具、帯電性のホースなどを持ち込まない。
- c. 精製工程

精製工程は脱ガム・脱酸・脱色・脱ロウ・脱臭工程に大別できる。ブルガリアではバッチ式の精製が主流であるが、今後は連続式に切り替わっていくであろう。またブルガリアでは脱色工程のない工場もあるが、高品質の製品が要求されるのに伴って、脱色工程も導入されていくと思われる。

各工程で除去される成分を Table 5.2 に示す。

Table 5.2 Impurities Removed at Refining Process

Process	Components
Degumming	Water soluble phospholipid
Neutralization	Oil soluble phospholipid, free fatty acid (FFA)
Water washing	Soap
Decoloring	Coloring matter (carotene, chlorophyll, pheophytin)
Dewaxing	Wax, sterol
Deodorization	Free fatty acid, odorant components

1) 脱ガム

油中に含まれる水溶性リン脂質を除去する事を目的とする。原則としてガム質を水和するのに必要な量の水を加えて攪拌し、ガム質を水和膨潤させて分離除去する。一般的には、油の温度を70~80℃にして、水または温水を油に対して1~3%添加し、30~60分程度攪拌して、沈降法または遠心分離法によりガム分を分離する。油中のリン脂質は原料や搾油条件により変化するので、水の添加率もそれにより変化する。バッチ式と連続式とでは、温度、水

の添加率、攪拌時間等が違って来る。脱ガム工程において、水溶性リン脂質の除去が不十分であると、次工程の脱酸において石鹼の分離が困難になり、精製ロスが大きくなり、精製油の品質を低下させる原因となる。

調査対象工場における脱ガム条件は、油の温度60℃、添加温水温度60℃、攪拌時間2時間であった。除去されたガム質は廃棄されている。

2) 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タンパク質・色素なども除かれる。FFAは脱臭工程でも除去可能である。FFAの量は次式によりあらわされる。

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

脱酸の代表的な方法は、アルカリ水溶液を用いて油脂とよく混合・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。

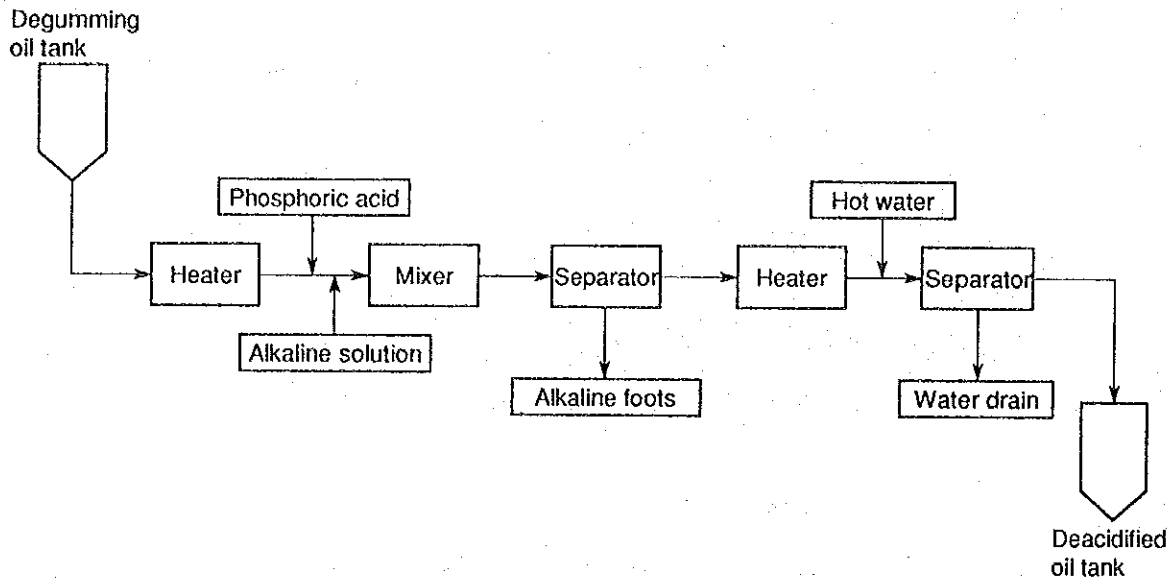
綿実油のバッチ式脱酸の例を紹介する。脱ガム油を50℃に加熱し、18°Be (12%) の苛性ソーダ水溶液を中和当量の100%過剰に添加し、20~30分攪拌する。ブレイクが起こり始めると攪拌を止め、10%の水を50℃に予熱して加え、約1時間静置する。下層のアルカリフーツを抜き取った後、0.4%濃度のアルカリ水溶液を油に対して10%加えて、100℃で洗浄する。下層を抜き取ってからもう一度95℃のアルカリ水で洗浄して、最後に8~10%の沸騰水で2~3回洗浄する。全工程に10~12時間を要する。

調査工場では旧ソ連製の脱酸装置を使っており、操作方法は異なるが原理は同じである。油の温度は68~72℃としている。

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事により、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、アルファラバル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 5.8 に示す。

Figure 5.8 Continuous Neutralization Process



アルカリ水溶液の使用量は次式で表される。

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

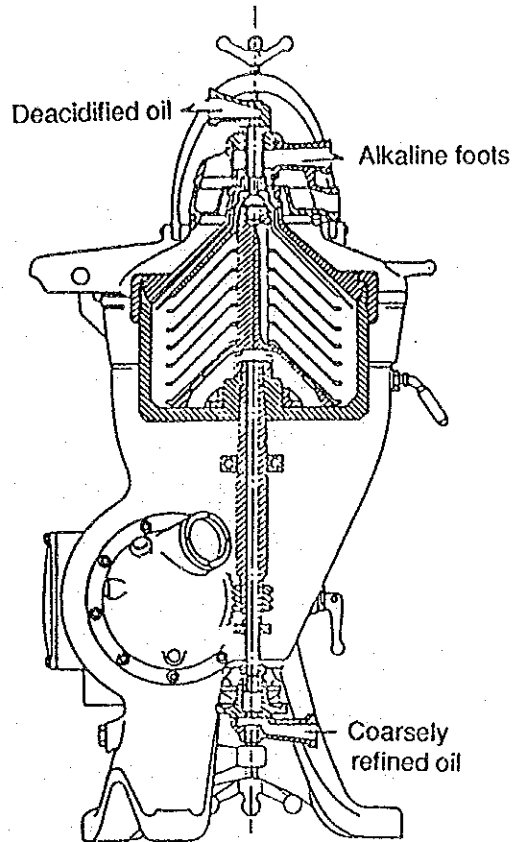
Factor は次式で計算する。

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

Excess (過剰量) は大豆の場合で0.1~0.13%がふつう用いられる。

予め75~82℃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ーかパドルミキサー中でよく混合接触させる。この短時間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。密閉式の回転ディスク型遠心分離機(6,000 rpm)を用いて生成したアルカリフーツを中性油と分離する。遠心分離機の油の出口の背圧を調節して遠心機内の重液、軽液の分離ゾーンを移動する。背圧を高くすると油中に残留する石鹼分が少なくなるが、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、油中に残存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。精製ロスのうち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。熱交換機により90℃前後まで加熱し、95℃の熱水を10~20%混合、接触させた後、遠心分離する。脱酸油中に残存する石鹼分の約90%は洗浄水側へ移行する。遠心分離機を Figure 5.9 に示す。

Figure 5.9 Centrifugal Separator



脱酸工程による理論損失をウェッソンロスと呼び次式により表される。

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

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。

3) 脱色

脱色工程はブルガリアでは、導入されていない工場が多い。調査対象工場においても現在は脱色は行われていなかった、品質を向上していく上で欠くことの出来ない工程であるので、今後徐々に普及していくと思われる。

脱色という工程は、字義のとおり油中に含まれる着色成分を除去して、淡色の精製油に仕上げる事を目的としているが、同時に色素(カロチン、クロロフィル、フェオフィチン)、過酸化化物(POV)、石鹼分、不鹼化物、金属化合物の除去を行う。一般に活性白土のような吸着剤が使われる。

普通アルカリ脱酸後の油中には、10~100 ppm 程度の石鹼分が含まれており、加熱中に劣化を促進する。ナタネ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の酸化を促進する作用を有し、その除去は油の安定に寄与する。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。

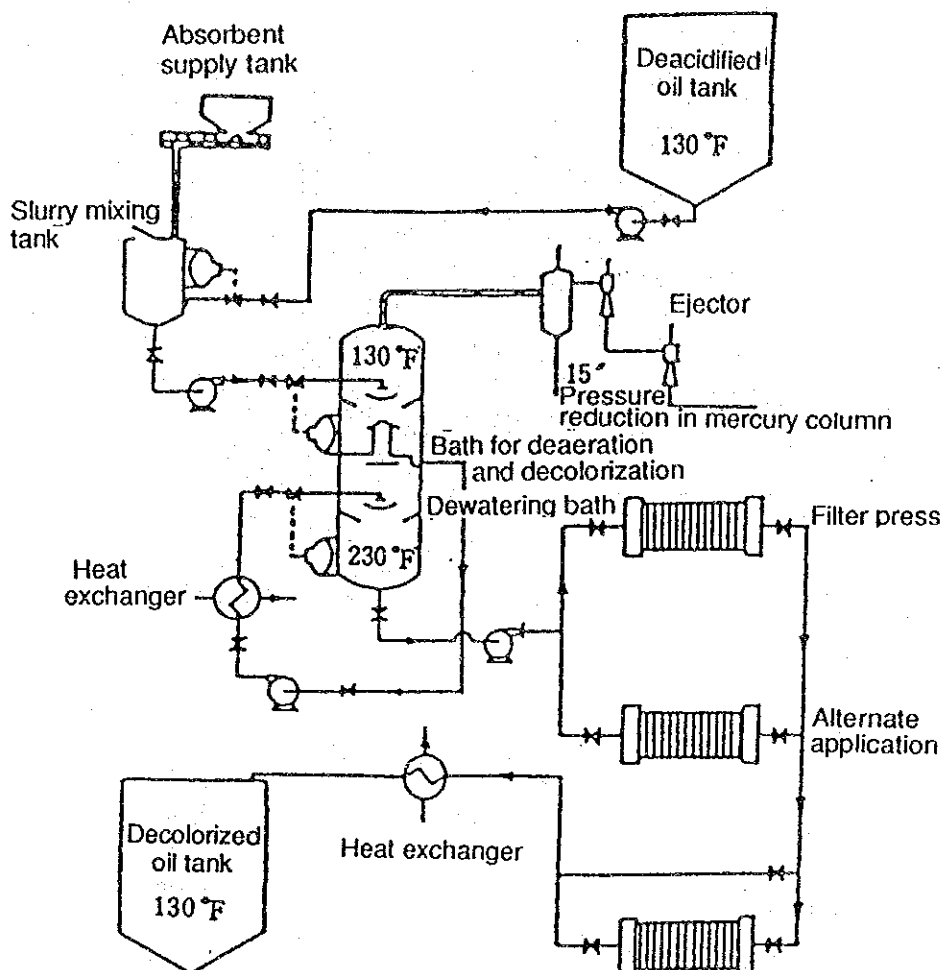
白土は、火山灰が長年の間に風化し、地熱によって熱化学的に反応してできたモンモリロナイト $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ を主成分とする鉱物で、Alイオンが水素で置換されているほど吸着力が増大する。水分が高過ぎても低過ぎても吸着効力が損なわれ、8~16%が適当であるとされている、使用する活性白土の量は0.3~2.0%で、着色物質や酸化分解生成物の含有量の多いもの程白土量が多く必要となる。

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 5.10に示す。54℃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上段の脱気槽に導入して、脱水、脱気を行う。次いで熱交換機によって加熱し、110℃減圧下で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ープレスの他、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ーが使用される。

油脂と分離された廃白土は廃棄されるが、この廃白土に吸着された油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。

Figure 5.10 Continuous Vacuum Decolorization Process



フィルタープレスを Figure 5.11 に、加圧式リーフフィルターを Figure 5.12 に示す。

Figure 5.11 Filter Press

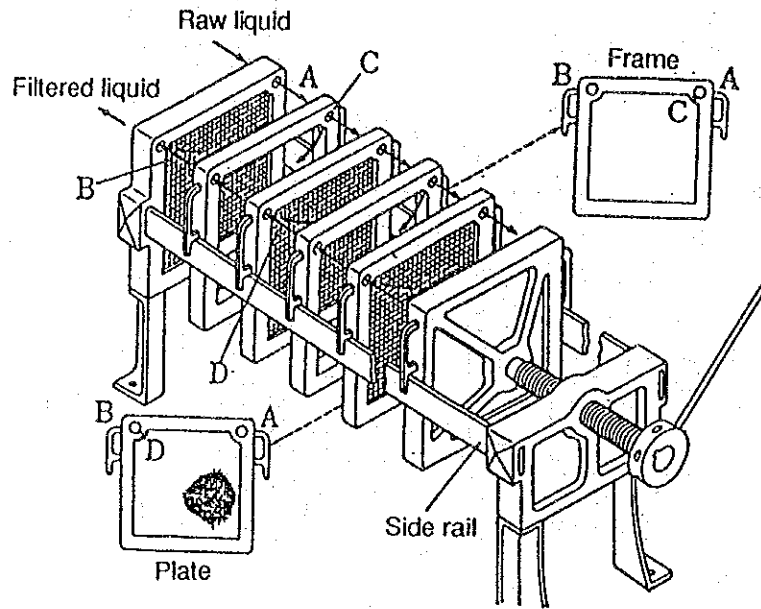
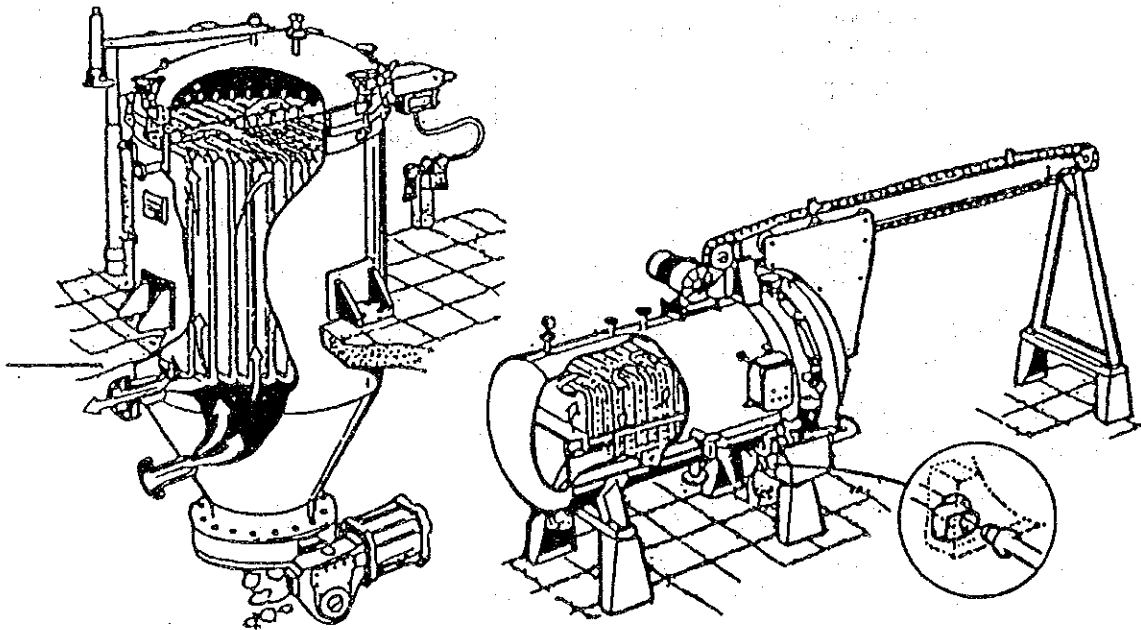


Figure 5.12 Leaf Filter



4) 脱ロウ

ワックスの多くは、植物種子の種皮の部分や胚芽に存在している。品種改良されたヒマワリ種子は、その種皮（殻）部分が全種子の22～28%を占めるが、種皮中に含まれる油脂分5%の中の3%まではワックスであり、脱皮せずに採油された油のなかには0.02～0.35%も含まれる。脱皮後に採油されたものには0.011～0.015%含まれている。

ヒマワリ、サフラワー、ナタネ油のような、ごく少量のワックスを含む油の場合には、通常7～14℃程度の温度に冷却して放置し、析出する結晶をフィルタプレスか、リーフフィルタで加圧濾過する。

5) 脱臭

脱臭工程は、食用油製造の仕上げ段階に当たる最終操作であり、食用に供して好ましくない不快な臭いを除去し、保存安定性のよい精製油を作り出す工程である。高真空下、高温に加熱して有臭成分、脂肪酸、不飽和物などの揮発性成分の大部分を除去する。調査対象工場では、脱臭工程の後に脱ロウ工程があったが、精製油の品質面からはやはり脱臭工程を最終工程としたほうが望ましい。

脱臭装置、バッチ式、半連続式、連続式があり、小ロットではバッチ式、多種類の油脂を取り扱う場合には半連続式が、大量の単一品種を処理する時は連続式が効率的である。

調査対象工場では、現在バッチ式の脱臭装置を使っているが、ほとんどヒマワリ油の精製をしているので、連続式を採用するのが望ましい。将来的にオリーブ油やその他多種類の油脂を取り扱っていく計画があれば、半連続式でも差し支えない。

加熱媒体は、一般にダウサムなどの有機性熱媒体が利用されているが、熱媒体の油中への混入の危険を回避するため、最近では、高圧スチームへの転換が進んでいる。真空の形成には、エゼクタ、ブースターなどスチーム噴流による方式が採用され、ふつう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で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 5.3に油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 5.3 Vapor Pressure of Fatty Acid

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

吹き込みスチームは、脱臭時の油の攪拌する役目も果たし、揮発成分の蒸発を容易にする。スチームの使用量は連続、半連続では油脂の3～4.5%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ふつう230～250℃、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、低真空である。調査対象工場での脱臭条件は、温度160℃、真空度40 Torr 1サイクルの時間は5時間である。

バッチ式のフローシートを Figure 5.13 に示す。ガードラー式の連続脱臭装置のフローシートを Figure 5.14 に示す。

Figure 5.13 Batch Type Deodorization Process

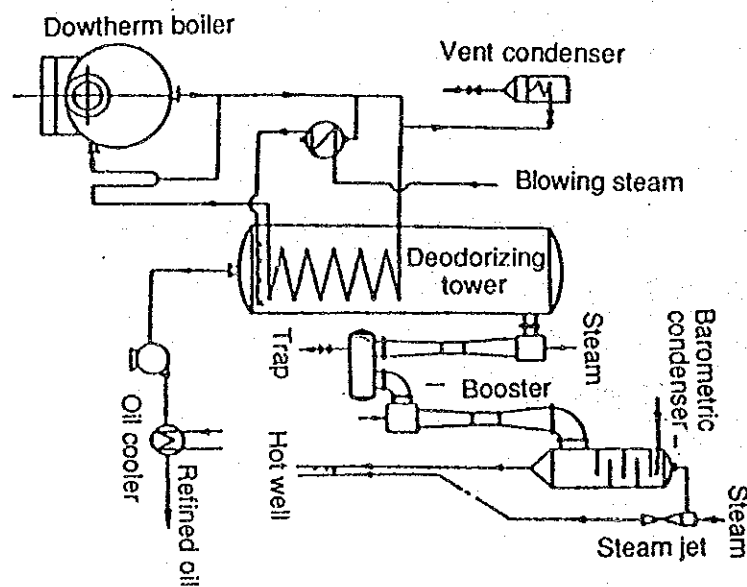
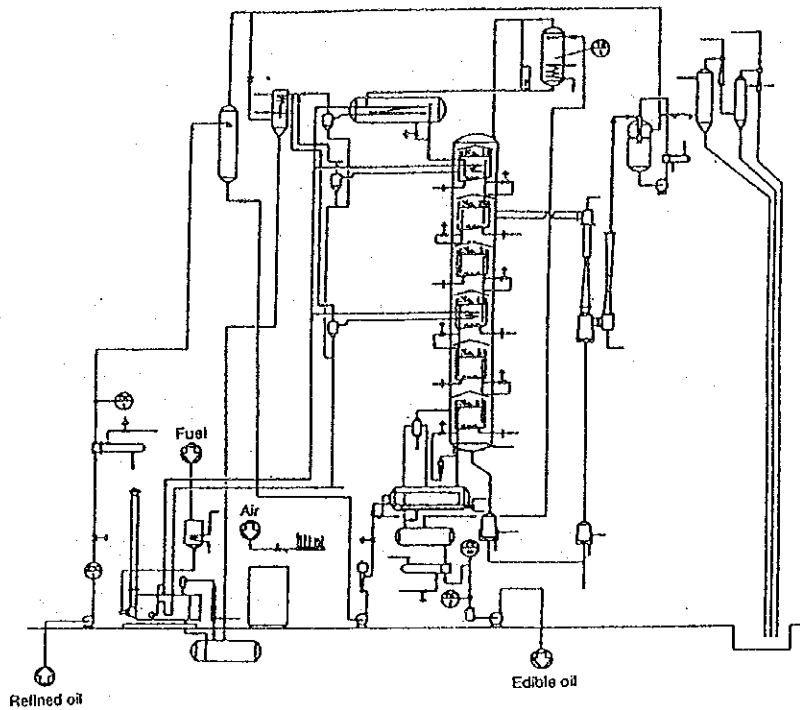


Figure 5.14 Continuous Deodorization Process



ガードナー式の本体は一つの縦型円筒形の真空塔（シェル）の中に5～6ケのトレイを懸垂したものである。シェルの内部は、エゼクター、ブースターの作動によりほぼ一定の真空に保たれ、その中を脱ロウ油が第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トレイが脱気、第2トレイが加熱、第3～4トレイで脱臭、第5トレイで冷却が行なわれる。

半連続式では各トレイ間において自動開閉する段間弁の操作により、所定の時間で油を下のトレイへと落としていく。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等により違ってくる。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。

日本の脱臭工程エネルギー原単位

スチーム： 80～120 kg/t (製品油ト)

電 気： 30～ 50 kWh/t (製品油ト)

(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事が必要となる。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事により各機器のスチーム消費量を知る事ができる。また熱収支を計算する事でも推測できる。

その上で直接スチームの場合は吹き込む場所、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等を考慮に入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、ドレンの再利用および他の熱源による代替などを検討する。又連続プロセスでは、最適条件で処理する為に原料の温度を上げたり下げたりしているので、相互に熱交換が出来ないかを検討する事も必要である。

a. 圧搾工程

圧搾工程は、常に抽出工程を考慮に入れて検討されなければならない。圧搾・抽出併せて省エネルギーと歩留りの向上をはかるべきで、圧搾工程は最適な抽出を行う為の前処理工程ともいえる。

圧扁ロールによる圧扁フレークの厚みは、抽出効率に影響する。圧扁フレークの厚みは0.2~0.4mm程度にする。0.4mm以上では細胞膜の破壊が不十分であり抽出効率が低下する。また圧扁の際粉を多く発生させると抽出効率の低下につながる。粉を発生させず圧扁するには、圧扁前の原料の水分、温度、日常のロールの管理が重要となる。

プレス機では粕残油分を4~5%程度にするまで油を取出す事ができるが、運転条件が過酷になり動力消費が大きく、機械の磨耗や損傷も甚だしい。後で抽出工程を通す場合は、粕の残油分を15~20%程度に抑えるのが処理量も上がり効果的である。

圧搾工程で、多くスチームを使っているのは原料ドライヤーとクッカーである。圧搾工程における脱皮・圧扁・プレスの各工程や抽出工程において原料水分は重要な条件であるので、水分の多い原料は始めに原料ドライヤーを通して、原料水分をさげる。ヒマワリのように比較的水分の低い原料の場合は原料ドライヤーを使用しないケースもあるが、圧扁の際の粉末化を防いで、均一な圧扁をするために、プレヒータを使って40~60℃程度に原料を予熱するのが望ましい。

クッカーは圧扁された原料を100~120℃、水分3~5%にする為に直接・間接スチーム気を使っているが、原料の滞留時間やスチーム圧力を最適にコントロールする事により、直接スチームを極力減らす事が大切である。

プレス機における粕残油分に及ぼすクッカー出口温度と水分の影響の一例を Figure 5. 15、Figure 5. 16 に示す。

圧搾工程で発生するコンデンセートは、圧搾工程では再利用がしにくいので、ボイラーへ戻すのが一般的である。

b. 抽出工程

抽出工程は圧搾工程と比べてスチームの使用量も多く、液体状態で温度も高いために熱交換がしやすいので、より多くの省エネルギーの効果が期待できる。又抽出工程の熱バランスを把握し、管理する事は、安全管理の上でも重要な事である。

脱溶剤機の排ガスは一般に蒸留塔の熱源として利用される。脱溶剤機の間接スチームのコンデンセートは、ミセラヒータの熱源として利用したり、フラッシュ蒸気を作って、No. 2 Evaporator の熱源にしたりして利用する。

オイルストリップにおいても直接・間接スチームが使われるが、脱溶剤機に比べて使用量が余り多くないので、熱回収のメリットは少ない。

オイルストリップ出口の油温は100℃近くなるので、直ぐに精製せずに一旦タンクに入れて保管する場合は熱交換して熱を利用することができる。

ミセラや油は高温で長時間加熱すると劣化をしてしまうので、真空下で短時間に蒸発させることが求められる。そのため、蒸発工程における真空度と温度の管理は、省エネルギーのためだけではなく品質や安全管理の上でも重要で、コンデンサの点検、清掃は定期的を実施したい。

c. 精製工程

精製工程では、バッチ式・連続式いずれの場合においても、脱臭工程でのスチーム使用量が最も多い。脱臭塔内への吹き込みスチーム量は連続式では油の3～5%、バッチ式で20～30%となる。

温度や真空度、吹き込みスチーム量といった脱臭条件は品質に大きく係わってくるので、連続式設備を導入する際にはバッチ式と同じ脱臭条件の設備にするのではなく、より高度の脱臭のできる設備にしておく必要がある。高品質な製品に対する消費者のニーズが遠からず出てくると思われるからである。

精製工程で発生するスチームコンデンセートや脱臭油冷却時に発生する温水は、脱酸油の洗浄や精製各工程における油の予熱に利用できる。

連続式脱酸工程では遠心分離機を用いて油滓の分離を行うが、温度、流量、油の酸価、および薬品の添加量によっては分離のバランスを崩しやすい。そのために、今以上の運転管理が要求され、排水処理施設の充実が求められる。

Figure 5.15 Influence of Cooking Temperature

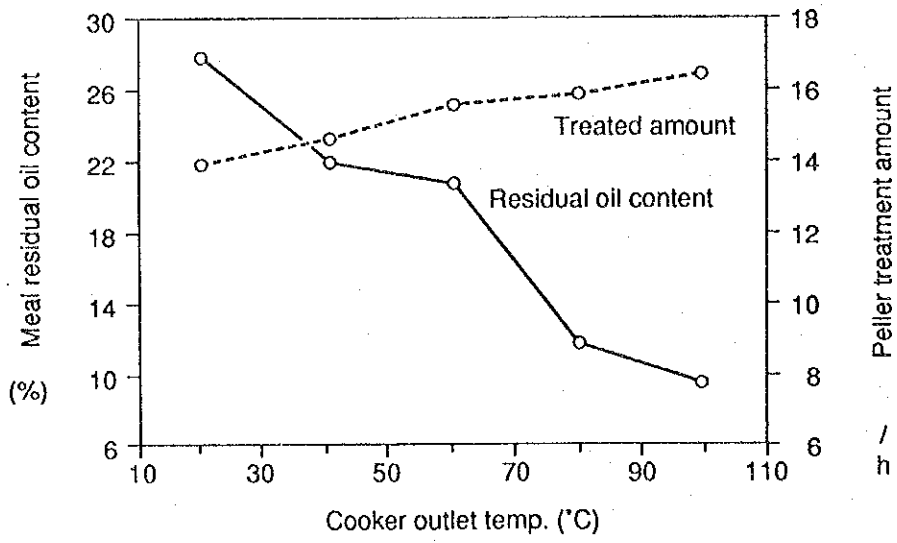
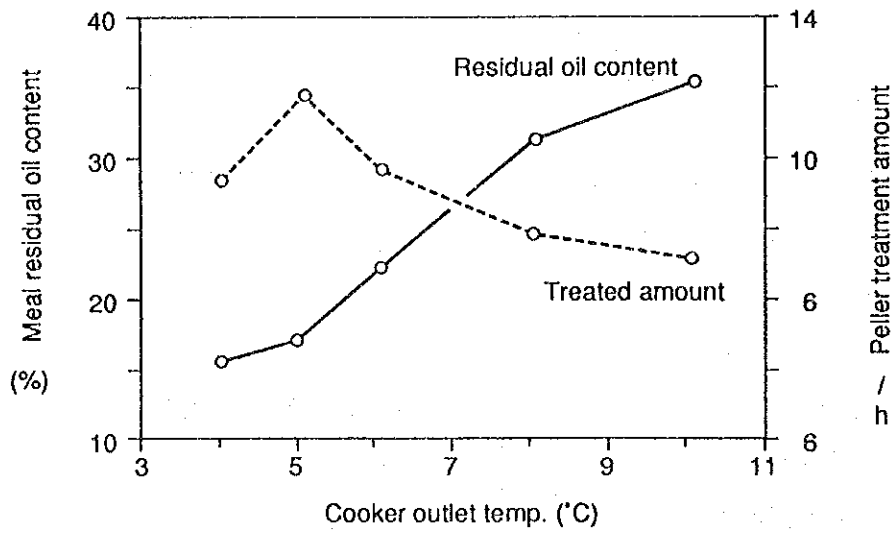


Figure 5.16 Influence of Water Content of Flake



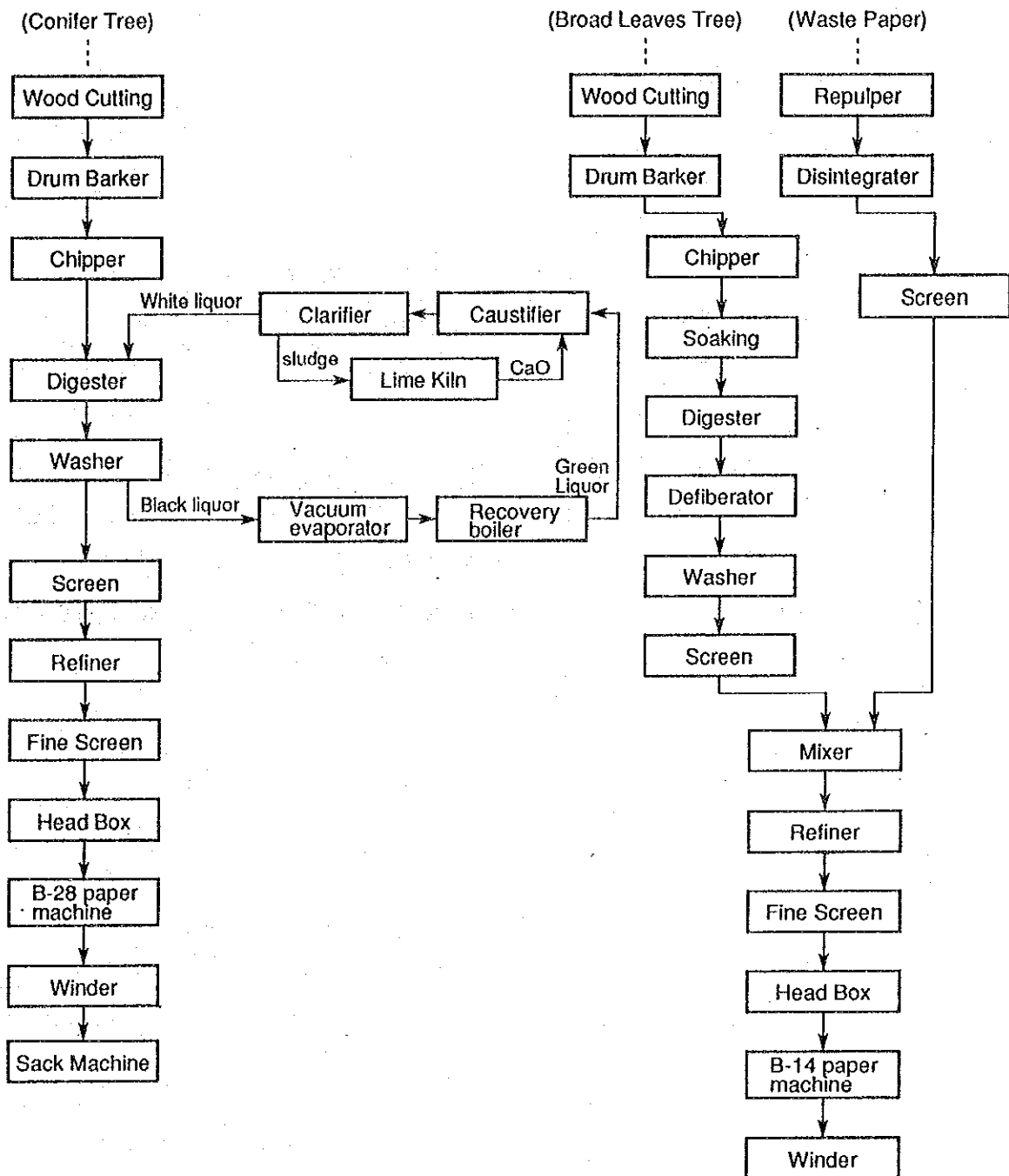
6. 紙パルプ工業の省エネルギー

6. 紙

6.1 製造工程

製造工程のフローは Figure 6.1 に示すとおりである。

Figure 6.1 Production Process



製紙工業は木材繊維のシートを作るため繊維に精選・叩解等の前処理を行い、均一な分散状態のまま次第に脱水し、最終段で約2倍の水分をスチームにより蒸発脱水するという装置工業である。このスチームや装置を動かす電気動力のほか、紙1t当たり500~1,000tの水を使用するので、これを移送するための電気動力も莫大である。製紙工業がエネルギー多消費産業といわれる由縁である。

6.2 省エネルギー対策の段階

製紙工場における省エネルギー対策は、Table 6.1に示すような段階で進めるのがよい。

第1段階は、大きな投資をしないで操業方法の改善を行う。

第2段階は、若干の投資を伴う改善を行う。

第3段階は、製造設備、プロセスの改造を行う。当然大きな設備投資を伴う。

段階的省エネルギーの推進の第1段階として、現状の設備の有効活用と管理の強化をかかげたが、エネルギーが有効活用されているかどうかをデータで判断することが、省エネルギー推進の第1段階ともいえる。

装置工業は停止することなく、連続運転して負荷率が100%に近いほど、エネルギーの消費が少なくすむし、収益も向上する。製紙工業も同様で、紙切れ等による停止をなくし、生産能力一杯で稼働することは、数ある省エネルギー要因の中でも最も大きい方に属する。

熱収支のみならず生産管理、品質管理、工程管理、原材料、副資材管理等、に係る工場内のほとんどのデータが、省エネルギーに関与していることを認識する必要がある。

Table 6.1 Example of Stepwise Promotion Plans

Stage	Equipment	Others
First stage Effective utilization of and sufficient management of existing equipment	Maintenance of various equipment Pressure gauge washer, insulation, repair of steam leakage installation of steam flow meter.	Keeping a daily report in order . . . data collection. Setting qualitative standard. Setting operating standard. Setting standard for equipment, maintenance. Carrying out quality tests Checking the quality of blanket and canvas.
Second stage Recovery of waste heat	Maintenance of dryer Condensate recovery system White water circulating system Improvement of ventilation for dryer part. Updating of faulty equipment.	Data analysis Re-evaluation of standard.
Third stage Introduction of new equipment.	Completion of equipment maintenance services. Remodeling of screen, press for high concentration Recovery of heat from dryer.	

6.3 クラフト蒸解

蒸解に於ける要因は多く複雑であるが大別すると次の如くである。

- 1) 原木
- 2) 蒸解反応
- 3) 蒸解薬液組成

1)の原木の影響は樹種の差により異なり、特に針葉樹と広葉樹の差が大きい。2)の蒸解反応は蒸解温度と蒸解時間の組合せによる。3)は蒸解薬液組成及び薬液濃度、薬液添加率である。

省エネルギーの観点からは2)の蒸解反応に係る温度・時間の要因に着目する必要がある。材種に相当する薬液添加率、液量が決まり、夫々の目標とする品質のパルプを適切な歩留で生産する為には、反応速度に係る温度・時間に必要なエネルギーを有効且つ効果的に使い、放出するエネルギーを出来るだけ回収して、有効利用することが省エネの決め手である。

(1) 蒸解設備

蒸解に必要な熱は、蒸気で蒸解液を間接加熱し循環するか、蒸気を直接蒸解釜に吹き込んで与えられる。バッチ式蒸解釜は間接加熱式が主流であり連続式蒸解釜は間接式と直接式がある。バッチ式蒸解釜の一例を Figure 6.2 に、連続式蒸解釜の一例を Figure 6.3 に示す。

Figure 6.2 Batch Type Cooking Instruments

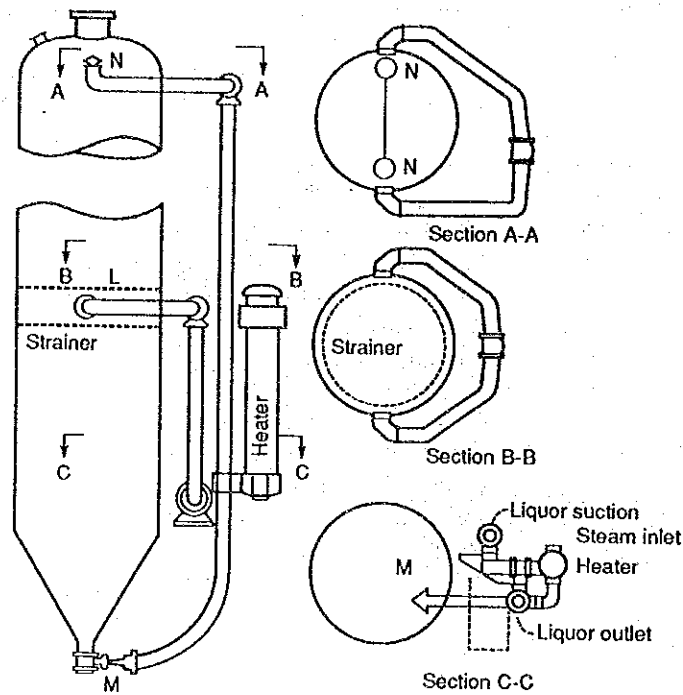
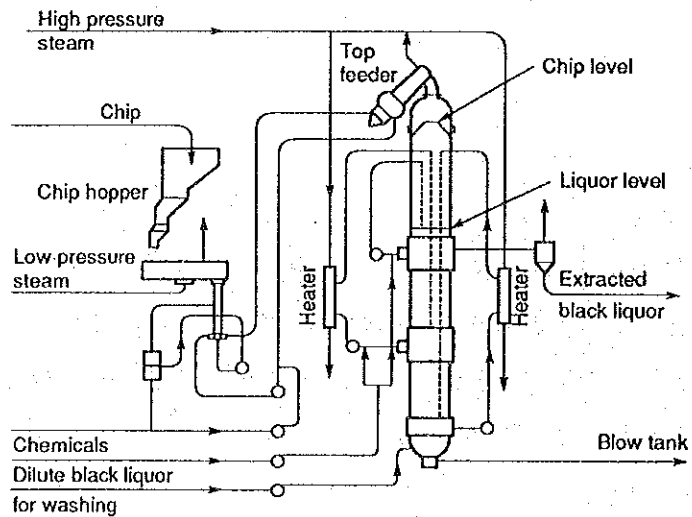


Figure 6.3 Continuous Type Cooking Instruments



(2) 加熱器

間接加熱は薬液を強制循環して行われるので、蒸気電力のエネルギーを多く消費する処である。加熱器は多管式が一般的で Figure 6.4 のような構造である。

この図の方式は、薬液はAより入り、右半分のチューブ内を上昇し、上部のキャップからターンして左半分のチューブ内を下降してBより出て循環ポンプに入る。

加熱蒸気は、Cより入ってコンデンセートはDから出て、そのあとスチームトラップを通過して、コンデンセートタンクに入る。

加熱管は外径 30mm 前後で、長さは約 4 m ± 0.5m である。総括伝熱係数は、1,000~3,500kcal/(m²h°C)位である。それは、管内流速、管内厚、管に付着するスケールの量などにより変動する。

管内流速は 2.5m/sec とし、総括伝熱係数は 1,500kcal/(m²h°C)とするのが設計上の一般通念である。操業においては熱効率が低下しないよう加熱器の定期的点検と熱伝導が低下した時は直ちに付着するスケール除去し、伝熱面をクリーンにすることは常に心掛ける必要がある。

スケールはヒータ内部のみならず循環系のパイプ、バルブをはじめストレーナに付着し、流速がおとろえ反応時間が延長して生産性の低下を来す。時には釜内に温度ムラが出来て未蒸解チップが出来て歩留を低下する。

スケール等の付着は、伝熱不良による熱エネルギーロス、生産性低下による設備運転効率低下、歩留低下による原単位低下等コストメリットの減少の元凶であるから、蒸解設備におけるスケール対策は設備管理の重要項目として掲げるべきである。

(3) 蒸解薬液

蒸解薬液の主体は、白液即ち NaOH, Na₂S, Na₂CO₃, Na₂SO₄ で、その組成の一例をあげると Table 6.2 の如くである。

Figure 6.4 Heater

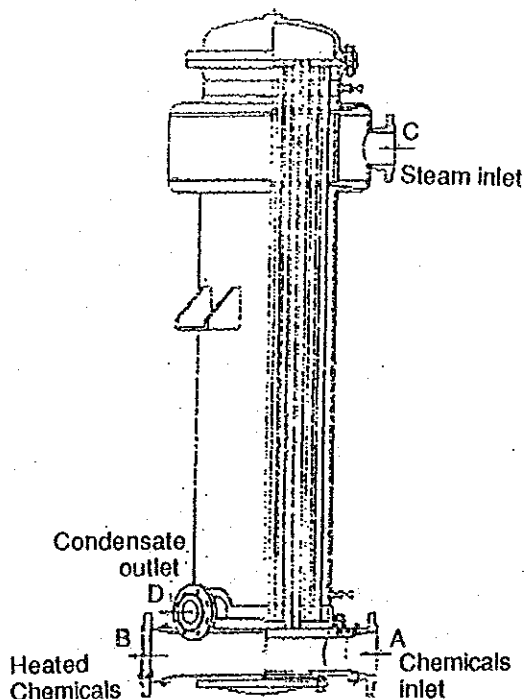


Table 6.2 Chemical Components of White Liquor

Na ₂ O compound	g/l as Na ₂ O
NaOH	84
Na ₂ S	36
Na ₂ CO ₃	19
Na ₂ SO ₄	0.2
Na ₂ SO ₃	0.2
Na ₂ S ₂ O ₇	0.5

脱リグニンの蒸解にあずかる薬品は、有効アルカリ (Effective Alkali) と称し、Na₂O として (NaOH + $\frac{1}{2}$ Na₂S) g/l で表わし、Table 6.2 では、102g/l である。クラフト蒸解においては、パルプ収率アップやパルプ品質に影響する Na₂S のコンテンツが重要で、その管理のため、

硫化度 (Sulfidity) を重視する。 $\frac{\text{硫化ソーダ}}{\text{活性アルカリ}} \times 100\%$ で表わし、Na₂O として

$$\frac{\text{Na}_2\text{S}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}} \times 100\% = \frac{36}{84 + 36} \times 100\% = 30\%$$

前後が適切な値とされている。

有効アルカリの添加率は針葉樹か広葉樹の違い、目標のパルプ品質によって差があり、チップの絶乾重量に対して Na₂O として 12~18% の間である。絶乾チップに対する総液量を液比と言ひ、4.0~4.5 である。白液量 + チップ水分に黒液を加えて総液量とする。

(4) 蒸解反応の管理

蒸解反応は

- 1) 温度上昇期
- 2) 温度維持期
- 3) 温度降下期

に分けられる。チップが封入され、スチーミングに引き続き薬液の注入が終わるとスチーム加熱を開始する。温度が上昇し、140℃前後になると不凝縮性のガスを発生するので、最高温度に達するまで、これを排出しながら加熱する。

蒸解温度は 160~180℃ に設定し、その範囲では、一般の化学反応と同様に温度 10℃ の上昇毎に蒸解時間は半分に短縮される。パルプの品質により温度時間は夫々の最適条件を選択するが、出来るだけ早く最高温度に達する事が省エネルギー上効率上得策である。

蒸解の度合は、温度と時間の組み合わせでさまるが、温度と時間をまとめて一つの因子とみなした「H-ファクター」による蒸解管理が一般に行われている。

即ち、100℃の相対反応速度を1とし、これを基準にして各温度に於ける相対反応速度を Arrheniusの式に基づいて決め、処理温度における処理時間との積を「H-ファクター」と定義する。Table 6.3 は100～179℃のH-ファクター相対速度である。

Table 6.3 H-Factor Relative Velocity

°C Relative Velocity		°C Relative Velocity		°C Relative Velocity		°C Relative Velocity	
100	1.0	120	9.0	140	65.6	160	397.8
101	1.1	121	10.0	141	72.1	161	433.4
102	1.3	122	11.1	142	79.2	162	472.4
103	1.4	123	12.3	143	86.9	163	613.9
104	1.6	124	13.6	144	95.4	164	559.2
105	1.8	125	15.1	145	104.6	165	608.3
106	2.0	126	16.7	146	114.7	166	661.5
107	2.2	127	18.5	147	125.7	167	719.1
108	2.5	128	20.4	148	137.7	168	781.3
109	2.8	129	22.6	149	150.8	169	848.7
110	3.1	130	24.9	150	165.0	170	921.4
111	3.5	131	27.5	151	180.6	171	1000.0
112	3.8	132	30.4	152	197.4	172	1086.1
113	4.3	133	33.5	153	215.8	173	1176.9
114	4.8	134	36.9	154	235.8	174	1275.9
115	5.3	135	40.7	155	257.5	175	1382.8
116	5.9	136	44.8	156	281.2	176	1498.1
117	6.6	137	49.3	157	306.8	177	1622.5
118	7.3	138	54.3	158	334.7	178	1756.6
119	8.1	139	59.7	159	365.0	179	1901.1

蒸解温度と蒸解時間との関係を表わす曲線及び蒸解時間と相対反応速度との関係を表わす図は Figure 6.5 である。

Figure 6.5 Relative Reaction Velocity, Cooking Time or Temperature

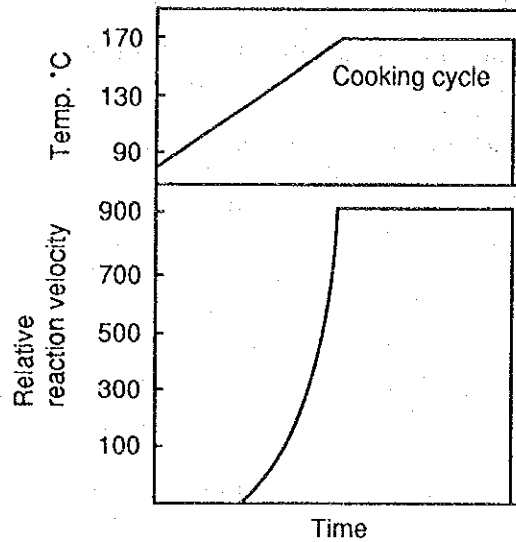
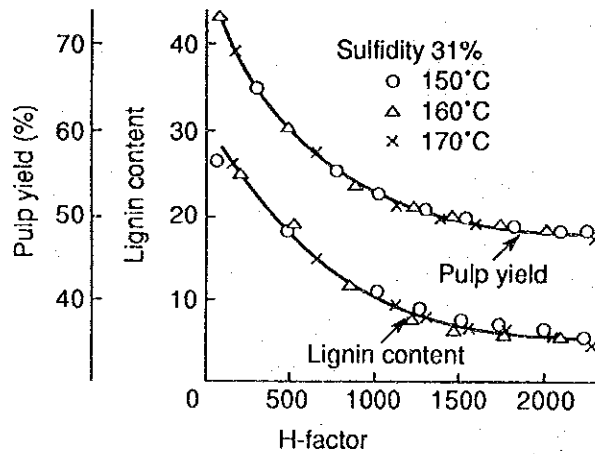


Figure 6.5の下の線の下側の面積が「H-ファクター」である。「H-ファクター」が同じなら時間と温度の組み合わせではほぼ同一の品質が得られる。

硫化度31%の薬液を使用して3水準の異なった温度でスプルース (Spruce) を蒸解し、「H-ファクター」に対するパルプ歩留リグニン含有率の関係をプロットしたのが、Figure 6.6である。

Figure 6.6 The Relation of H-Factor, Pulp Yield and Lignin Content



(5) 蒸解工程と省エネルギー

蒸解工程は加熱用蒸気と薬液循環用電力を大量に消費する。蒸解における省エネルギーの推移について針葉樹（N）及び広葉樹（L）の材種別及びバッチ釜と連続釜に分けて、日本の実績を示すと Table 6.4 の通りである。

Table 6.4 Comparison of Unit Energy Consumption in Batch Digester and Continuous Digester

		Steam (ton/pulp ton)		Electricity (kwh/pulp ton)	
		1980	1990	1980	1990
Batch Digester	N	1.45	1.3	200	215
	L	1.1	1.1	120	115
Continuous Digester	N	1.1	0.75	240	220
	L	0.9	0.7	130	115

この過程においては、経済成長に伴う紙品質の改質からパルプの蒸解度がアップし、エネルギーも従来より多消費せざるを得ない条件もあったが、Table 6.5のような管理要因と取組む事により省エネルギーが達成された。

Table 6.5 Control Items

1	Stable quality	Cooking control by H factor
2	Yield enhancement	Quality stabilization and suppression of deviation by improved chemicals circulation
3	Complete cleaning of thermally conductive surface in heater	Periodic scale removal by pickling
4	Thorough cleaning of chemicals circulation line	Periodic scale removal of strainer, tubes and valves
5	Prevention of radiation heat loss	Perfect insulation of such naked parts as valves and flanges
6	Preventive maintenance of steam trap	Maintenance and arrangement of trap
7	Prevention of air and liquid leakage	Maintenance and arrangement of valves, flanges, pumps and seals
8	Promotion of recovering waste heat from gas and blow gas	Periodic cleaning of heat exchanger and condensers
9	Increase in digester loads and in digester output	Increase in chip loads for batch type digester
10	More accurate basic data identification	Arrangement of thermometers, pressure gages and regulators

省エネルギーは小さな効果の累積により大きな成果となる。小ガス・圧力低下ガス・ブローガスからの熱交換器による温水回収は、洗滌工程用温水を充足し且工程の温度をアップするなど、次工程以降の省エネルギーにも寄与する。

設備保全は省エネルギー推進上不可欠である。設備機能を有効に働かせて、品質・歩留を向上し操業安定化し、長期運転を可能に効率をアップすることは省エネルギーはもとより大きなコストダウンをもたらす。

6.4 ブラウンストックの洗滌

ブラウンストックから可溶性物質を完全に、しかも高濃度の黒液として回収することが、洗滌の目的である。黒液を50~60℃の温水で、100%置換するのが理想的であるが、洗滌水によって希釈されて黒液濃度がうすまり、エバポレータの蒸発コストが増大することになる。従って最少の洗滌水で高濃度の黒液を回収することが必要である。

黒液洗滌には、ドラムウォッシャを直列に2~3台連結した向流多段洗滌装置と、連続蒸解釜から85~90℃でブローされた濃度約10%のパルプを洗滌するデフュージョンウォッシャがある。

Figure 6.7 Continuous Washer

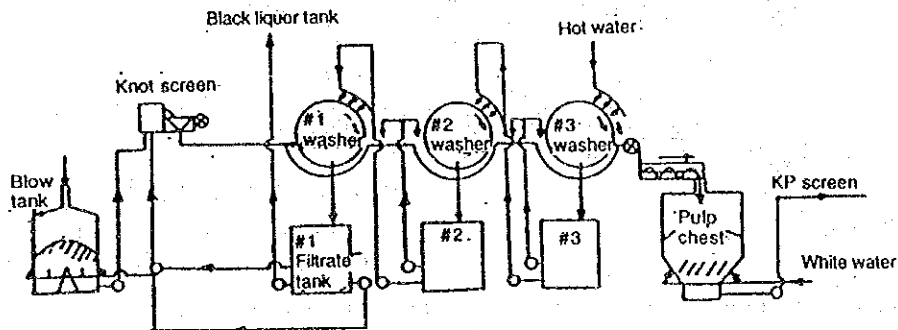
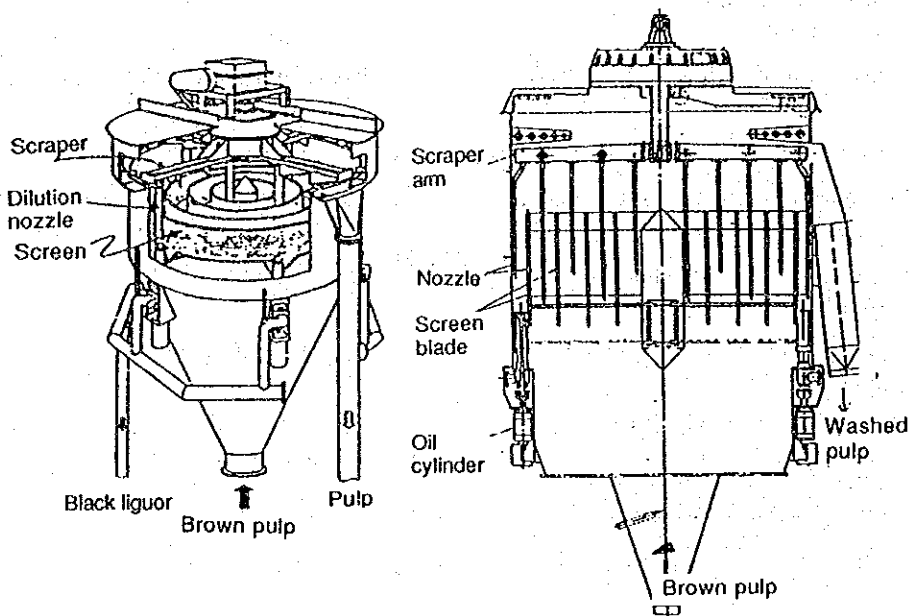


Figure 6.8 Diffusion Washer



a. 向流多段洗滌装置 (Figure 6.7)

連続多段洗滌装置とも言う、操業条件としては

- 1) パルプ濃度を均一にすること
- 2) パルプ処理量の変動を避けること
- 3) パルプ流量の分布状態を均一にすること
- 4) シャワー散布を均一にすること

である。

洗滌効率、固形分回収率と希釈係数の両因子を結びつけて、最も経済的な使用洗滌温水量を求める必要がある。

希釈係数は次式で計算される。

$$\frac{\text{温水量 (t/h)} - \text{洗滌パルプ水量 (t/h)}}{\text{風乾未晒パルプ (t/h)}}$$
$$\frac{\text{温水量 (t/h)}}{\text{風乾未晒パルプ (t/h)}} - \frac{\text{洗滌パルプ水分 (\%)}}{\text{洗滌パルプ濃度 (\%)}} \times 0.9$$

希釈係数はエバポレータの容量、蒸気コスト、黒液中固形分濃度、パルプ洗滌度、薬品コストなどの諸因子によって決定される。

エバポレータの容量が大きく、蒸気コストが安い場合にはある程度希釈係数を大きくする。

3ステージウォッシャで、過マンガン酸カリ価 (PN) 30の針葉樹の時、希釈係数2.2で、固形分回収率は、96~97%である。

b. デフュージョン・ウォッシャ (Figure 6.8)

デフュージョン・ウォッシャは連続蒸解釜に直結しており、コールドブローされた原料は、デフューザの底部から入り、スクリーンゾーンで洗滌されながら上昇して、上部からスクレーパーでかき出され、チェストに貯えられる。

入口から出口まで約40分、スクリーンゾーンを約8分で通過する。スクリーンはパルプ上昇より僅かに早く上昇し、そして急速に下降するという上下運動を行っており、下降時間中に均圧タンクからスクリーンへバックフラッシュすることにより、スクリーンの目詰りを防止し、効果的な洗滌が行われる。

デフュージョン・ウォッシャの標準的希釈係数は約2.5である。

ブラウンストックから可溶性物質をより完全に、しかも高濃度の黒液として回収することが洗滌の目的である。これによってエバポレータで黒液を濃縮する時の蒸気を低減する事が出来、回収ボイラで補填する芒硝も低減出来る。その為には、洗滌機の操業条件並びに希釈係数が重要な要因である。

6.5 クラフト黒液の濃縮

クラフト黒液の濃縮には、多重効用真空蒸発缶が使用され、その蒸発能力は、全温度差に正比例するので、その温度差を大きく取ることが望ましい。しかし第1缶の加熱蒸気や末端の凝縮器の真空度は、プラントの操業条件や経済的条件で定まる。全温度差が決まれば多重効用缶の各缶に適宜配分される。

n重効用缶であれば、蒸発量1kg当りの加熱スチームは約 $1/n$ kgでよい筈であるが実際は、加熱損失や沸点上昇により有効温度差が減少するため、加熱スチームの蒸発水量に対する比率は $1/n$ より大きくなる。

常識的な数値としては、その比率は、2重効用缶で約 $1/1.6$ 、3重効用缶で約 $1/2.2$ 、4重効用缶で約 $1/3.6$ 、5重効用缶で約 $1/3.8$ 、6重効用缶で約 $1/4.7$ 、7重効用缶で約 $1/5.5$ である。こんどは、これを蒸発能力の側から見ると最終缶の真空度及びその沸騰温度と、第1効用缶の加熱スチーム圧力が定まればおのずから、全温度差(Δt)が定まる。 Δt が定まれば蒸発能力は、伝熱速度に比例するので、これもおのずから定まる。

しかし有効温度差 Δt は、有効缶数が増すに従って沸点上昇に伴う無効温度差が増えて、同じ末端条件の単独蒸発缶よりも Δt は減少する。一定量の蒸気を蒸発させるのに、効用缶数を増すと単位蒸発量当りの加熱スチーム(第1効用缶)の消費量は減少するが、総蒸発量は少なくなりかつ、装置の固定費は増加することがわかる。従って、むやみに効用缶を増すことはかえって不経済で適正効用数を決めなくてはならない。現在は大体6~7重効用が経済的効用数だと言われている。

(1) 蒸発缶における伝熱促進

蒸発缶における蒸発は、熱伝導の温度勾配による事は論をまたない。その伝熱抵抗の最も大きいのは、無機質のスケールや、有機質の沈積物により液側壁面が被覆されることによるので、操業時間の経過と共にその抵抗は増大する。

その為蒸発缶の伝熱面は清浄に保つよう、特に液側は定期的にスケールの掃除をしなければならない。

また、液側で伝熱速度を高める為には、液の粘度と、液循環速度を十分考慮しなければならない。

伝熱を阻害するものとして、蒸気室からコンデンセートを除去するとともに、空気や非凝縮性ガスも適度に除去する必要がある。

(2) 凝縮器の必要条件

最終の効用缶の真空度は、用水温度とその水量によって制限される。通常その真空度は610~680mmHgで、一般に610mm以下にすることは蒸発能力に影響するので不経済であり、680mm以上にすれば、蒸発缶の温度差は急速に増加するが、液温も低くなるので、蒸発能力としては、その割合に増加しない。

真空蒸発でもうひとつ考慮しなければならない点は、蒸気体積が著しく増加することで、そのため蒸気速度も増し、最後の効用缶の蒸気ヘッドと蒸気パイプの径を大きくしないと、蒸発缶からの飛沫同伴を起こす。

蒸気を熱交換器で温水として回収してから、ジェットコンデンサで完全に凝縮することは、省エネルギーを一層推進するものである。ジェットに使用する給水として、他のプロセスの低温排水を利用する事も、用水原単位を低減することになる。

(3) 蒸発比

蒸発缶に使用した加熱スチーム1 ton 当りの蒸発水量を表わす。蒸発比は、黒液濃縮の管理要因である。

蒸発比は、効用数を増すに従って増加するが、装置の配列や凝縮水をフラッシュさせる段数を増やすことによって増加させることが出来る。実際操業においては、加熱缶にスケールが付着したり、凝縮液の温度や仕上り黒液の温度に変化があると蒸発比は低下することになる。

蒸発缶における蒸発水量は

入口 希黒液濃度 a (g/100cc)

出口 濃黒液濃度 b (g/100cc)

として固形分1 ton 当り 蒸発水量 = $\frac{100}{a} - \frac{100}{b}$

で表わされる。

この水量を如何に経済的に蒸発させるかという事は、 a を出来るだけ高くすることで、洗滌工程に依存する。希釈係数を小さくする為、洗滌段数を増やすか、ウォッシュの前で、プレスで搾汁する等の手段は積極的方法である。設備を増やすことは、蒸発缶における蒸気節減額との対比によって行うべきである。 b を高くすることは、すでに述べたようにスケール付着、不凝縮性ガスによる障害を除去する等により可能である。

蒸発比は蒸発缶の効用数、構造、予熱の方法等によって異なるが、大体 Table 6.6 の値である。

Table 6.6 Evaporation Ratio

Number of effect evaporators	4	5	6
Evaporation ratio $\frac{\text{evaporated water (ton)}}{\text{steam (ton)}}$	2.6 ~ 3.1	3.3 ~ 3.8	4.0 ~ 4.5

(4) エバポレータの最近の傾向

臭気対策のため回収ボイラはカスケードエバポレータのないラージエコノマイザ型が主流になってきている。

カスケードエバポレータを無くす為には、黒液を高濃度に濃縮する必要がある。従来の多管式強制循環型では大容量の循環ポンプを必要とするので、液膜降下型のエバポレータが使用されている。液膜降下型エバポレータにはプレート式と多管式があるが、高濃度用にはスケール除去が容易に出来るプレート式が多く採用されている。Figure 6.8はその構造をしめし、Figure 6.9は、チューブ式とプレート式を比較したものである。高濃度用は3室に区切られ、2室で蒸発し、1室は希黒液で常時洗缶し、一定時間おきに切替える方式をとっている。その濃度も約70%になっている。

チューブ式とプレート式のエネルギー原単位の違いは次表の通りである。

Table 6.7 Unit Energy Consumption of Evaporator

Unit consumption Model	Steam (t/t)		Electric power (kWh/t)	
	Tube-type evaporator	Plate type evaporator	Tube-type evaporator	Plate type evaporator
Tree				
N (Conifer tree)	1.7	1.4	125	75
L (Broad leaves tree)	1.6	1.2	95	80

また、スケール付着による熱伝導低下を防ぐ為、蒸発缶を1缶増設し、酸洗槽、ポンプ等を併設して、運転しながら順次1缶ずつスケール除去の酸洗をし、常時伝熱面をクリーンに保持し、最善の熱効率を維持して、長期連続運転する工場が多くなっている。

Figure 6.9 Falling Film Type Evaporator

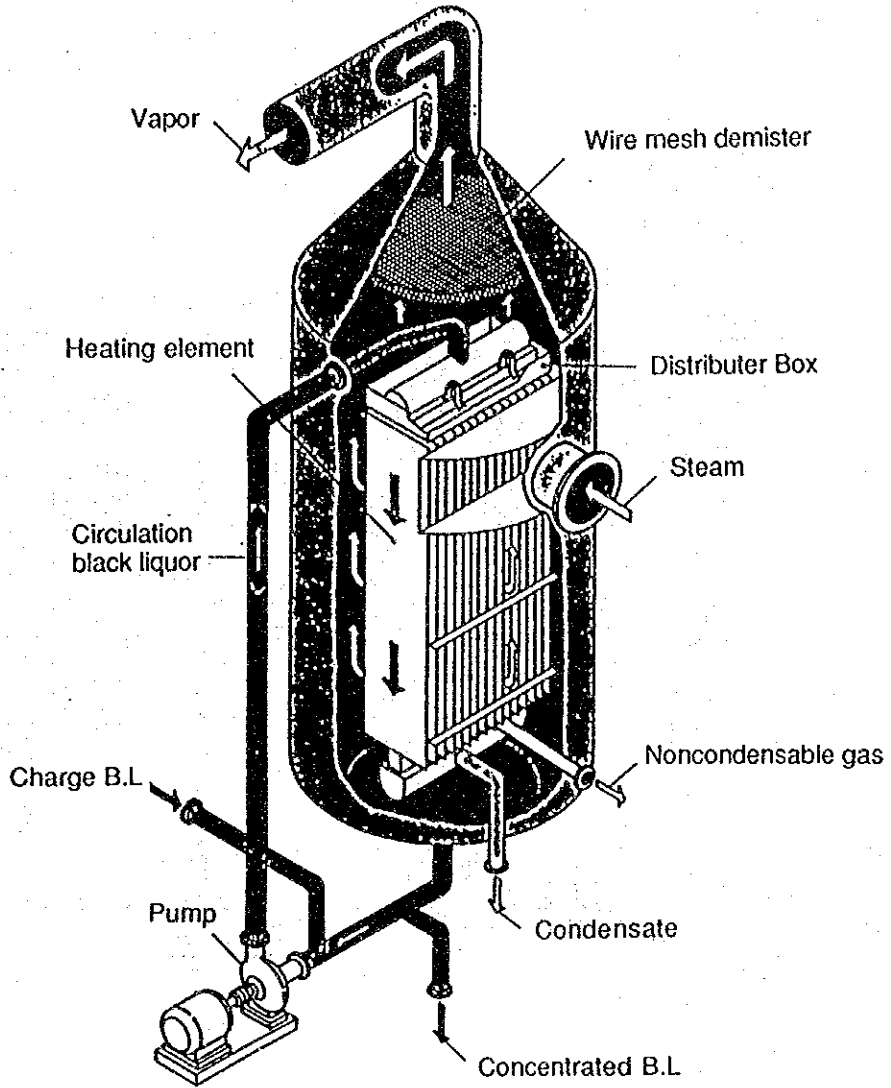
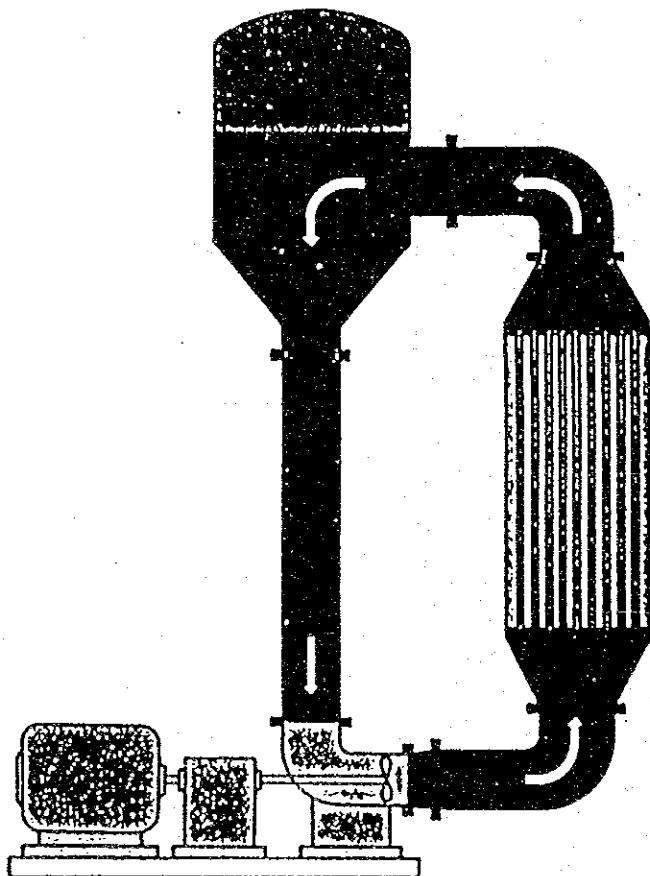
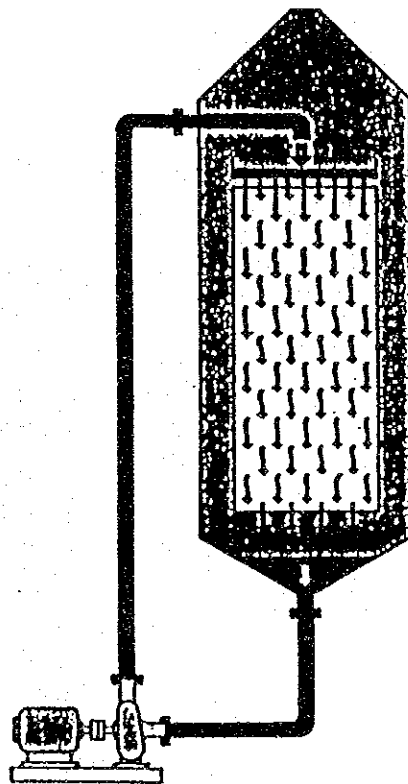


Figure 6.9 Comparison with Forced Circulation Evaporator and Falling Film Evaporator

• Forced Circulation Evaporator
(Tube Type)



• Falling Film Evaporator
(Plate Type)



(5) 黒液の酸化

希黒液を蒸発缶に送る前に酸化塔で酸化する。

酸化は次の目的で行う。

- ① 黒液の硫化度を高い値に保持すること。
- ② クラフトパルプ工場の臭気成分を酸化して臭気障害を低減すること。
- ③ 蒸発缶及び回収ボイラにおける腐蝕が軽減出来る。蒸発缶のチューブの腐蝕は、折角濃縮した黒液を希釈することになり、且つスチームのロスになる。回収ボイラの炉内壁、水管、スーパーヒーターチューブの腐蝕は破裂などの大事故につながる。臭気による環境汚染対策からも、黒液酸化は欠くことの出来ない過程である。

6.6 回収ボイラ

回収ボイラの役割は

- ① ソーダ分を燃焼により有機物と分離し回収すること。
- ② 補填薬品として芒硝 (Na_2SO_4) を硫化ソーダ (Na_2S) に還元すること。
- ③ 燃焼熱を利用して蒸気を発生すること。

の3つの目的をもつ。

黒液中に存在する有機分を燃焼させて、保有する発熱量を利用してスチームを発生する事は、紙・パルププラントのスチーム電力源として省エネルギー上重要である。クラフトパルプー紙の一貫工場の80~90%の蒸気・電力の供給源となる。

最近では、蒸気条件が圧力100~120kg/cm²、温度約450℃に及ぶボイラも出来ている。

回収ボイラで燃焼する黒液は、多重効用真空蒸発缶で約50%まで濃縮し、更に回収ボイラのプロセス内で排ガスの熱を利用して、サイクロンエバポレータ又はカスケードエバポレータで65~70%に濃縮したものである。

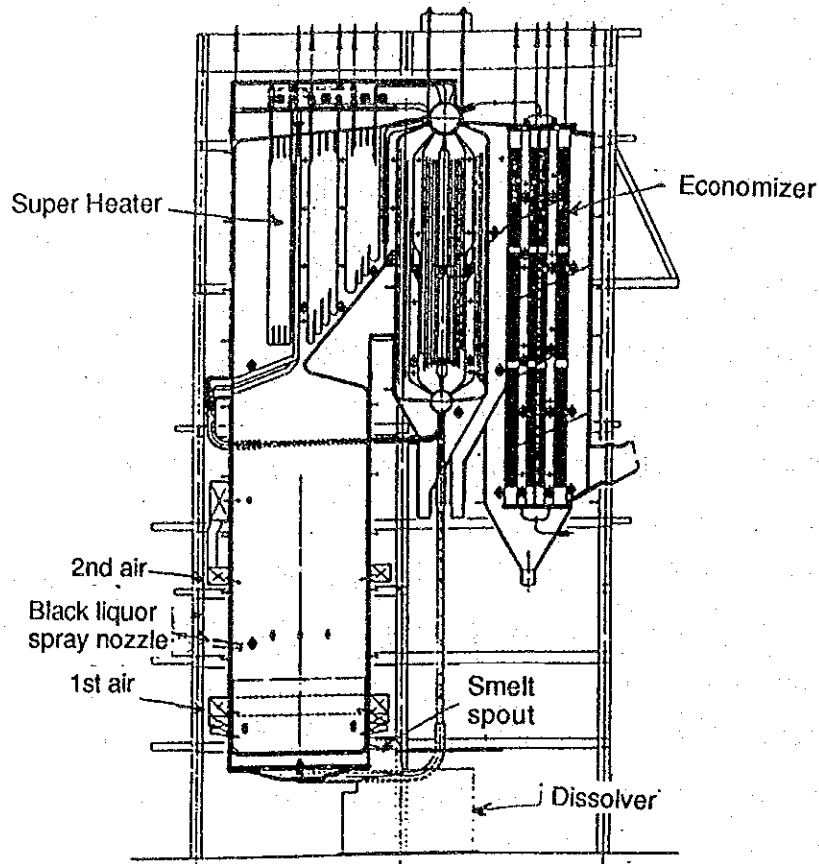
最近ではプレート型エバポレータによって約70%まで濃縮する事が出来るようになり、サイクロン又は、カスケードエバポレータが不要になり、代りにエコノマイザの伝熱面積が2~3倍になりボイラ効率が向上した他、臭気も少なくなって無公害回収ボイラと言われる様になった。黒液は、重油に比較して発熱量は3,100~3,500kcal/solid kgで低く、また噴射する黒液中の水分が多いため燃焼維持が難しく、掃除作業や運転監視に必要なオペレータが、重油ボイラの倍以上多いのが一般である。

回収ボイラから発生する蒸気は副産蒸気と呼ばれ、回収ボイラの効率を上げることはスチームコスト、発電コストの低減になるため、各工場は黒液の燃焼管理に力を注ぎ、特に噴射黒液濃度の上昇(70~75%)に伴う黒液噴射ノズル、一次、二次エアースメルト詰り掃除の自動化、対流伝熱部でのダスト詰りを起すダストのキャリオーバーのコントロール、チャーベッドの形状のコントロールなど積極的な設備開発がすすんでいる。

赤外線や超音波によって、炉内のダスト層の監視、チャーベッドの形状、温度がモニターで観察出来るようになって来た。

回収ボイラの代表例なものとしてCE型、B&W型(バブコックトムリンソン型)があり、その概要をFigure 6.10にしめす。

Figure 6.10 Recovery Boiler



黒液固型物の元素分析の1例は Table 6.8 の通りである。

Table 6.8 Chemical Element of Black Liquor

Carbon	Hydrogen	Nitrogen	Oxygen	Burning Sulphur
38.5 %	3.14 %	6.86 %		1.36 %
Total sulphur	Ash	Moisture	Calory kcal/kg solid	
2.74 %	50.45 %	51.27 %	3400	

クラフトパルプ 1 ton 当りの蒸気の発生量は 4 ~ 5 ton である。

回収ボイラの長期運転のための留意点は以下の通りである。

- ① ダスト付着による効率低下防止対策。スートブロワの正常運転及び設備管理
- ② エアーポートのスメルト付着の除去
- ③ チャーベッドの形状の維持
- ④ 黒液噴射ノズルの整備
- ⑤ 爆発事故防止を含む，設備点検保全修理体制の確立

6.7 プレス脱水の強化

(1) プレスの搾水理論

一般に乾燥工程における湿紙乾燥コストはプレスパートにおける機械的脱水コストに比較し、5倍以上を必要とするといわれ、プレスパートで水分を1%余分に脱水すればドライヤパートにおける乾燥用蒸気量は3~5%節減できる勘定になる。

湿紙乾燥の決め手はプレスパートで全幅方向均一に、しかもいかに多く脱水させることができるか、ということである。

しかしプレスパートにおいて、加圧ができるためには抄紙機に入る前の除塵、叩解（リファインニグ）及び、ワイヤパートにおける地合の作り方（シートフォーメーション）など、前処理が十分に行われていなければならない。結束繊維や異物が多いと、ワイヤパートにおいて良好な地合ができず、水分ムラも生じプレスロールで加圧した場合、くだけて紙切れを起こすことも多いので、十分なプレスができない。また、結束繊維や異物は、その包含する水分のため黒ずんで、いわゆるフィッシュ・アイになる。それを防ぐために過剰乾燥しがちで、それに伴って収縮が多くなり端部に異物等があると紙切れを起こしやすい。紙切れ頻度が多いと作業員の過労につながり本来の仕事が等閑になる。損紙も循環するので、品質は安定せずエネルギー効率が悪いし、生産性も向上しないということになる。

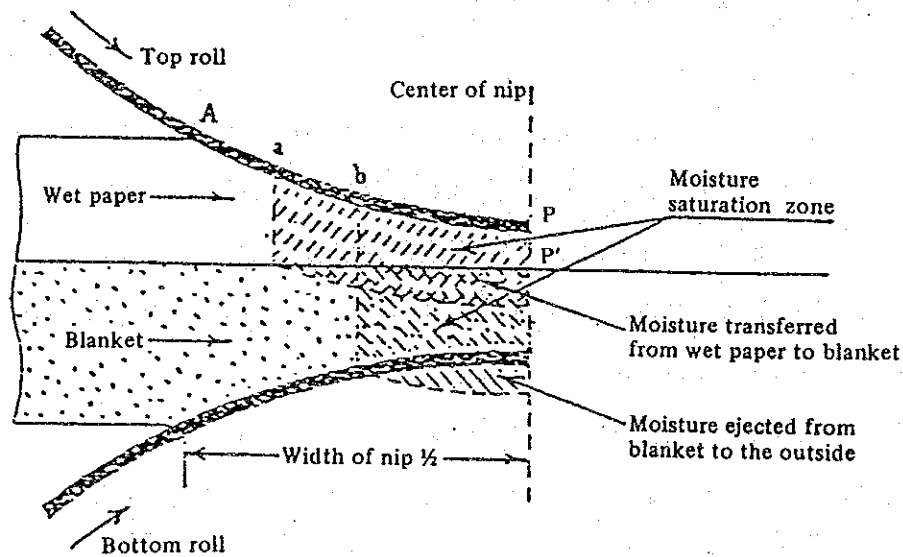
プレスにおける搾水は、2本のプレスロールが形成する加重ニップに搾水媒体としてのフェルトと共に湿紙を通過させることによって行われる。フェルトが使用される理由は、その毛細管状の構造と弾力性、表面の柔軟性等によるものである。使用するプレスの数と構成は抄紙機によってまちまちであるが、一般の長網抄紙機では2~3組のものが圧倒的に多い。しかし、近年技術の開発が急速に進み、搾水能力も増加し、プレス段数も減少の傾向にある。

プレスの基本形式には、プレーンプレス方式という歴史的に最も古いもので、花崗

岩などを使用したトップロールと、鉄心に厚さ25mm程度のゴム巻きをした弾性ボトムロールとを組み合わせた形式と、サクシヨンプレス方式と称し、ボトムロールのゴム表面に6~7mm径の無数の吸引用穴を開け、ロール内部には固定したサクシヨンプレスを設け、搾水と同時に吸引能力を持たせた形式のものがある。サクシヨンプレスの出現は、抄紙速度を向上するのに大きな役割を果たした。

プレスにおける搾水理論は幾つかあるが、プレーンプレス時代には、湿紙と毛布がプレスで圧縮され、ニップの中心を過ぎると毛布が膨張し始め、同時に紙中の水分が毛布に移行するという説があったが、サクシヨンプレス時代になって、Figure 6.11に示すような説が出された。

Figure 6.11 Waster Movement in Press Nip



圧縮が進むと紙中水分は次第に飽和点に達する。シート中の密度増加に伴い、流体圧力が発生して、未飽和の毛布との間に圧力差が生じ、水分は紙から毛布へと移動する。

回転が進んで圧縮も増加すると毛布も飽和状態になり、過剰のしぼり水が溢流し、減圧のサクシヨンプレス孔に吸引される。

プレーンプレス時代にはプレスにおける紙砕けが起こるため、抄速に限界があったが、サクシヨンプレス方式が開発されたことによりこの限界が破られ、高速抄紙が可能になった。この実態からみると、プレスのニップにおける過剰の溢流水が紙砕けの原因であったとも考えられ、サクシヨンプレスはプレスにおける加圧強化、抄速アップに極めて有効で、省エネルギーにも寄与する設備であるといえる。

(2) 湿紙水分と水分分布調整

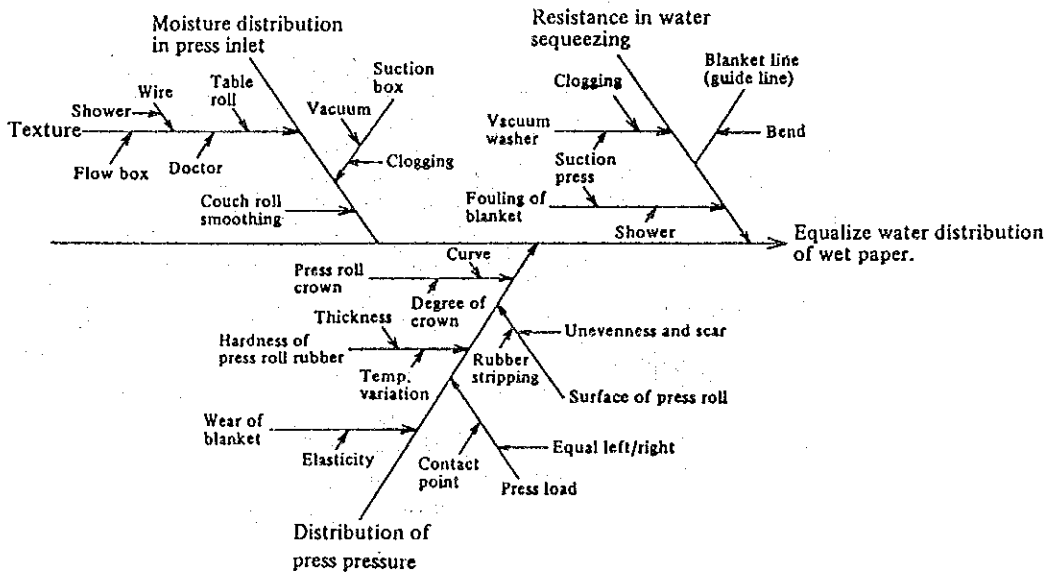
プレス後の水分を下げることもできて、幅方向の水分ムラがあっても全く意味がない。幅方向の水分分布を調整するための要因を図にするとFigure 6.12に示すとおりである。

これらの要因に対する日頃の心掛けとして定期的に調査しておくことは、

- ・幅方向の水分の測定
- ・幅方向のプレスニップ圧の測定
- ・ロールのクラウン及び硬度の測定

等である。水分測定は抄紙機幅によるが10cm間隔位で測定しておきたい。

Figure 6.12 Chart for Characteristic Factors



ニップ圧は、線圧ではなく単位面積当たりに働く圧力である。同じ線圧の荷重を軟いゴムロールと硬いゴムロールに加えたとするとき、軟いゴムロールの接触部の幅は硬いゴムロールのそれに比べて大きくなり、単位面積当たりのニップ圧（平均）は硬いロールの方が高いことになる。

搾水を支配するのが、単位面積当たりの圧力であるから、線圧はもちろんであるが、ロールの接触変形によって生じるニップ幅というものも、線圧同様に重要である。

ロールの加圧を変えて行くとFigure 6.13のようにニップ幅はニップ圧の平方根に比例して変わる。従って、同一条件で線圧を変えることは、平均ニップ圧を次のように

変化させることになる。

$$\bar{p} = \frac{P_l}{k \cdot \sqrt{P_l}} = k' \sqrt{P_l}$$

\bar{p} : 平均ニップ圧

P_l : 線圧

$k \cdot k'$: 常数

このことから、線圧を2倍にしても、搾水降下に関する単位面積当たりの圧力は1.4倍にしかない。

一定の線圧下では、ニップ幅はP & J硬度で示したゴム硬度に比例して増減する (Figure 6.14 参照)。

Figure 6.13 Nip Press and Width

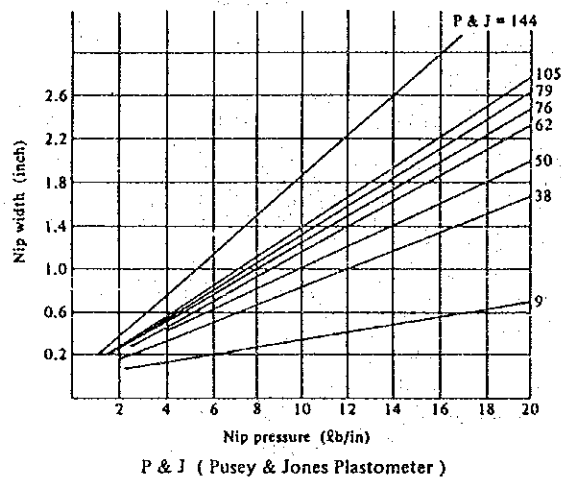
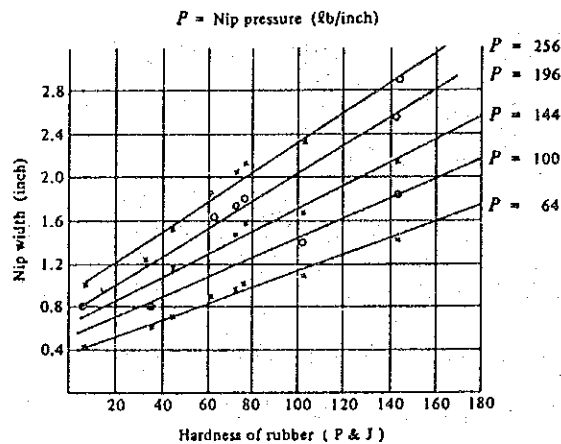


Figure 6.14 Nip Width and Rubber Hardness



ニップ幅は、ロール径の大小にも関係し、当然のことながら小径ロールほど小さい。またニップ幅は抄速によっても変化する。同一条件下で抄速が増すとニップ幅は減少する。ゴムの厚さによってもニップ幅は変わり、被覆厚さに比例する。

ゴムの硬度、厚さは、抄造品質、抄速、マシン幅、設備強度、ロール材質等によって選択しなければならない。これを検討するに当たっては、経験ある専門メーカーの意見を聞き、十分討論するようにした方がよい。水分の分布、ニップ圧の状況、クラウン、紙質（厚さ、密度、引張り、引裂、透気度）等、予め必要なデータは日常から採取しておかなければならない。

A) ゴムロールの硬さ

ゴムロールの硬さを測定する方法にはいろいろある。日本ではJ I S (K6301) としてスプリング式硬さ試験機A型・C型と定荷重式のブセイ・ジョンズ式がある。この他にショアA型がある。抄紙機に使用するロール類のゴムの硬さの標準値として、Voith 社の資料があるのでTable 6.9 に示す。

ゴムロールは放置しておいても、表層の酸化のため2°程度硬さが上がるが、プレスロールなどで長期間使用すると表層の硬さが変化する。ゴムの材質により軟化する場合もあれば硬化する場合もある。ゴム硬度の温度による変化も比較的大きく、温度が上がると硬度は低下する。ゴムの種類によってかなりの差があるが、温度差50℃で3～5°程度の硬さの差が発生する。従って、硬さの指定には測定時の温度も指定しなければならない。

Table 6.9 Kind and Hardness of Rolls

No.	Kind of roll	Hardness by Pusey & Jones 1/8" sphere
1	Pressed roll	5~10
2	Table roll	0~5
3	Wire roll	0~5
4	Lamp roll for suction couch	180~200
5	Lower roll for the first press	65~70
6	Lower roll for the second press	60~65
7	Lower roll for the third press	50~55
8	Lower roll for the 4th press	40~45
9	Suction press roll	28~32
10	Upper roll for ringer plane press	10~15
11	Lower roll for ringer plane press	70~75
12	Upper roll for ringer suction press	60~65
13	Suction roll for ringer suction press	28~32
14	Wet felt roll	0~5
15	Transfer roll and draw roll	0~5
16	Paper roll	0~5
17	Top roll for offset press	30~40
18	Pressed rolls for cylinder dryer and yankee dryer	25~30
19	Gloss press roll for yankee dryer	25~30
20	Suction touch roll for yankee dryer	28~30
21	Coating or size press roll	
	Roll of high hardness	5~40
	Roll of low hardness	30~50

Quoted literature: Voith Tech. Bellage 1966 S. 45

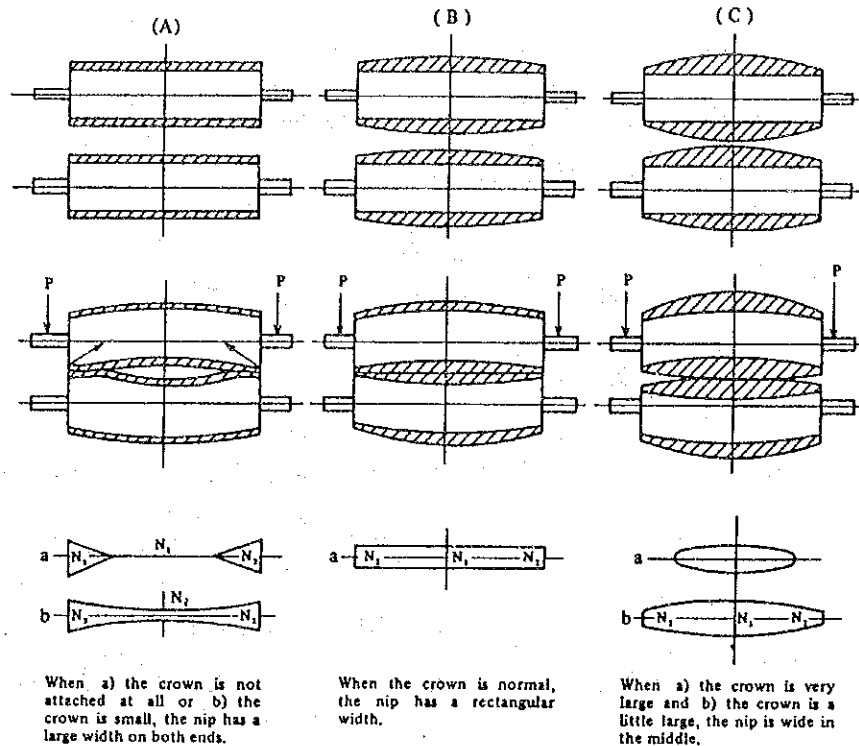
B) クラウンのチェック

抄紙機の操業と品質の安定は、計画的なロール類の研磨によって、大部分達成されるという過言でない。ゴム被覆のサクションロールは、3~6ヵ月毎にゴムの硬さやプレスニップ圧を考慮して再研磨することが必要である。ゴムロールは肉厚が13~15mmになるまで研磨を繰り返し使用する。

研磨に当たっては、クラウンについて考慮しなければならない。ロールは両端支持の梁であるから、自重による撓みが生じる。上下一対のプレスロールについて考えると、下のロールは自重によって下方に湾曲する。一方、上のロールも自重によ

り下に撓むが、両端のジャーナル部に加えられる荷重による上方への撓みの方が一般に強いので、その場合は全体として上方に湾曲する (Figure 6.15 参照)。

Figure 6.15 Crown and Nip Width



従って両端は密着していても、中央部には隙間ができる。この隙間を埋めるための肉盛りをクラウンという。

クラウンが不適正であると、全幅にわたって、均一なニップ圧が得られない。簡単にクラウン状態を眼で判断する方法としては、ロール間に次のものを挟み、そのマークないしは痕跡を利用することが行われている。

- a. カーボンと薄葉紙
- b. 感圧紙
- c. 表面に凹凸のエンボスをしたアルミ箔

これらを下ロールの上におき、上ロールの両端が下ロールに同時に接するように圧力をかける。荷重を除き上部ロールを上げると、全幅にわたってのニップが記録される。

片側に狭いマークが現れたら、それは前裏の荷重が均一でないか、ロールがズレているときである。

マークされたニップ幅から、クラウン量を計算する式は、

$$C = \frac{(N_2^2 - N_1^2) (D_1 + D_2)}{2D_1 D_2}$$

C：補正すべきクラウン量

N₁：マークしたロール中央部のニップ幅

N₂：マークしたロール両端部のニップ幅

D₁：上ロールの直径

D₂：下ロールの直径

上下ロール径が同一であれば、当然次のようになる。

$$C = \frac{N_2^2 - N_1^2}{D}$$

もし計算結果が負になれば、それだけクラウン量を減らすことを意味している。

ここで注意すべきことは、ニップ巾 $\frac{1}{10}$ の差が $\frac{15}{1000}$ のクラウンの変化となってあらわれてくることである。ニップ巾を測定する場合、正確に読む必要があるので、感圧材の選択には細心の注意をし、鮮明にマークされるものを使用しなければならない。

6.8 乾燥の効率化

(1) 水分約60%の湿紙を約5%まで乾燥する機構

- a. ドライヤシリンダに送入された蒸気はシリンダ表面を加熱し、凝縮する。
- b. 湿紙は、加熱したシリンダの平滑な表面にタッチし、全幅均等に、有効に熱を吸収・昇温して水分が蒸発する。
- c. シリンダにタッチした湿紙は、シリンダ外周約65%に接触するが、その湿紙の外側を、多孔質のキャンパスが湿紙をおさえつけて走行するので、蒸発した蒸気は、キャンパス内部に凝結する。
- d. 凝結水を抱含したキャンパスの温度が上昇し、それにつれて内部水蒸気分圧も上昇する。そしてシリンダを離れて次のシリンダに接するまでの自由空間において抱含した水分を瞬間的に蒸発する。
- e. このように蒸気を吸収し、凝縮し、放出する水分の排出作用を効果的に行うためには、キャンパスは通気性があり、高温で、よく乾燥していることが必要である。

f. 湿紙も、シリンダを離れて自由空間に出るとき、相当の温度を持っているので蒸気圧が高く、急激な温度低下を伴って紙の両面から高率の蒸発作用が行われる。

g. このときの蒸発速度は、紙表面の蒸気分圧（だいたい紙表面温度の飽和蒸気圧に一致する）と空気中の水蒸気分圧との差に比例する。従って、紙周囲の空気の湿度を下げることは効率向上の手段である。

h. シリンダ内に凝縮したドレンは、滞留したり、水膜リングになると、熱効率が低下するので、効果的に排出しなければならない。

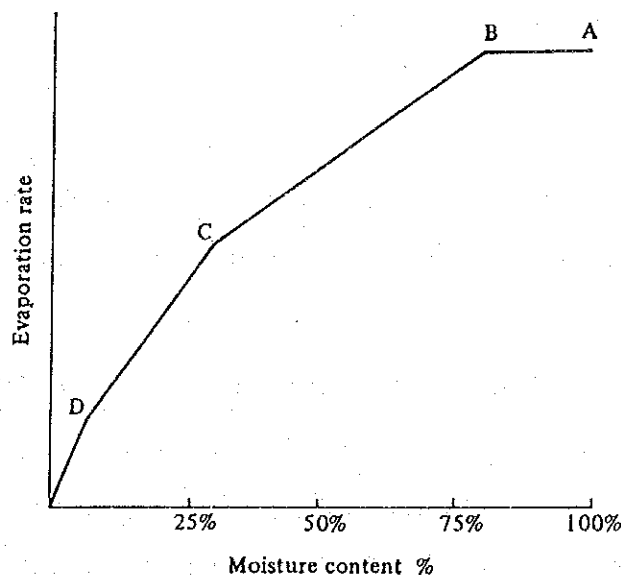
以上、ドライヤパートの乾燥機構の概要を述べたが、乾燥における紙層間の水分の動きについて理解しておくことは、効率的な乾燥を行う場合必要なことである。

(2) 紙層中の水分の動き

紙層から水分が蒸発する過程で、その蒸発速度と紙水分の間にかなる関連があるかを究明することは、乾燥機構を理解する上で必要である。典型的な紙の乾燥曲線を Figure 6.16 に示す。

A→B：水分の非常に多い状態の乾燥であって蒸発速度は一定している。これは紙の表面が水に覆われている状態で、この水分が蒸発しても紙層内部の比較的大きい毛細管や、繊維の隙間から次々にこれを補充している。この状態の蒸発が進行すると、当然紙の表面を十分湿った状態に保持することが不可能になる段階に達する（B点）。

Figure 6.16 Drying Curve of Paper



これは、次第に小さい毛細管からの水の移動が主になり、流れの抵抗が増加するた

めであると考えられる。

B→C：内部空隙の水分が、紙層の表面に出てくるときの抵抗が、水分の減少と共に次第に大きくなって蒸発速度が徐々に低下してくる過程である。この抵抗となるファクタには、いくつかのものが考えられるが、繊維の叩解状態などによる毛細管の大きさの分布が最も大きなものであろうと思われる。

C→D：C点は非常に小さい毛細管や繊維そのものに吸収されている水分が、蒸発を始めることを示す変位点であって、C→D間では更に蒸発速度が下向きになる。繊維に吸収される水分の量はヘミセルローズの含有量や、叩解の程度に関連があるといわれている。

D→E：D点に至ると繊維に水和されている水分が蒸発を始めるが、この過程は更に抵抗が大きい。水和された水分はセルローズやヘミセルローズ分子に拘束されたり、あるいは分子層としてそれらに吸収されたりしているものである。

(3) 紙の乾燥速度を支配する条件

湿紙から水分が蒸発する機構やドライヤにおける蒸発のプロセスについて理解できたと思うが、実際操業における重要な点は、幅方向の均一な乾燥である。厚さ、密度の均質な地合でありブロック結束繊維、異物などの夾雑物のないことが乾燥の要点であるが、乾燥速度を支配する一般的な条件について述べる。

その支配する要素は次の三つがある。

- A) ドライヤの表面温度
- B) 紙表面に接する空気の性質と風速
- C) ドライヤ表面と紙との接触面における熱伝導抵抗（接触抵抗）。

A)の項は、ドレンの排出が正常であれば乾燥不均一を起こす原因になることは少ないが、シリンダ内部のサイホンが欠落して、乾燥不均一になった例は、しばしば経験する。

B)の項は、紙とシリンダの間の空気が問題となることが多い。湿紙に接する空気の条件と乾燥速度との関係についてFigure 6.17により説明する。

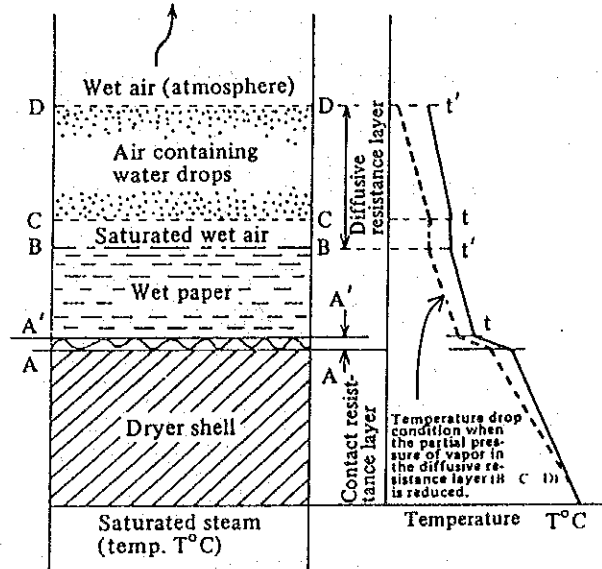
Figure 6.17は湿紙に接する空気の状態を画いたものである。湿紙中の水分蒸発に要する蒸発熱（気化熱）を、いかに迅速に湿紙に供給するかが要点であるが、2点間の熱の伝導速度は、2点間の温度差に比例するという原則がある。従って、その伝導速

度を早めるためには、シリンダ表面温度と湿紙温度との差を大きくしなければならない。そのためには、

- a) シリンダ表面の温度 $T^{\circ}\text{C}$ を上げるか。
- b) 湿紙の温度 $t^{\circ}\text{C}$ を下げるか。

である。

Figure 6.17 The Relationship between Air Conditions and Drying Speed



a. のシリンダ表面温度を高く保つには、スチーム調節バルブを開けばいいが、問題は b. の湿紙温度の低下とその影響である。水分は湿紙から気化熱を奪って気化し、湿紙表面から飽和湿り空気層 B-C（湿紙から蒸発した水蒸気で飽和している温度の高い層）、水滴を含んだ飽和湿り空気層 C-D（B-C層より温度が下って一部の水蒸気が凝結して水滴となった層）を経て、外気（湿り空気）へ拡散されるが、C-D層における水蒸気分圧が低いほど B-C層からの水蒸気の拡散は促進され、湿紙からの蒸発速度は速くなり、そのため、湿紙は気化熱を奪われて温度が低下する。この結果として、湿紙とスチームとの温度差が大きくなり、熱の伝導速度を上昇させることになる。このように湿紙の周りの環境条件（温度、湿度、風速）が、乾燥速度や幅方向の乾燥ムラに影響する大きな要因となっている。

次に、C)のドライヤ表面と紙との接触面における熱伝導抵抗については

- a. シリンダ内面のフィルム抵抗
- b. シリンダ壁の抵抗

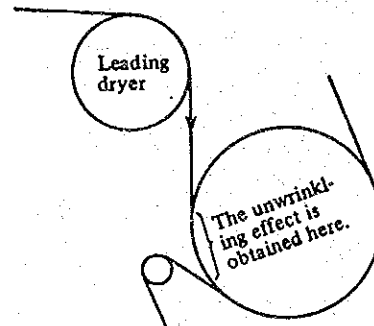
- c. シリンダ壁と紙の間の空気フィルム抵抗
- d. 紙層自身の抵抗

の各要因が正常であれば、乾燥速度が不均一になる恐れは少ない。

これらの要因の中で、不確定的で、意外に大きく、操業で留意しなければならないのは、c. の項で、紙の表面に接する空気層については、十分留意しなければならない。

この部分のしわをのばし、空気を追い出すために、リーディングドライヤが設けられる場合がある。Figure 6.18はその使い方を示すが、リーディングドライヤはドライヤシリンダより少し径が小さく、50℃位に加温されている。

Figure 6.18 Leading Dryer



以上のように、ドライヤパートにおける乾燥機能に合わせて、設備、補機類、用具等について、点検・保守、整備、改善を行い、状況に合わせてうまく運用することが肝要である。日常の操業の中では、

- a. シリンダ表面をいつもきれいに保つためのドクタの整備点検と粕の除去。
- b. キャンパスの目詰まり、湿りの除去
- c. ドライヤへの冷い湿った空気の流れの防止

など、簡単な作業に気を配る必要がある。

(4) スチームの給排システム

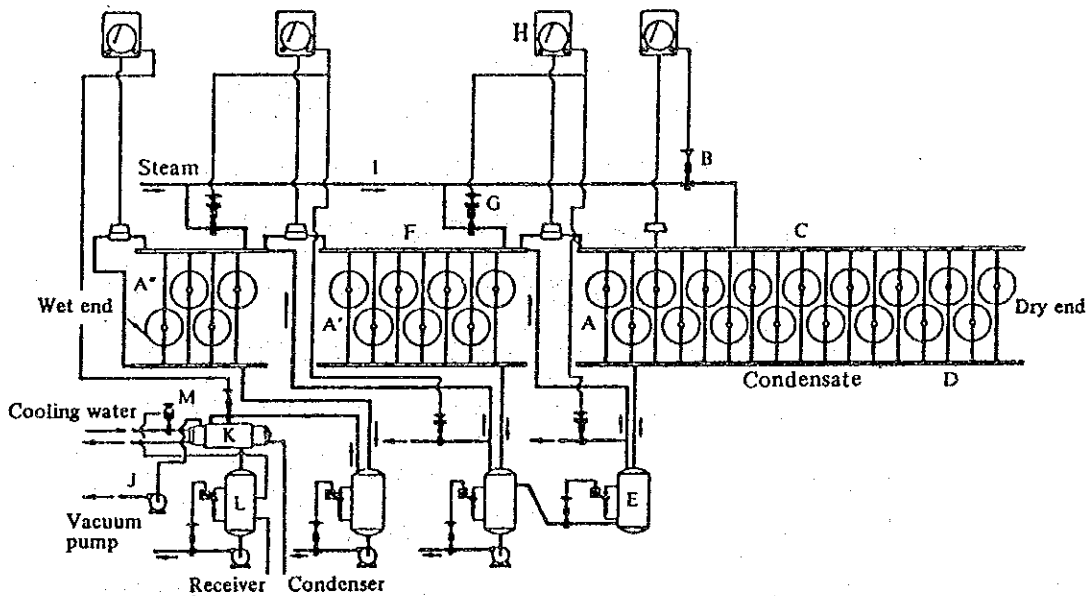
紙乾燥の場合は、紙の種類による品質上の問題を考慮しなければならないが、一般的には、ドライヤ表面温度はウェットエンドから、ドライエンドに向って徐々に温度が高くなることが要求される。このことは、紙水分の減少につれて乾燥の抵抗が増し、同時にシリンダからの熱伝導率が低下する条件とも一致している。従って、ドライヤパートは2～3の群に分けて、スチーム通気量を変化させる。つまり、ドライエンドの群に対しては、スチームを多く使用し、ウェットエンドの群に対するスチーム使用

量は少なくする。

シリンダ群分けの目安は、例えば3群の場合はウェット側から1：2：4の本数比とする。

Figure 6.19 は典型的な3群のドレネージシステムであるブロースルーシステムを示す。

Figure 6.19 Typical Third Group Drainage System
(Blow Through System)



- A : First group dryer (A' : second group dryer, A'' : third group dryer)
- B : First group control valve
- C : First group steam header
- D : First group condensate header
- E : First group condensate receiver tank
- F : Second group steam header
- G : Second group control valve
- H : First group and second group differential pressure controller
- I : Main steam pipe
- J : Non-condensive gas ejection vacuum pump
- K : Condenser
- L : Receiver tank
- M : Cooling water control valve

<Figure 6.19 の説明>

Bのコントロールバルブから最初のドライヤ群〔A〕のヘッダ〔C〕に流入したスチームは、コンデンセートとなって、ヘッダ〔D〕を経て、レシーバタンク〔E〕に入る。ここの圧力はAより低いので再蒸発し、スチームとコンデンセートに分離される。この再蒸発スチームは、次の中間ドライヤセクション〔A'〕のスチームヘッダ〔F〕に入る。〔A〕と〔A'〕とのスチームヘッダの間には、一定の差圧を保つようコントロールバルブ〔G〕とコントローラ〔H〕がある。この差圧は、〔A〕のコンデンセート抜けが最も適切な状態となるよう設定されるが、設定値より大きくなった場合は、コントロールバルブ〔G〕が開いて、差圧が所定の圧力になるまで、メインスチーム管〔I〕から〔A'〕のスチームヘッダ〔F〕にスチームが流れるようになっている。もし次群のスチーム消費量より再蒸発スチーム量とサイホンのブロースルースチーム量の和が多い場合は、系外へ一部放出しなければ差圧コントロールができないので、システムは更に複雑になってしまう。このようなことから、最終段のウェットエンドドライヤセクション〔A''〕のドレンヘッダ圧力を負圧にすることも必要であり、同時に非燃縮性のガスを強制的に排除する目的で、真空ポンプ〔J〕が設けられる。通例は、コンデンサ〔K〕も併設してバキュームポンプの能力を助けている。コンデンサへの冷却水量は、レシーバタンク〔L〕の温度に従って、コントロールバルブ〔M〕により調節される。

各レシーバタンクには、レベルコントローラを設け液面は常に一定に保たれる。コンデンセートは集合タンクに集められ、ボイラプラントに戻される。

レシーバタンク（フラッシュタンク）の大きさはTable 6.10, Table 6.11 により求められる。

Table 6.10 Flash Tank Capacity Index

Diameter		Maximum drain volume (kg/hr)
(mm)	(inch)	
150	6	900
200	8	2,250
300	12	4,500
380	15	9,000
460	18	13,000
500	20	16,000
600	24	20,000
760	30	34,000
920	36	50,000

Table 6.11 Flash Tank Height Index

Diameter		Height (mm)
(mm)	(inch)	
150	6	940
200	8	940
300	12	1,000
380	15	1,100
400	18	1,200
500	20	1,400
600	24	1,400
760	30	1,400
920	36	1,500

(5) ドライヤパートにおける空気の給排

ドライヤンシリンダ周辺にできるだけ乾燥した、温度の高い空気を供給し、高湿度になった排気は速かに系外に排出することができれば乾燥効率は向上する。

またドライヤパートから排出する空気は高湿度であると同時に温度も高い（60～80℃）ので、何らかの方法で熱回収を行えば、熱収支を改善することができる。

以上の目的を達成するためには、ドライヤンシリンダ群を囲うフードが重要な役割を持っている。

A) ドライヤフード

普通の抄紙機では、1 tの紙を乾燥するのに約2 tの水分を蒸発し、この水蒸気を排出するためには50～60 tの空気が必要である。そのためドライヤフードの構造としては、設計上次のような配慮がなされる。

a. フードの横幅及び側壁の深さ（高さ）が、湿気を含んだ空気を捕集するのに十分な寸法であること。オープンフードの場合、側壁の高さは少なくとも2 m、マシンプレームからの距離は、ソールプレート内側に対してはほぼ30～35℃の位置にあることが必要である（Figure 6.20参照）。これはドライヤポケットからのベーパーの吹き出しや、ソールプレートの内側を通過する上昇気流の膨張を十分吸収するためと作業上の点からである。

上部の傾斜は内側に凝縮する水滴が流れ落ちるように配慮したものであり、上部の空間容積も十分に余裕を持つべきである。

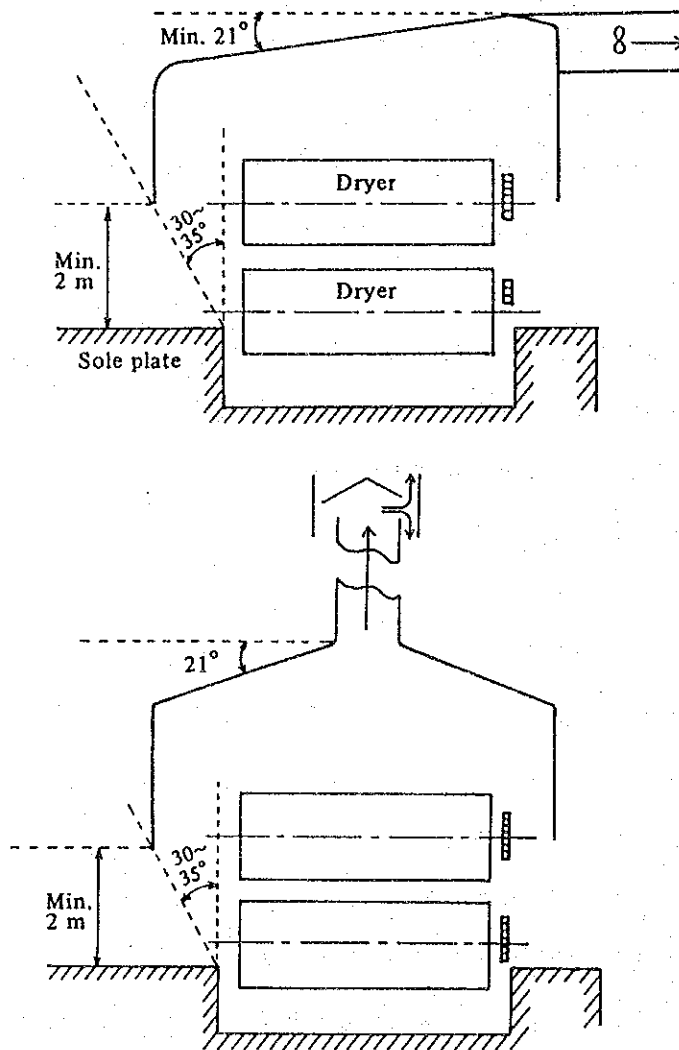
b. 排気口の位置及び大きさ、形状は湿気を含んだ空気を確実に排除するのに十分なものであると同時に、紙幅方向の乾燥ムラの原因となる偏気流の少ないもので

ある必要がある。

フードの天井に排気口を直接接続するときは、ドライヤパートのウェット側3/4の部分に設けるべきである。これは蒸発の大部分が、紙水分15%程度のところまでの、いわゆる恒率乾燥の区域で発生するためである。

- c. 通紙作業の邪魔にならない構造であること。
- d. ドライヤ部の保全、修理、掃除のためのフード内出入りが容易であること。
- e. フード材質は、耐水性、耐火性、耐食性のものであること。
- f. フードの天井は、安全に歩き得る強度があること。

Figure 6.20 Design of Open Hood



古い抄紙機では、ドライヤシリンダ群の上に屋根形のフードを設け、これに3～4本の太い排気筒を備え、自然通風による排気を行っていた。

生産性の高い高速抄紙機の開発に当たって乾燥性能が見直され、強制排気の採用、熱風供給設備の導入、更にフードの完全密閉化、排熱回収装置の組み込みというように発展してきている。完全密閉フードの場合は、理論的な設計が可能で、熱収支の計算も容易であるが、開放型フードの場合は、実際操業の中で生産に適合するよう順次改良、改善がなされる。

ドライヤ蒸発量と排気量の関係は、次式によって表わされる。

$$E = P \times \frac{W_1 - W_2}{100 - W_1} \quad (1)$$

$$G = \frac{E}{X_2 - X_1} \quad (2)$$

E：蒸発量 kg/h

P：紙通過量 kg/h

W₁：入口水分

W₂：出口水分

G：排気空気量 kg/h

X₂：フード出口露点に対する絶対湿度 kg/kg

X₁：フードに供給される新鮮空気の絶対湿度 kg/kg

X₁は季節、立地によって変化するが、X₂は操業で変化させることができ、大きくなるほどGは少なくて済む。すなわち、排気の露点を高く保つことが、スチームの原単位を下げることにつながるのので、これに対する要因について、注意深く配慮した計画が必要となるわけである。

開放型フードの側壁端から透明フィルムのカーテンを下げることは、理屈にも合っているし効果ある方法である。また抄紙室の作業環境も改善される。

一般に紙1 t当たり必要とされる空気量は、次のとおりである。

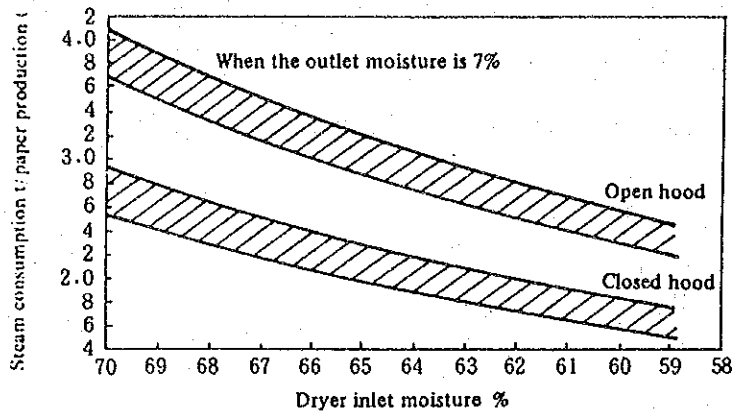
- ・フードのない抄紙機 75～80 t
- ・開放型フード付き抄紙機 50～60 t
- ・密閉型フード付き抄紙機 25～30 t

フードの設備を改善すれば、空気量は少なくて済み、それに伴ってスチーム原単

位も少なくなる。開放フードと密閉フードの違いをFigure 6.21 に示す。

ドライヤの能力が限界にきているとき、密閉フードにすると20%程度の能力増加が期待できる。

Figure 6.21 Unit Steam Consumption Rate for Open Hood and Closed Hood



B) ドライヤベンチレーションの改善

密閉フードにする場合、ベンチレーションシステムを一緒に組み込まないと効果が薄い。給気と排気の量・温度が適切なバランスを保つことが、熱エネルギー、電気エネルギーをムダなく有効に使うということと、品質を安定させることにつながる。

ドライヤパートからの蒸発水は露点の高い排気として放出されるが、その放出の過程で熱交換し、高温の空気及び温水を得、高温空気はドライヤの給気とし、温水は毛布洗浄やパルプ洗浄工程に使うようにする。

ドライヤベンチレーションシステムは、高効率蒸発と排熱回収をベンチレーションコントロールによって行うもので、その1例をFigure 6.22 に示す。また、排熱回収フローとベンチレーションのコントロールシステムをFigure 6.23 に示す。

ポケットベンチレーションは、全幅の水分を均一にし、スチーム使用を節減する効果がある他、両端の過乾燥を防ぎ、紙切れも防止するのでその効果は著しい。開放フードの場合でも、発生水蒸気の滞留は解消すべき問題である。キャンバスロールに内蔵したPVロールとか、クレビンノズルという装置もあるが、場合によりペーパー滞留個所にエアーを吹き込むことも行われる。

Figure 6.22 An Example of "Closed Hood Ventilation System"

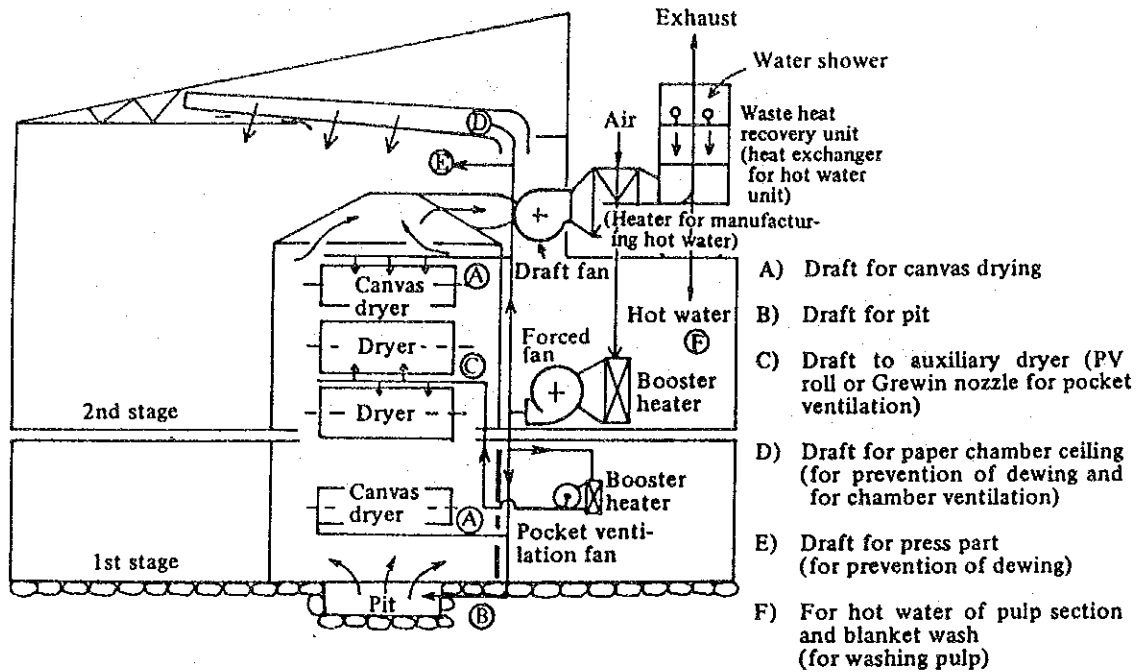
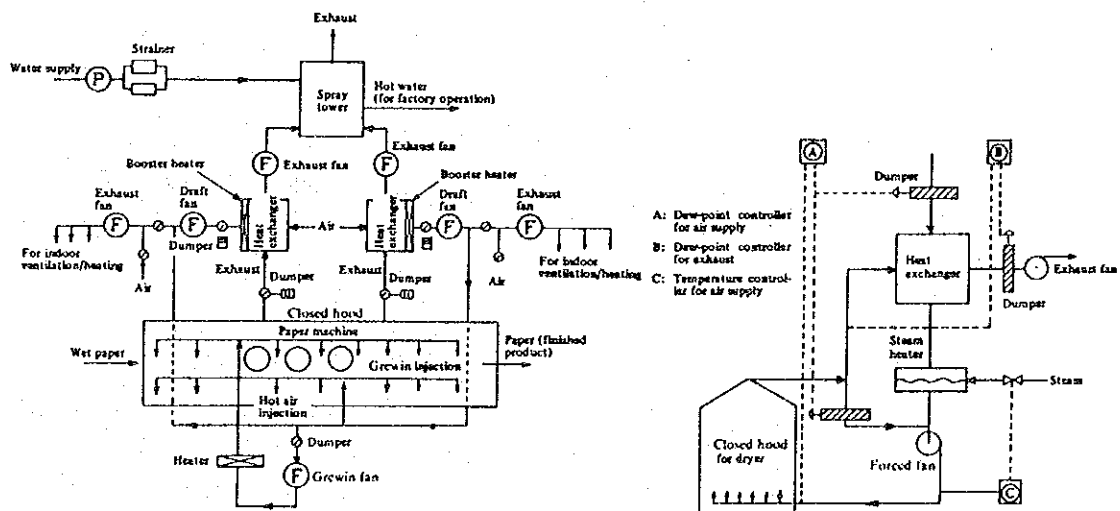


Figure 6.23 Waste Heat Recovery Flow for Closed Hood Ventilation System and Control System



7. 繊維工業の省エネルギー

7. 織 維

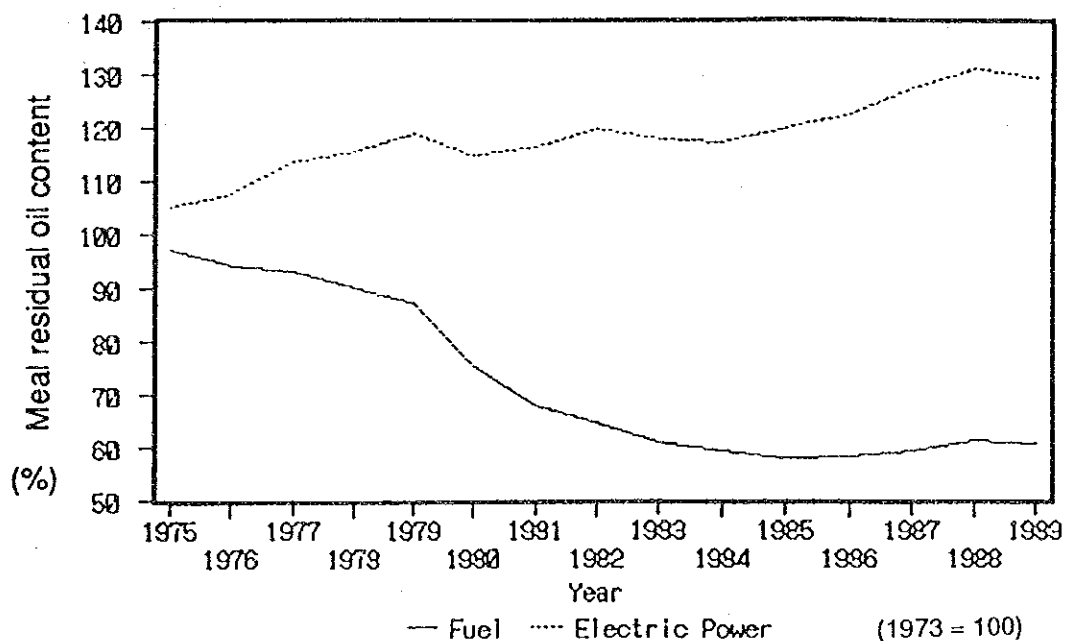
7.1 エネルギー使用の状況

7.1.1 エネルギー原単位

エネルギー管理の良否を評価するメジャーの一つとして、原単位がある。同業他社と比較してそのレベルをチェックする場合と、改善傾向にあるかあるいはその逆の傾向かをチェックする場合とがある。

ある時期のエネルギー原単位を横断面的に捉えて議論しても、それが改善の途上にあるものか、悪化してゆく途上の点なのかが不明ならば、余り的確な評価は下せない。やはり数年ないしそれ以上のトレンドで、業界の原単位を眺めた方が良い。

Figure 7.1 Trend of Energy Consumption In Dyeing Industry



参考までに、日本の染色整理業におけるエネルギー消費原単位の推移を Figure7.1に示した。燃料については大巾な省エネルギーが達成されているが、電力については後述のように増加要因があつて悪化している。

(1) 燃料原単位

品種別原単位を調べたものが Table7.1である。

染色整理業は、他の業種よりも遥かに燃料原単位が高い。

織物業でも、毛織物の原単位が他の織物の2倍以上高い。これは綿、化繊、合繊織物等と異なり、毛織物特有の工程があり、煮絨、洗絨、蒸絨等いずれもが多量の温水、蒸気を必要とするためである。

さらに、高級毛織物の多品種少量生産方式がエネルギー使用効率を悪くさせている面もある。

(2) 電力原単位

日本において繊維工業電力量消費の過半数を占める染色整理業では、電力原単位は概して上昇トレンドである。省電力対策はもちろん強力的に推進されているが、なおこれを上回る電力量の増加があった。

排熱回収のため、送液用ポンプまたは送気用ファンの運転により従来より電力量が増加したり、用水節約のため循環ポンプを運転したり、作業室環境改善のため新たに冷房電力を使用する等省エネルギー、節水、環境改善の代替エネルギーとしての電力が使用される場合が多い。

Table7.1をみると、とび抜けて電力原単位が高いのが、絹、人絹織物であり、次に麻織物、毛織物染色、綿、スフ織物等製造工程の長い業種であり、天然繊維の加工が大半である。さらに、高付加価値化、多品種少量生産および短納期等、エネルギー多消費の傾向が続いている。

今後の省電力のテーマは、これ等長い工程を如何に統合省略させるか、熱源としての電熱電力を、他のエネルギー源に転換させるか、あるいは、多品種少量生産に適合するシステムに組み直すか等が課題となる。

Table 7.1 Unit Energy Consumption of Energy-Intensive Categories of the Textile Industry (Average for the three Years Up to 1990)

Type of Industry	Fuel Unit Consumption (ℓ/ton)	Power Unit Consumption (kwh/kg)	Item Manufactured	
Category	Subcategory			
Textile		278.8	2.91	
	Cotton, staple fiber textile industry	233.9	2.31	Cotton, chemical fiber, staple fiber, synthetic short fiber fabrics, blanket
	Silk, rayon textile industry	305.0	5.03	Silk, chemical fiber, synthetic long fiber fabrics, tire cord
	Woolen textile industry	669.0	1.68	Worsted cloth, woolen fabric, woven felt
	Flaxen fiber textile industry	71.0	4.27	Flax and jute fabrics
	Others	576.2	2.29	Moquette, other fabrics
Dyeing		820.9	1.10	
	Cotton, staple fiber, and flaxen fiber fabric dyeing	1046.2	3.82	Scouring, bleaching and dyeing for cotton, flax fiber, staple fiber and synthetic fiber spinning fabrics
	Silk and rayon fabric dyeing	593.6	0.74	Scouring, bleaching and dyeing for silk, rayon and synthetic long fiber fabrics
	Wool fabric dyeing	2187.2	2.62	
	Fabric general finish	265.9	0.37	
	Cotton fiber and yarn dyeing	810.2	1.22	Dyeing for cotton yarn, synthetic fiber yarn and others
	Knit and lace dyeing	1145.3	1.48	
	Miscellaneous textile goods dyeing	1917.3	2.16	Including raising

- 1) Fuel unit consumption = Annual fuel consumption by items (kℓ) +
[Quantity of processing by items (m²) × Specific weight (kg/m²)]
 - 2) Power unit consumption = Power consumption by items (kwh) +
[Quantity of processing by items (m²) × Specific weight (kg/m²)]
- [Source: Industrial Statistics (Item)]

7.2 繊維製造プロセスの概要

繊維製品は多種多様であり、原料から製品になるまでの工程も化学原料から合成繊維を作る工程、天然繊維や合成繊維から糸を紡ぐ紡績、糸から織物を作る織布、糸や織物を染める染色の工程を経て製品となる。糸の段階でも繊維の種類や長さ、撚りのかけ方、太さにより種類のもので作り出される。

織物独自の品位である風合を出すための多様の織り方や仕上加工があり、染色方法も浸染法や捺染法など異なった加工処理が施される。

ここでは、一般的な製造プロセスとユーティリティのからみについてその概要を説明する。

7.2.1 化学合成繊維

合成繊維生産の主流でもあるポリエステル繊維の製造工程 Figure 7.2 に示す。

押し出された単一繊維は、フィラメント系とステープル系の二つの流れとなり、後者は短繊維紡績の工程により加工される。

Figure 7.2 Process Flow Chart of Polyester Fiber

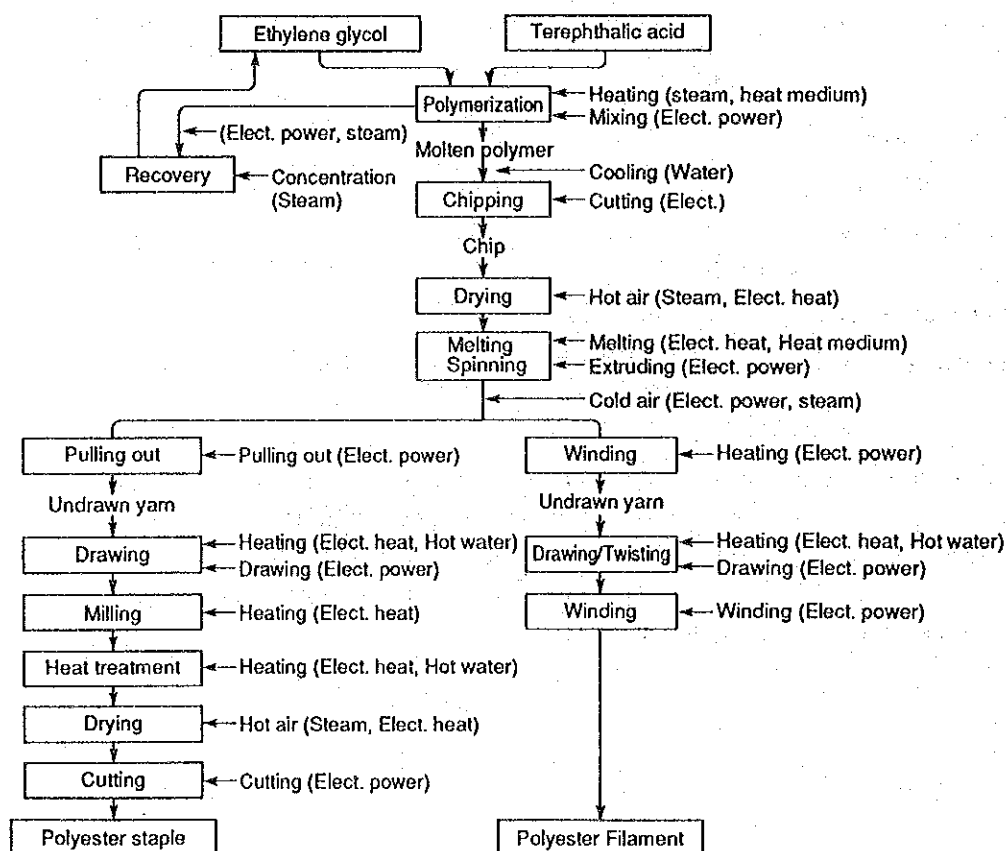
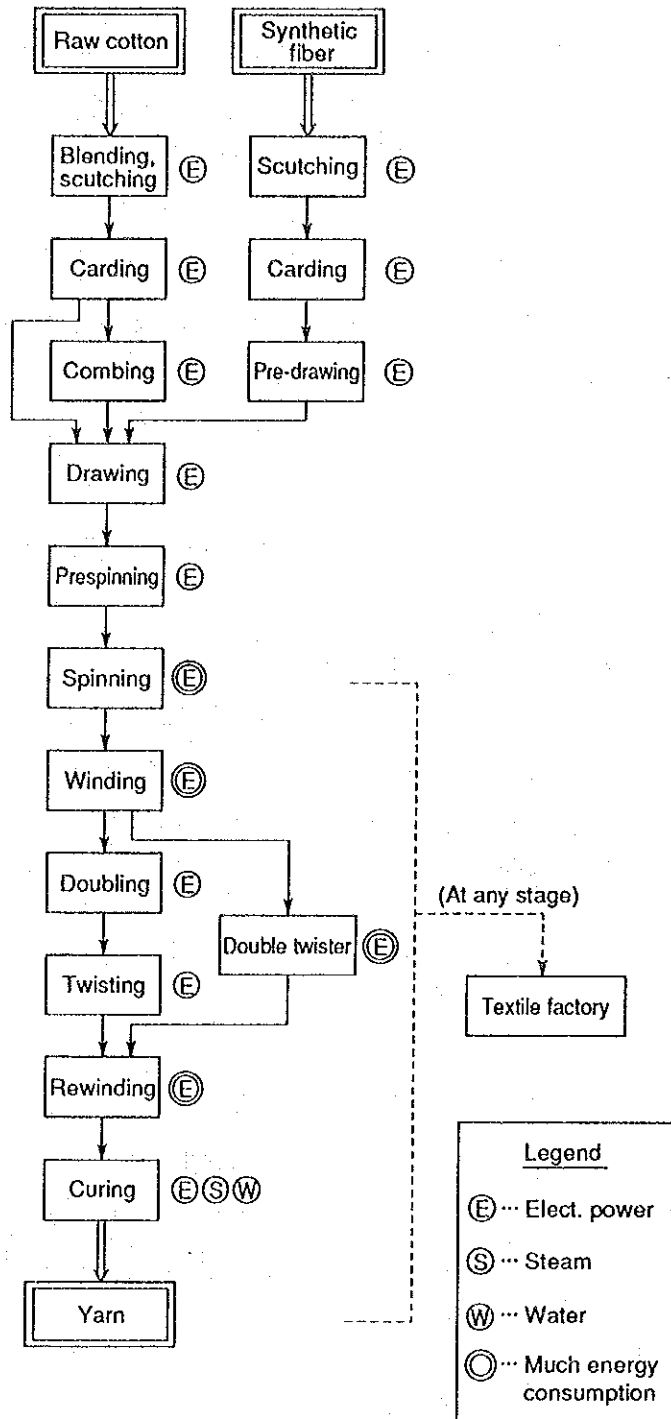


Figure 7.3 Process Flow Chart of Cotton Spinning



フィラメントのカサ高加工糸の加工方法の主流は、仮撚法である。これは、糸を定速で送り込みながら、仮撚スピンドルおよびヒータ部を通過させて、加熱—熱固定—解撚を連続工程で行い、加工糸を作る方法である。この加工糸は、ニット用、織物用に非常に広い用途がある。

7.2.2 綿方式紡績

a. 短繊維紡績

原綿および化学合成繊維から糸を作る標準的な短繊維紡績工程は、Figure7.3の各パートから構成される。この工程は、合成繊維との混紡のほか、レーヨン、アセテートなどの人造繊維単独および混紡についても同じである。

製造工程の特徴を以下に示す。

- 混打綿から粗紡までの前紡工程は繊維をときほぐし、繊維中の夾雑物を除去したのち、繊維の平行と均斉化により糸品質の改善向上を図る工程である。高品位糸ほどこの前紡工程での繰返し処理回数が多くなる。
- 精紡は、粗紡機から供給される粗糸を引伸ばし、これに適当な撚りを与えて所定の番手の糸としてボビンに巻き取る工程である。

紡績工場の生産規模は、精紡機のスピンドル（鍾）数で表される。紡績工場での生産用電力のほぼ50%は、この精紡工程で消費される。

精紡後のボビン単糸は、織布工場の生産設備に対応した形状に巻取り、成形されて織布工場へ持込まれる。一般には、巻返機によりチーズ形状に巻返されて出荷されるケースが多い。

- 捲糸工程は生産性の向上と省力化を図るため、高速自動ワインダーが多く導入されており、紡績設備の中ではもっとも近代化装備がなされている。しかし糸継ぎの自動化、糸くずの集塵、また清掃の自動化には空気動力が増加し、電力負荷が増大し紡績工程全体の20%を超えるケースもある。

b. 羊毛紡績

(1) 紡績方法による毛糸の分類

毛糸は紡績方法により梳（そ）毛糸と紡毛糸に分けられる。

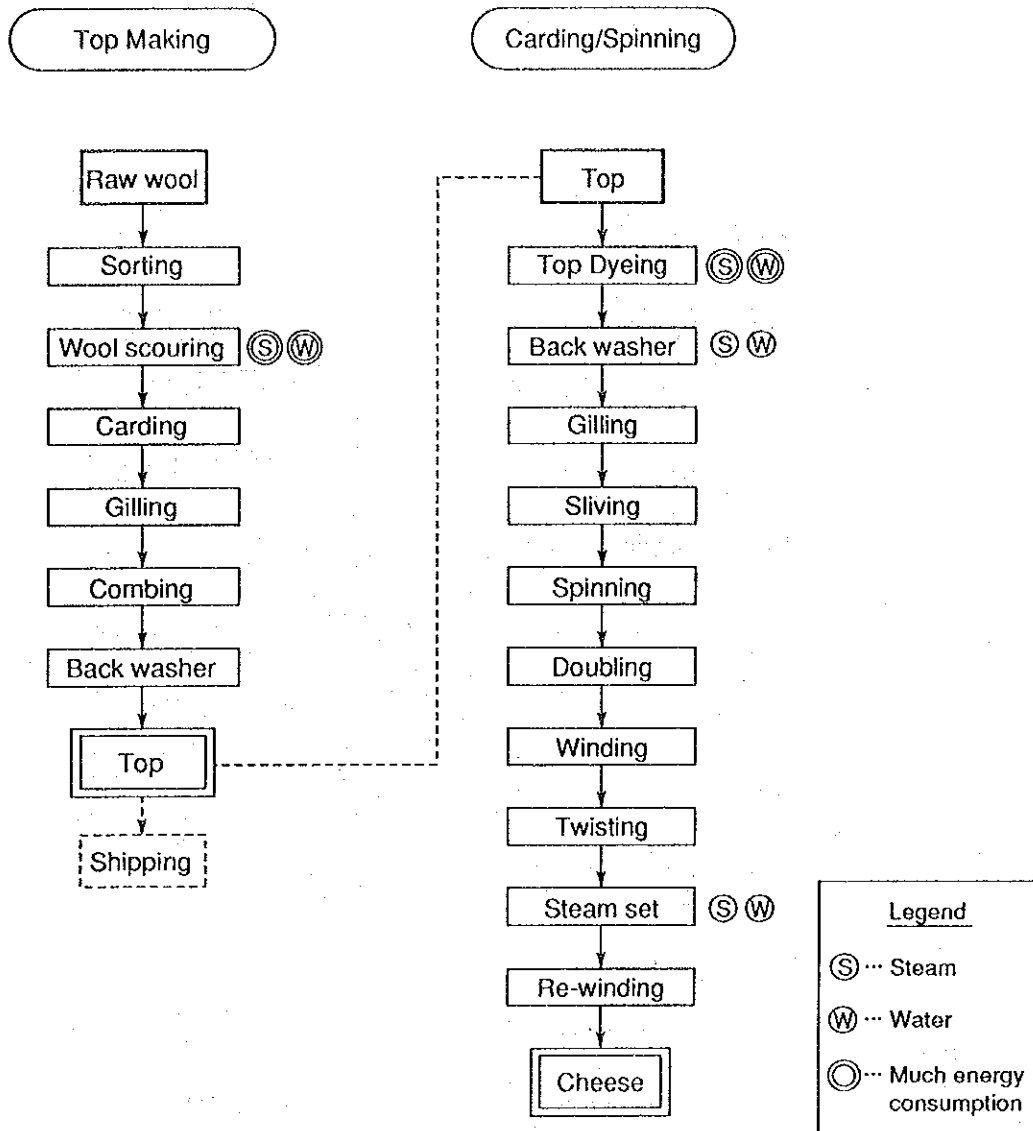
梳毛糸は羊糸を梳いて短小繊維をとり除いたうえ、長い繊維を平行に揃えて紡出する比較的表面の滑らかな毛糸であり、紡毛糸は逆に繊維を平行に揃えないで、互いにかからせて羊毛繊維固有の縮みを保ちつつ紡出した毛糸である。梳毛糸は比較的薄、中程度厚地の織物に、紡毛糸は厚地の織物に加工される。

(2) 紡績工程の特徴

梳毛紡績工程は中間製品までのトップメーカー工程を除けば綿紡績工程とほぼ同じである。またアクリルなどバルキー性の合成繊維も梳毛紡績に準じて加工される。原毛からの羊毛の標準的紡績工程を、Figure7.4に示す。

羊毛紡績工程のもう一つの特徴は原料段階で染色されることが多いという点である。

Figure 7.4 Process Flow Chart of Worsted Spinning



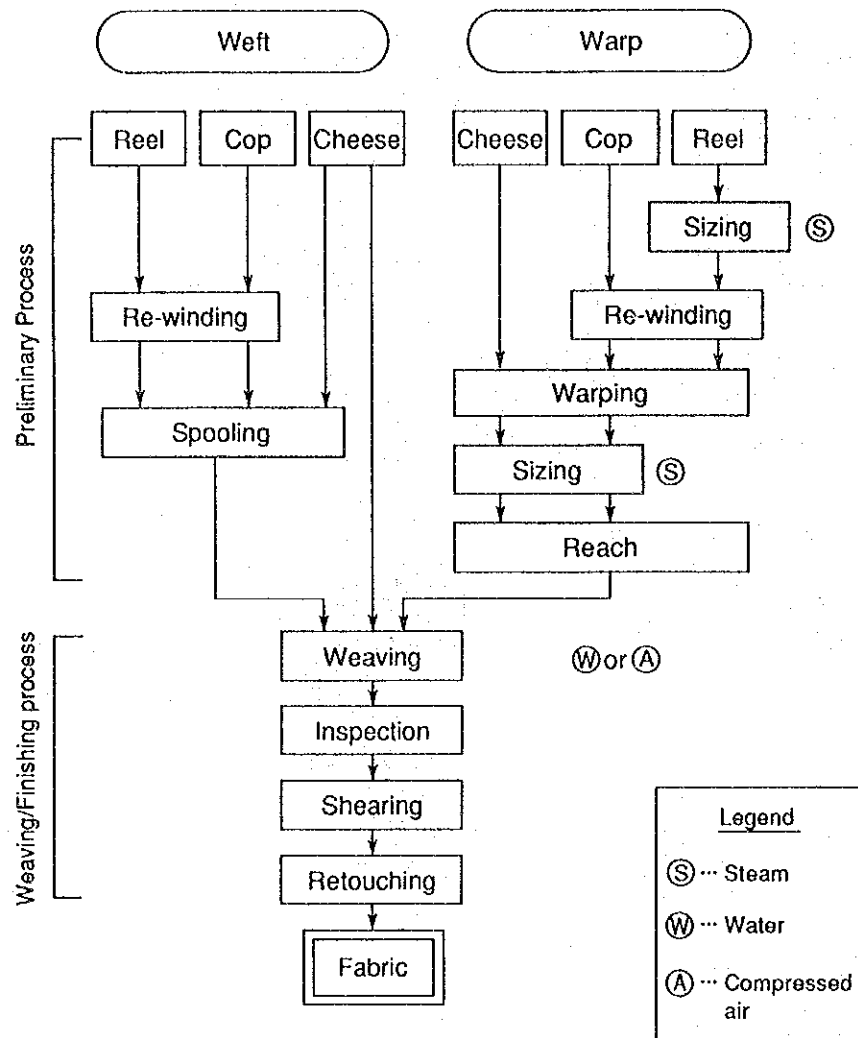
- ① 毛染：洗い上がりの原料状態で染色してから紡績するもので紡毛糸に多用される。
- ② トップ染：原毛から中間製品となったトップを浸漬（バッチ）染色してから紡績するもので一般にはこのケースが多い。

7.2.3 織 布

織布工程は準備と製織に大別される。

Figure7.5 に織布における標準的な工程を示す。

Figure 7.5 Weaving Process



a. 準備工程

- 巻返工程での生産性向上と省力化のために、巻返機の巻取速度の高速化と省力自動化が進められている。一方、高度の自動化は電力消費量を著しく増加させる要因ともなっている。
- 糊付工程は、製織性を向上させることを目的としている。付着した糊液は熱風または熱シリンダーで乾燥させたあと織機ビームに巻上げる。

b. 製織工程

織物は経糸と緯糸を互いに直角に交錯させて作られる。その機構は、交互に上下に2分した経糸群の間に緯糸を通して「おさ」で締める動作を基本としている。従来は、緯糸を通すのに杼（ひ）を打出す機構が用いられていたが、近年は「無杼織機」としてエアージェットルーム（主として短繊維系）およびウォーターージェットルーム（合織フィラメント系）が登場し、製織生産性が飛躍的に向上した。

これは、杼を打ち込む代わりに空気または水を噴射し、この流れに緯糸を乗せて送り込む方法であり、振動・騒音が少ない。

毛織物工程では、準備工程で糊付を不要とし、製織機の差があるものの基本的には前述と同じである。

7.2.4 染色加工

a. 概要

染色加工は、わた、トップ、糸などの原料もしくは紡績段階での染色と、織物段階の染色に大別される。

(1) 染色の基本操作

染色の基本操作は、Table 7.2に示す「洗浄」「付与」「脱水」「乾燥」「固着」の5つである。また染色加工には、このほかに毛焼き、糊抜、漂白、シルケット処理などの準備工程と仕上段階において防縮、しわ防止、防水などの特殊加工が行われる。

Table 7.2 Operations in Dyeing Process

Item	Operation
Cleaning	A fabric is cleaned using cold water or hot water to remove impurities, unfavorable content, and extra additives and auxiliaries.
Padding	Dye and auxiliaries are applied to ground fabric by dipping, padding, printing, coating and transferring.
Dehydration	Extra moisture content in ground fabric is removed by applying physical force, such as squeezing, vacuum and centrifugal force.
Drying	Moisture content and solvent in ground fabric is vaporized using cylinders, hot air and infrared rays to dry the ground fabric.
Setting	Dye and pigment are stuck to fibers using dry or wet heat.

b. 短繊維織物

Figure 7.6に、綿および化合織の短繊維織物の標準的な染色加工工程を示す。

(1) 準備工程

- ① 毛 焼：織物表面の毛羽を燃焼除去する工程。
- ② 糊 抜：経糸の糊剤を分解除去する工程。
- ③ 精 練：天然繊維に多量に含まれる脂肪質、ペクチン質、色素などをアルカリ剤と界面活性剤によって除去する工程。
- ④ 漂 白：繊維に含まれる色素を、酸化により分解除去する工程。漂白剤には、過酸化水素または亜塩素酸ソーダが広く用いられる。
- ⑤ シルケット：生地に光沢を与えるために、苛性ソーダ濃厚溶液に綿織物を緊張状態で浸漬する工程。処理後の高濃度アルカリ排液のリサイクルも行われている。
- ⑥ ヒートセット：ポリエステルと綿混織物を熱処理することにより、製品の形態安定性、染色性を向上させる工程。

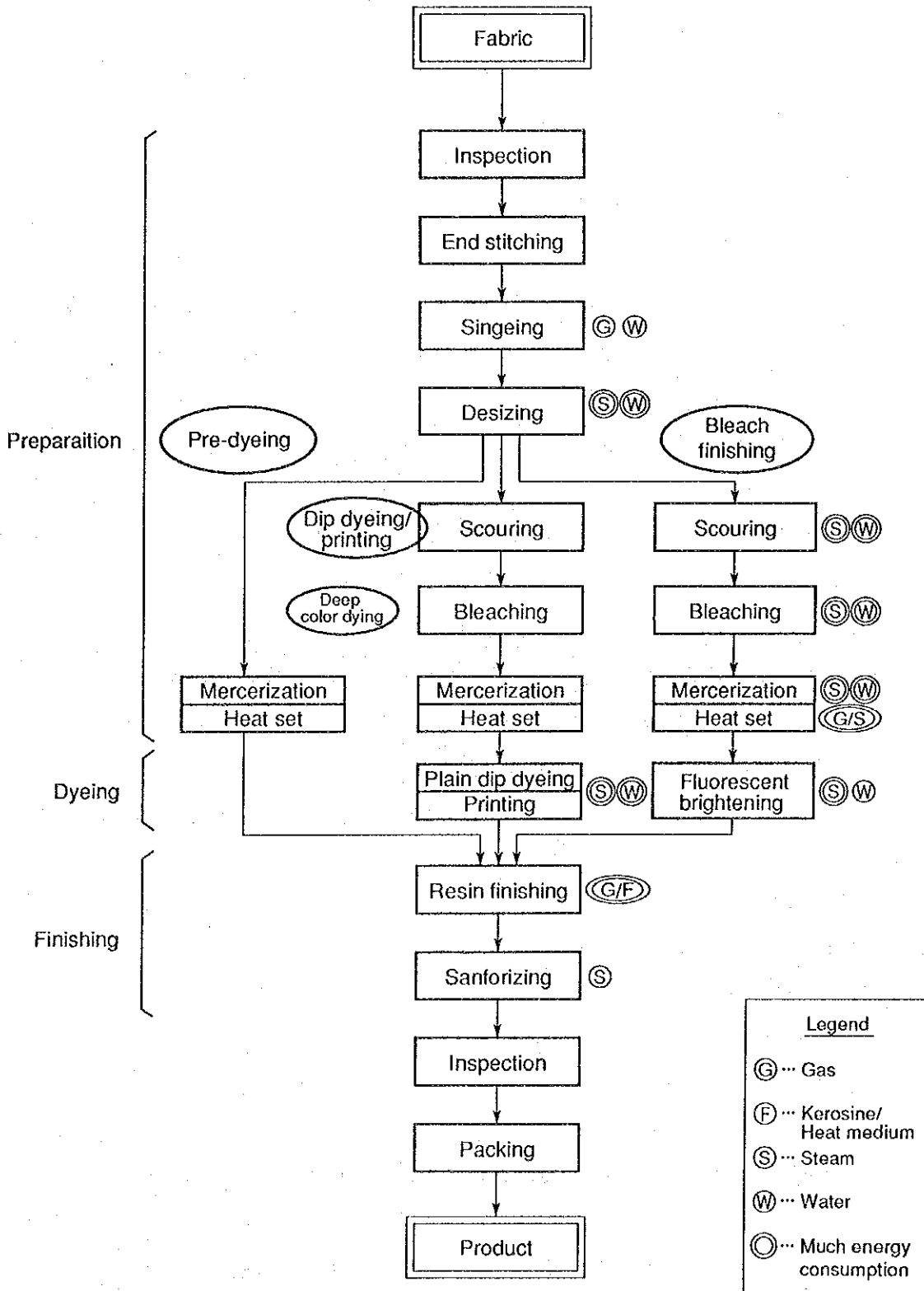
(2) 染色工程

浸染（無地染）と捺染に大別される。

〈浸 染〉

濃度のうすい染料溶液中に織物を浸して、ほぼ完全に固着させる方法。

Figure 7.6 Dyeing and Finishing Process (Short-Fiber Textiles)



代表的工程は、下記の通り。

- ① パッディング：浸染と絞りにより染液を付与する工程。染料付与後の乾燥処理は、染着ムラを起こさないようシビアな乾燥条件が要求される。
- ② 発色・固着：パッディングのあと染料を固着発色させる工程。スチーミングセット、熱風による染料固着がとられる。

〈捺染〉

染料、顔料および助剤などを糊料に混合して布の表面に圧着させる方法。ここでは機械捺染の代表的工程について述べる。

- ① 印捺：ローラー捺染、自動スクリーン捺染と、これら二つの機能を組合せたロータリースクリーン捺染の方法がある。この組合せ法は、捺染効果がシャープでかつ高効率である。
- ② 発色・固着：印捺された生地を、スチーム加熱処理する工程。装置には、スチーマやエージャーが使われる。
- ③ 後処理：発色固着された生地を、風合等の向上のため、充分な洗浄を行ったのち、脱水・乾燥する。

(3) 仕上加工

用途目的に応じた加工で柔軟、撥水性、防水性などを繊維に付与する工程である。

その他、サンフォライズ加工（収縮防止加工）、起毛加工（毛羽だて）、カレンダー加工（つやだし）などがある。

連続式主要設備の構造概要を、Figure7.7に、またバッチ式主要加工設備の構造概要をFigure7.8に示す。

c. 合織長繊維織物

Figure7.9ポリエステル繊維加工糸織物の標準的な工程を示す。

以下では、長繊維織物特有の機能について記述する。

(1) 準備工程

- ① シボ立て：織物加工時の歪を膨潤と揉布作用により、カサ高性を得る工程。
この設備をリラックスという。
- ② 精練：生地に付与されている油脂、糊材その他の不純物を、除去する工程。
- ③ 乾燥
- ④ ヒートセット：合成繊維の繊維くずの除去と、形態安定化のため熱処理で、熱媒、灯油による間接加熱方式とガスによる直火式がある。最近では、熱効率とメンテナンス面からガス直火式が多い。

(2) 染色工程

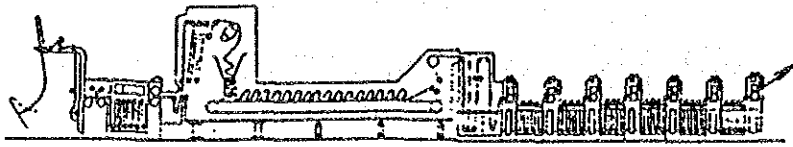
高圧染色と常圧染色がある。高圧染色は、高温高圧の熱エネルギーにより、染料と繊維の分子活動を活性化させ、繊維組織内への染料の浸透をはかる方式である。

捺染工程、仕上工程は、短繊維織物の項を参照されたい。

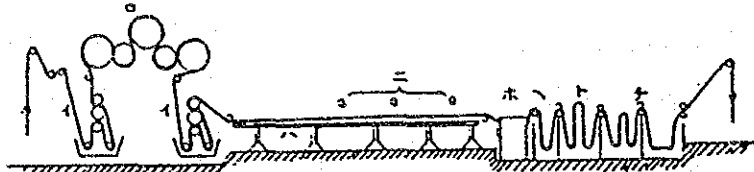
d. 毛織物整理

毛織物は特に風合が商品価値を決めることになる。また毛織物は、他の繊維と異なりフェルト性ゆえにバッチ方式が主流である。あらゆる織物のうち、もっとも複雑な仕上加工がとられる。梳毛織物の一般的な整理加工の工程を Figure 7.10 に示し、他の繊維染色加工との差について述べる。

Figure 7.7 Continuous Dyeing Machine

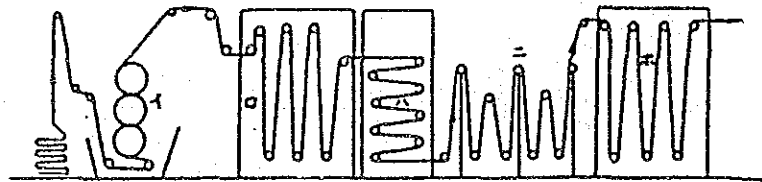


Conveyor Steamer Type Continuous Bleacher



- 1. Caustic soda dipping device
- 2. Steel cylinder
- 3. Hot water washing
- 4. 1st washing tank
- 5. Tendering
- 6. Shower washing
- 7. Neutralizing tank
- 8. 2nd washing tank

Mercerization Unit Process Chart

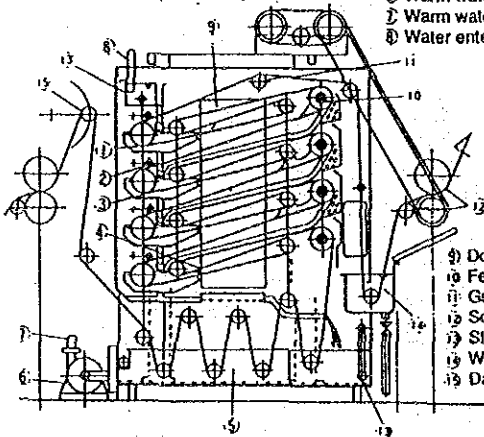


- 1. High pressure mangle
- 2. Washer
- 3. Dryer
- 4. High heat treatment device
- 5. Dryer

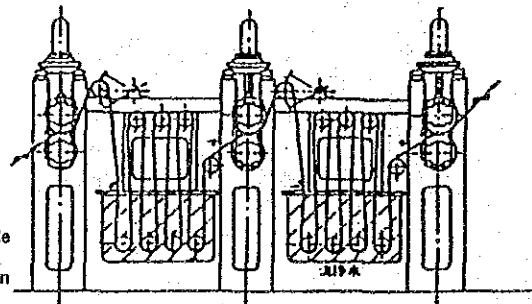
Sketch of Resin Treatment Equipment

- 1. Water bag (small bag)
- 2. Pinch bar
- 3. Touch bar
- 4. Water drain bar (removable)

- 5. Small basin
- 6. Warm water counter flow pump
- 7. Warm water supply pipe
- 8. Water enters the front washer



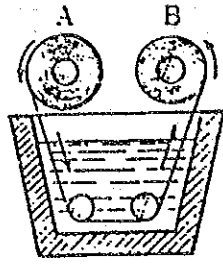
Counter Current Type Water Saving Washer



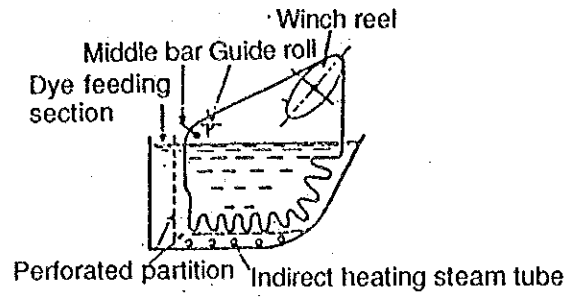
Conventional Washer

- 9. Door
- 10. Feed roll
- 11. Guide roll
- 12. Squeeze mangle
- 13. Steam heater
- 14. Water seal basin
- 15. Dancer roll

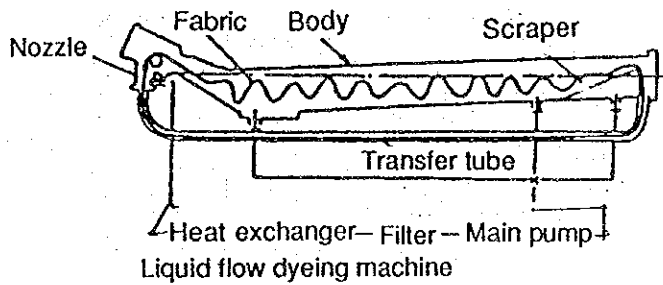
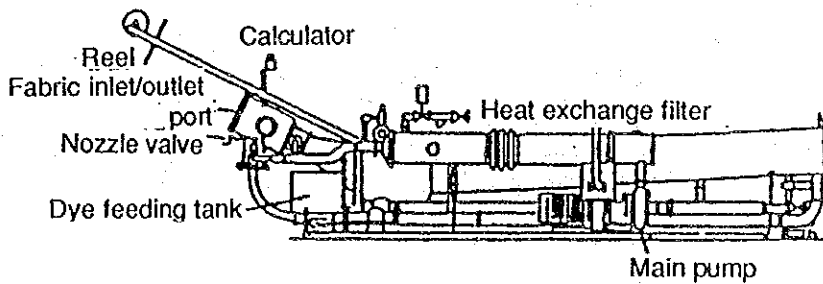
Figure 7.8 Batch Type Dyeing Machine



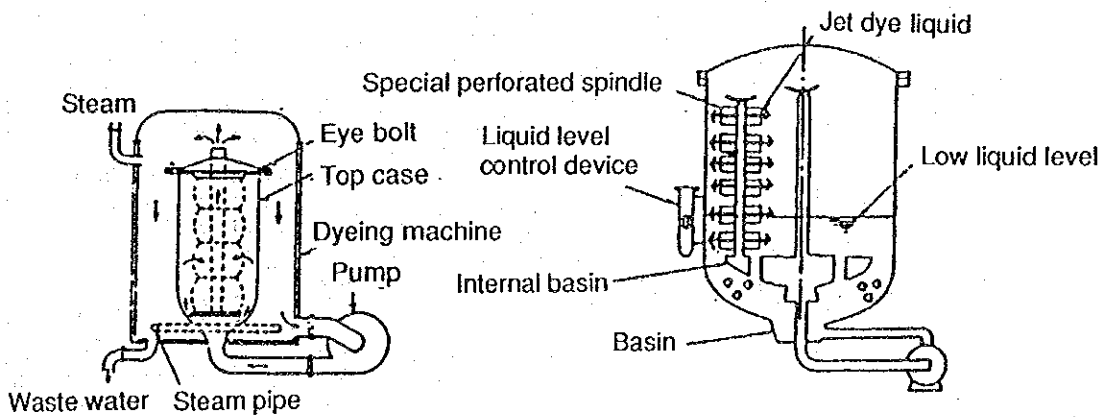
Jigger Dyeing Machine



Wince Dyeing Machine



Liquid flow dyeing machine



Woolen Top Dyeing Machine

Jet Type Yarn Dyeing Machine

Figure 7.9 Dyeing Process for Long-fiber Fabric (Example of Polyester)

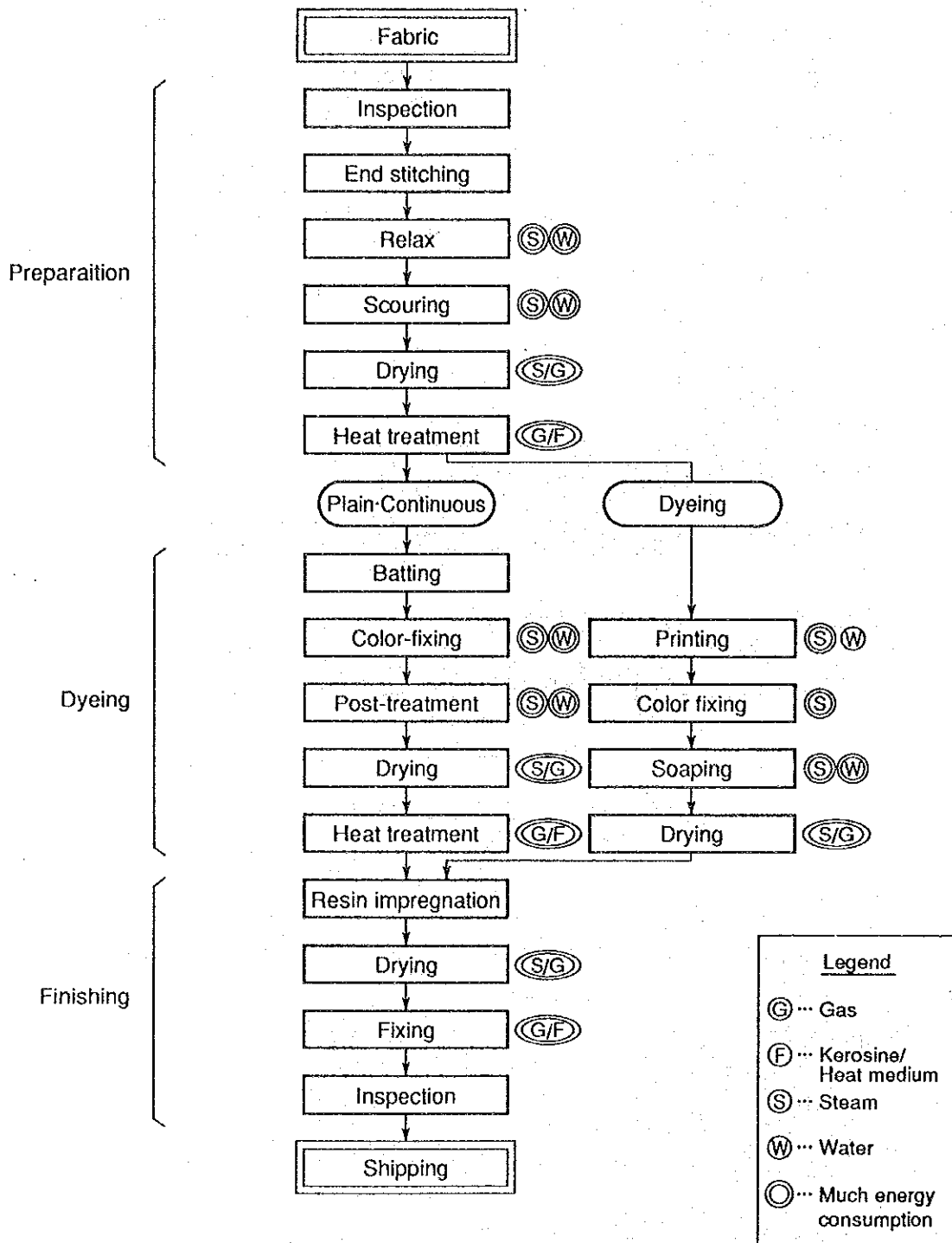
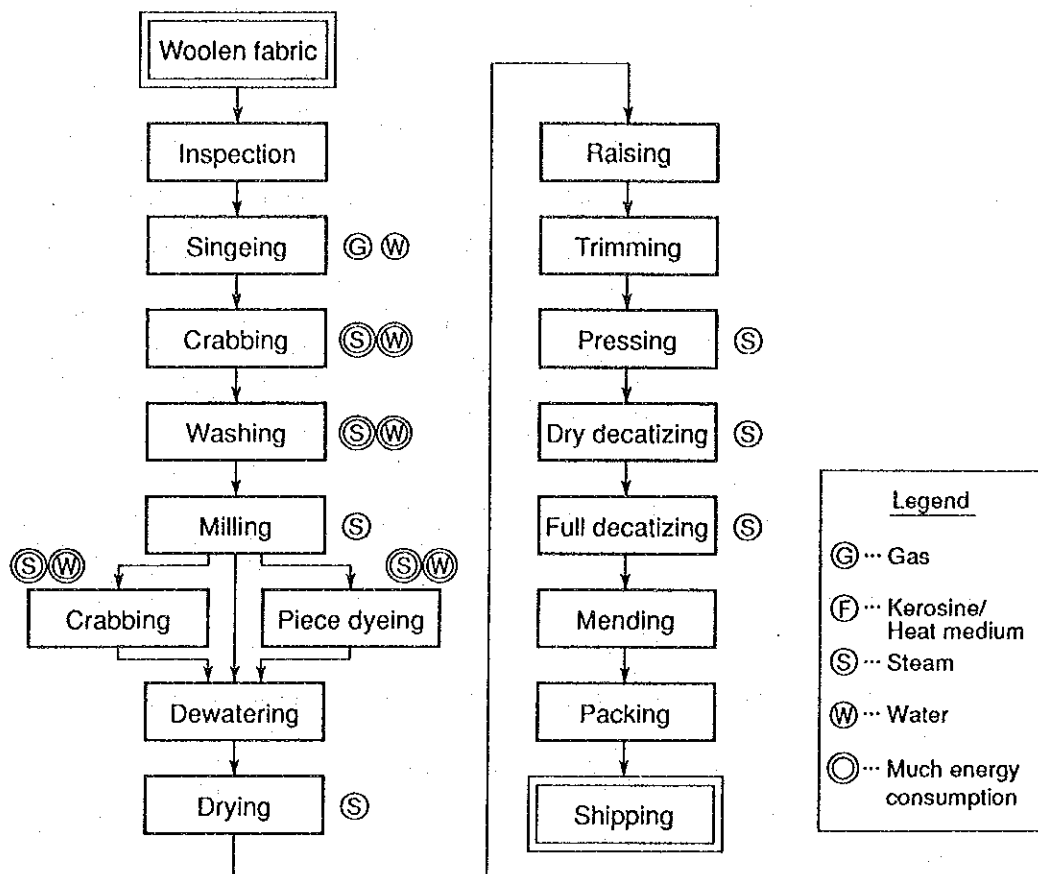


Figure 7.10 Worsted Finishing Process



(1) 準備工程

① 煮絨：ひずみ防止と、織物特有の風合をつくる工程。

ロール状の織物をボイリング状態にて煮沸したあと、冷水に置換急冷する。

② 宿絨：選択的な工程であるが、紡毛織物で風合いを出すために重要な工程である。

一般には、ロール状回転式縮絨機が多く採用されている。

(2) 染色工程（反染）

常圧染色（ウインス染色機）が一般的である。また高圧液流染色も用いられる。

(3) 仕上整理工程

毛織物の処理過程でムリなひずみを〈蒸絨〉によって安定化させ、製品後の自然収縮を防止する。また光沢を増すための〈圧絨〉などがある。

なお毛織物整理工程では、温水が多量に使用される。

7.2 エネルギー使用の合理化

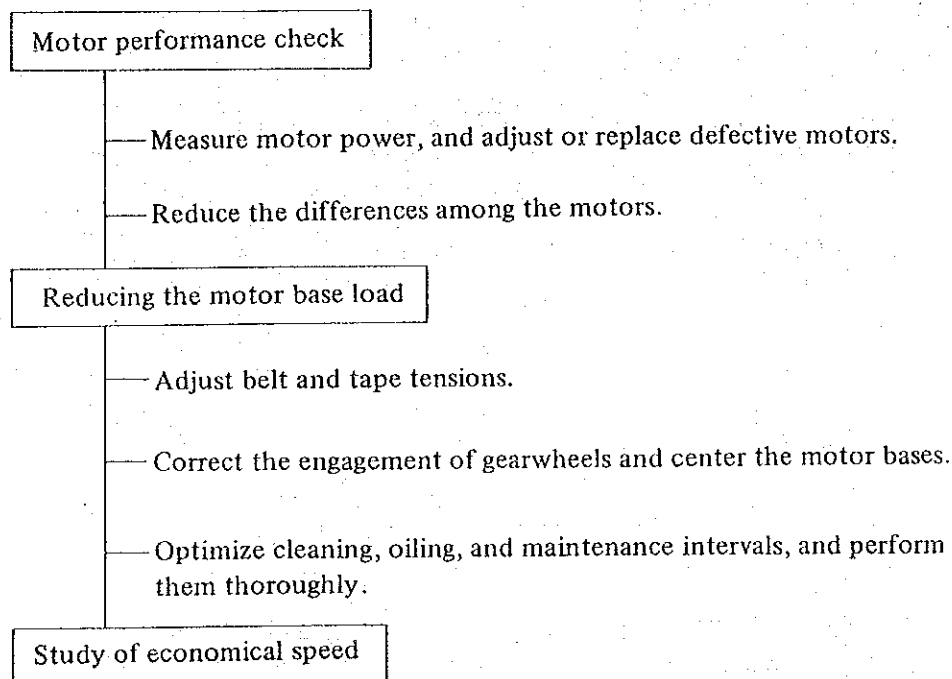
7.2.1 紡績（梳毛紡績を含む）

(1) 基本対策

品質管理でも、省力対策でも、また省エネルギー対策でも、これらを工場に導入、実施する前には先ず工場全体が管理状態であるかどうかを見直すべきである。工場全体が十分な管理状態でなければ、幾ら新しい対策を導入しても十分な効果をあげることとはできないばかりか、一段と煩雑となり、中途半端に終わってしまう場合が多い。

そこでいろいろな省エネルギー対策を試みる前に、まずチェックすべき点を挙げてみると Figure 7.11 の通りである。

Figure 7.11 Check Points in First Step



- ① モーターの性能点検：各台のモーターの動力を測定し、異常の有無を点検し、異常があるもののうち調整できるものは調整し、調整できないものは取替え、機台間のバラツキをできるだけ小さくするように留意すべきである。モーターを取替る場合は、高効率モーターについても十分検討すべきであろう。
- ② 機台負荷の減少：適正な保全により、機台の心出し調整を確実にすると共に、各部の駆動手段であるベルト或はテープの適正なテンションの調整、歯車の噛合いの適正化を図るべきである。また、定掃、注油、保全周期の適正化、徹底化を図り、機台を管理状態に維持するよう心掛けるべきである。一方、駆動部分をベアリング

化し、回転の円滑を図ることも重要である。

③ 経済速度の検討

生産機械を高速化するとエネルギー消費量は指数的に増加する。生産量に対応して最経済となる運転台数、回転数を見出し、作業標準として定めておくことよい。

(2) 各工程別の省エネルギー実施の考え方

(1) Blowing

Blowing の工程は各目的別の多くの機械を連結して構成されているが、夫々に集塵のための fan を使用し、また原料Fiber の輸送に空気を用いることが多い。この送風機系統の消費電力を測定するとともに、ダンパで絞っている時は各系統の吐出圧力、風量を抑制するため送風機の回転数を下げる。

作業上のトラブルを防止するには、送風機回転数を10%程度下げて操業状態を判定した後、更に5%と云った風に段階的に下げて行くことよい。

(2) Carding

Carding Machine は対象となる台数が非常に多い。また他の生産機械と比較して回転体の重量が大きい。

旧型機種は軸受部のベアリング化により消費電力の軽減が計れる。新型機種には単独の集塵装置が付属され、集塵の自動化による省力、品質の向上、作業環境の改善に寄与しているが、集塵用送風機にはかなりの余裕があり、また一般的に送風機効率が低い。

個別の集塵装置をグループ化又は集中化すれば省エネルギーがはかれる。

(3) Drawing & Roving

Drawing Machine 及び Roving Machine の新型機種は大型の Pneumatic Dust Collector を装備しており、その羽根車の外径を小さくする (Impeller Cut) ことなどが一般的な省エネルギーの対策として考えられる。

またRoving Machineの機械構成は後述のRing Frameに似ており、機械本体の省エネルギー対策はこれに準じて考えれば良い。

(4) Ring Frameにおける省エネルギー対策

① Draft partにおける軸受のベアリング化

従来のRoller Weight からTop Arm 化に伴い、軸受部をベアリング化して消費電力の軽減を計っている。

② Spindle partの改造

Spindle Tapeの幅を狭くするとともに材質を弾性のあるものへ交換し、空気との摩擦損失を減少させ、弾性化によりスリップを防止する。

またSpindle 支持部の潤滑油の注入量を減少させるなど日常管理を強化する。

Spindle wheel を小径サイズ化する傾向にあるが、改造経費が高むので高速回転化と併せて検討すべきである。

- ③ Ring Frameに附属するPneumatic は生産性向上とともに容量が大型化してきたが、Ring frame の経済運転速度の見直しやダクトつまりに対する日常管理強化により、このPneumatic のBlower容量を小さくする傾向にある。

既設のBlowerについては、羽根車の外径を削ることによって省エネルギーのメリットが出る。Carding で述べた集中方式も採用されている。

- ④ Ring Frame のFly 除去用Traveling Cleaner 運転の間欠化または受持範囲の拡大も考えられる。

- ⑤ Main Motorの老朽更新時には高効率タイプのモーターを採用する。

(5) Winder

Winderの近代化は他のどの工程よりも早くから実施され、高性能機が多く導入されている。

然しこれらの高性能WinderはYarn Collector用のBlowerの消費電力が著しく高い。

省エネルギー対策としてWinderのYarn CollectorのSuction ラインを5～10台のグループとして集中吸引するシステムが多く採用されている。

この場合選定するBlowerの仕様決定が省エネルギーの成果を支配することになる。

(6) 空気調和（電気編参照）

A) 空調負荷の見直し

空気調和用の電力としては直接生産用電力の約30%が消費される。

紡糸工程の空調条件は糸の品質にならび生産性に影響があり、各工場毎にそれぞれの条件設定をしているが、技術進歩に伴って随時見直す必要がある。

Table7.3に温湿度標準の1例を示す。

Table 7.3 Standard Humidity by Fiber Materials and Processes

Process	Cotton	Worsted	Synthetic Fiber
Blending and scutching	40 ~ 60 %	— %	— %
Carding	45 ~ 55	65 ~ 70	
Combing and Gilling	55 ~ 65	60 ~ 70	55 ~ 65
Drawing	50 ~ 65	50 ~ 60	
Prespinning	50 ~ 60	50 ~ 60	
Spinning	50 ~ 65	50 ~ 55	60 ~ 65
Winding	60 ~ 70		60 ~ 70
Twisting	60 ~ 70	50 ~ 60	
Warping and Reaching	60 ~ 70		
Weaving	70 ~ 85	50 ~ 60	

Note 1: Temperature: 24 - 29°C

2: The conditions of the carding process is as per the Bradford system.

[Source: Text. World]

日本の某工場では、温度、湿度を段階的に変化させ、その都度糸条の品質、作業環境をチェックして問題を生じない限界を求めた。その結果、年間通じて一定の条件に設定していたものを、シーズン別の新たな条件に変更し、冷凍負荷14%、加湿加熱スチーム16%を節減している。

建屋の断熱、発熱機器の断熱を強化し、負荷の低減を計ることも負荷の低減につながる。また、中間期の外気の効果的利用は冷熱源負荷の軽減となる。

B) スプレノズルの変更

冷水スプレにより直接空気の冷却を行う場合、スプレノズルを大型化し、個数を減らすことによって元圧を低下させることができる。これによってポンプ動力が減り、場合によってはポンプ台数も少なくすることができる。

日本の某工場の例では、4mm径のノズル15,400個を用いていたものを44mm径のノズル 212個に取り替えることにより、スプレ圧力が3 kg/cm³から2 kg/cm³に下り、年間約47万kWh の電力を節減している。

紡績、織布工場のキャリア装置と呼ばれる空調システムは、冷水（L）を空気（G）に直接噴霧し、冷却減温された空気をサプライエアーとして室内へ搬送する。このLとGの重量比を経験的に1：1として運転管理しているケースが多い。この場合、スプレイ水ノズルの適正維持管理によりL/G=0.7程度まで絞れる可能性

があり、また、中間季、冬季の外気利用シーズンは $L/G=0.3$ まで更に絞り込める可能性がある。

C) 高効率冷凍機の導入

老朽化した冷凍機では、設計時の性能が得られなくなっている。

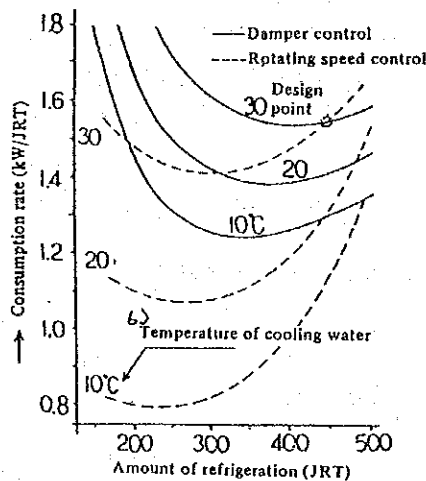
日本の某工場の例では、設計原単位 1.28 kW/JRT (注: $1\text{JRT}=79,690 \text{ Kcal/d}$)の冷凍機が劣化し、原単位 1.41 kW/JRT になったので、原単位 0.91 Kw/JRT の高効率冷凍機に交換し 750 kW の節減をしている。

D) 冷凍機の回転数制御

ターボ圧縮機を用いている工場で、負荷の変動が多いときは台数制御又は回転数制御を行うのが効果的である。電力低減の例をFigure7.12に示す。

Table 7.4 に各工程毎の省エネルギー対策例を示す。組織的な省エネルギー活動を日常管理に組みこむことによって、かなりの成果が期待できる。

Figure 7.12 Characteristic Comparison of Capacity Adjustment



E) 搬送電力の節減

ファンポンプの回転数制御、プーリー径の変更インペラ小径化、小型高効率ファンポンプへの変更などが行われている。

Table 7.4 (1) Example of Energy Conservation Measures for Individual Processes

Process	Measure	Description (Example)	Remarks
Scutching	1. Optimizing condenser fan speed	• 1,200rpm → 1,000rpm	• Be careful of blow of fibers to cage surface and duct blocking.
	2. Reducing operating speed of dust collector fan.	• Down about 10%	• About 10% seems to be the limit, considering the effects on dust collection, etc.
	3. Stopping scutching fans	• Fans that can be substituted by duct collector fans are stopped.	• This means cannot be taken if indoor environment changes due to fan stoppage. • This measure may be taken if other fans have extra capacity to compensate for suction fan stoppage.
	4. Total stoppage of scutching machines	• Scutching machines are totally stopped only in emergencies. Instead of this conventional practice, stop all scutching machines in ordinary cases where their stoppage is necessary.	• Reduce the number of processes if possible.
Carding	5. Reducing operating speed of cylinder	• Use driving pulley of smaller diameter.	• Consider effects on quality.
	2. Use of ball bearing in place of doffer metal	• Use ball bearings in place of plain bearings	• Effective for not only power saving but also oil saving and labor saving
	3. Intermittent operation of cotton and dust collectors	• Change constant suction of flat strips to intermittent suction.	• Power can be saved by stopping constant suction equipment. • Power can be saved by reduced carrier air rate incidental to reduced volume of return.
	4. Intermittent operation of blow cleaners	• Operate suction blow cleaners intermittently.	
	5. Reducing operating speed of main blower for dust collector	• Stop dust suction at taker-in.	• Indoor cleanliness remains hardly changed.
Combing	1. Stopping creels of predrawing machine	• Stopping creel rollers	• Power saving effect is not so much, but creels no longer need maintenance.
	2. Reducing operating speed of pneumatic fan for lap former	• 2,240rpm → 1,640rpm	• Static pneumatic pressure above a certain level is unnecessary depending on the cleanliness of roller parts.
	3. Reducing pressure of compressor for auto lap changer	• Auto lap changer's pressure is 6.5 kg/cm ² . Compressor (primary) pressure is reduced from 9 kg/cm ² to 7 kg/cm ² .	• Reduce required air volume by enforcing proper maintenance of auto lap changer (preventing air leaks; centering various parts).

Table 7.4 (2) Example of Energy Conservation Measures for Individual Processes

Process	Measure	Description (Example)	Remarks
	4. Reducing operating speed of comber cylinder brush	• 1,240rpm → 780rpm	• Cylinder needles are hardly blocked in uni-combing. Brush operating speed (rpm) should be about 5 times that of cylinder.
	5. Interlocking operation of comber fans	• Interlock machine motors and fan motors so that fans stop when machines are stopped.	• Interlocked operation will not cause sliver trouble at start/stop of machines.
	6. Reducing operating speed of comber suction fan	• 1,970rpm → 1,600rpm • 40mmAq → 32mmAq	• Because of sliver joining, static pressure of 25 to 30 mm. Aq. is sufficient for perforated roller. Determine operating speed of suction fan depending on cleanliness of draw part.
	7. Reducing operating speed of comber exhaust fan	• Down 20% to 40%	• Underground duct suction has excess capacity because of dust collection and recovery equipment. • Spinning is hardly affected even though individual machines air flow rate is reduced.
Roving	1. Driving upper and lower Ermen's clearers with back roller	• Upper and lower Ermen's clearers are driven with chain from back roller.	• No problem arises from driving clearers with back roller.
	2. Interlocking pneumatic motors with machine motors	• Interlock pneumatic motors with machine motors so that pneumatic motors stop when machine motors are stopped.	• It is not necessary to keep pneumatic motors operating at all times.
Spinning	1. Using bearings for draft rollers	• Use bearings for bottom and top rollers.	• Consider this measure for not only saving power but also quality and maintenance.
	2. Changing spindle tape	• Replace with elastic spindle tape.	• Tape slip will decrease by half, and variation rate will also sharply improve to make thread quality more constant. Power saving effect is great.
	3. Using narrowing spindle tape	• Elastic tape: 13mm → 11mm	• Take slip ratio into consideration.
	4. Reducing spindle tape tension	• 1.9 → 1.5lb/4sp	• Take slip ratio into consideration.
	5. Using spindle wrap of smaller diameter	• 23.8 → 20.2mm	• Take this measure when spindle insert is renewed.
	6. Using tin pulley of lighter weight	• Tin roller → Lightweight tin pulley or bakelite tin pulley	• Take this measure when old tin roller must be replaced.
	7. Pneumatic impeller cut	• Cut impeller for pneumatic fan.	• After cutting impeller to smaller diameter, adjust balance. Otherwise, vibration occurs.

Table 7.4 (3) Example of Energy Conservation Measures for Individual Processes

Process	Measure	Description (Example)	Remarks
	8. Interlocking pneumatic with main body		• Effective also for reducing thread breakage at start.
	9. Intermittent operation of overhead cleaner	• Operate at half-hour interval instead of continuous operation.	
	10. Changing drive belt	• V-belt → Cog belt	
	11. Removing Auto doffer clip		
	12. Changing Open End rotor drive belt		
	13. Improving power factor	• Use low-voltage condenser.	
	14. Using high-efficiency motors	• Replace existing motors with high-efficiency motor for energy conservation.	
Winding	1. Changing drive belt	• V-belt → Plain belt (elastic spindle tape)	
	2. Reducing area of blower opening	• Reduce blower suction port to lower static pressure.	• Pulley down not possible because motors and fans are directly connected.
	3. Integrating blowers	• Auto corner: Integrate 6 blowers. • Couple to Automatic Cop feeder blower motors. • Use centralized exhaust system, and newly employ motors specially designed for low-pressure fans. • Individual blowers → Large blower.	• If exhaust air from each blower flows into room, room temperature rises. This measure is taken to prevent it.
Air conditioning	1. Reducing operating speed of air conditioning fans		• Drill shaft hole in motor pulleys on hand.
	2. Reducing operating speed of prespinning carrier fan	• 2,590 → 1,735m ² /min	
	3. Reducing operating speed of spinning carrier fan	• 360 → 325mmø	• Use pulleys on hand.
	4. Reducing size of finish spray blower		

(3) 紡績工程における省エネルギー対策のケーススタディ

前提条件

各工程における生産条件を一定として、各工程毎の省エネルギー効果を試算した。

各工程毎に実施した省エネルギー対策と、その省エネルギー効果を Figure 7.13 に示す。

Figure 7.13 Example of Energy Conservation Measures under Constant Process Conditions
(Power consumption for direct production: 520 kWh/400 lbs)

Category	Measure	Energy Saving (kWh/400 lbs)	Percentage
Prespinning	Replacing bale opener and hopper bale breaker	1.78	4.05 kWh/400 lbs (0.8%)
	Reducing operating speed of dust collector fans	0.86	
	Interlocking combler fans	1.41	
Spinning	Using smaller-diameter spindle wharve	13.28	82.60 kWh/400 lbs (15.9%)
	Using elastic tape	13.28	
	Tin pulley (bakelite)	9.83	
	Cutting pneumafil impeller	3.47	
	Intermittent operation of overhead cleaners or arranging them in series	10.35	
	Using high-efficiency motors	10.09	
Winding	Integrating blowers	18.25	3.5%

このケーススタディから判断出来ることは、省エネルギー実施効果の大きいのは、捲糸と精紡織である。Figure 7.14 に各工程毎の1梱当り (400 lbs) の電力使用量を Figure 7.15 に各工程所要電力のパレート図を示す。

Figure 7.14 Required Power per Bale

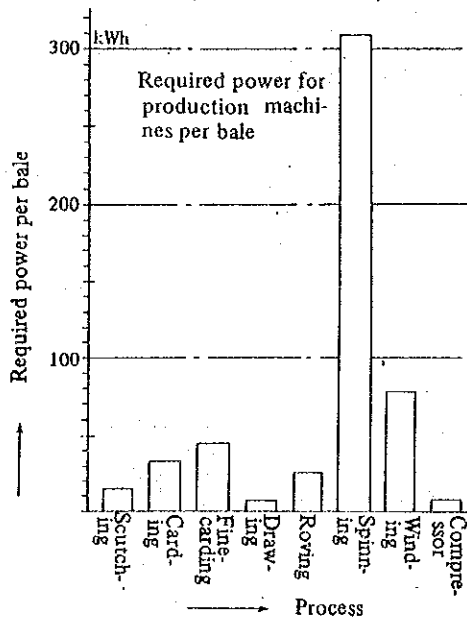
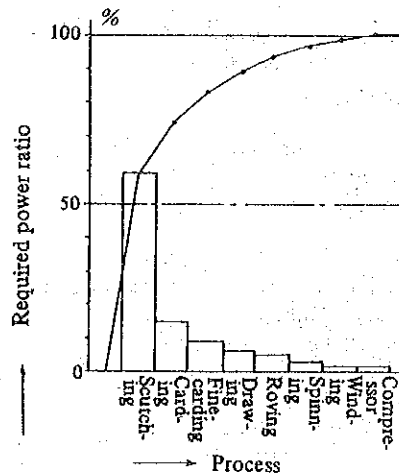


Figure 7.15 Pareto's Diagram of Required Power (%)



(4) 今後の省エネルギーに対する課題

紡績工程における省エネルギー対策の検討課題として次のものがある。

- ① 工程設計条件（回転数など）の見直し
- ② 各パッケージ・サイズおよび単量の見直し
- ③ 平ベルトの材質の検討とVベルトのコグ・ベルト化
- ④ 省エネルギー型ゴム・ローラーの研究
- ⑤ スクェア・メタルのボール・ベアリング化
- ⑥ 各軸部の無注油化
- ⑦ 空錘管理の徹底（コンピューターの利用）
- ⑧ 操業効率向上による操業時間の短縮
- ⑨ ニューマー・ファンのインペラー径の縮小
- ⑩ エヤー・コンプレッサーの集中化
- ⑪ 機上ファンの集中化
- ⑫ 掃除用圧縮空気の運用変更
- ⑬ 集塵集綿装置の間欠運転時間の短縮
- ⑭ 紡績機の排気熱の回収、利用など
- ⑮ 高効率紡績機の導入（捲糸、撚糸機）

7.2.2 織布（毛織物を含む）

(1) 省エネルギー対策実施の事前作業

織布工程における生産機械は紡績工程に比較すると1台当たりのモーター容量が小さく、かつ設備台数が多い。従って効率的な省エネルギー対策が実施しにくいのが特徴である。

紡績工程と同様、基本対策を徹底させることが必要である。

(2) 各工程別の省エネルギー対策

A) 準備工程

準備工程は、巻返し、緯糸巻、整経、糊付機、経通しで以て構成される。

供用されるユーティリティ種別は電力、電気、水、圧縮空気がある。

(a) 電気エネルギーの使用対象は各生産機械の駆動動力以外に

- i 集塵・集綿用ダストコレクターの吸引ブロー
- ii 糸屑・風綿除去用の圧縮空気

がある。

・集塵用ブロワーの消費電力はブロワー回転数の3乗に比例するので、吸引開口面積の縮小およびフィルタ詰まりの掃除周期の見直しなどの対策により所要風量を減らし、ブロワー回転数を10%低減できれば、23%の電力削減となる。

・掃除用圧縮空気圧力の低減

空気圧縮機の吐出圧力を低減させれば電力節減がはかれる。

7 kg/cm² Gの空気圧力を5 kg/cm² Gまで低下させると電力は約14%節減出来る。

掃除用ノズルは自家製のものが多いが、ガンタイプにし、レバーで開閉するようになれば、節減効果が大きい。

(b) 糊付機

A 保温強化

タンク：ヘッダ、配管の保温を完全にする。

B フード取り付け

シリンダまわりの温度を保持すると共に、蒸発水分を速やかに排除するのに役立つ。

C 高圧絞り

糊付け後の絞り圧を350kgから1,500 kgに高めることによって、蒸発すべき水分量が33%減少した例がある。

D 糊材変更

糊の種類を変更することによって低温で炊き上げ、糊付けも低温でできる。調合温度を130℃から80℃に低下させることにより、13%のスチーム節減を図った例がある。

E 糊付け本数増

糊付け本数を増加させると、速度は遅くなるが全体として省エネルギーが図れる。

F シリンダの伝熱改善

シリンダ内のコンデンセートの排除が円滑に進むようサイフォンの調整、トラップの配置を行う。

G コンデンセート回収

ボイラスチーム編参照

H 熱風乾燥機の排気管理

熱風乾燥機はシリンダー乾燥機に比較すると熱効率が低い。従って過乾燥にならないよう排気量や、乾燥温度の管理を行う。

B) 織布

(a) Loomとよばれる杼打込み式織機が殆どであり、設置台数が非常に多い。

消費される電気エネルギーは織機の回転・往復動など他の生産機械と異なる使用方法をしている。

織布の省エネルギー対策の基本は適正なメンテナンスにある。

(b) 省エネルギー対策の実施項目

- ① 糸屑吸引用ブロワーの吸引面積の縮小化、および糸屑詰まりの防止
- ② 省エネルギー型動力伝達用駆動ベルトの採用
コグベルトへの変更、電力消費量4%の節減効果。
- ③ ベルト張力の適正調整
- ④ 機台各部の潤滑油管理（適正油量、漏洩部の早期修理）
- ⑤ 駆動モータの更新時、高効率型モータ採用。（標準型と高効率型の価格差は1～2年で回収が可能である）
- ⑥ 掃除用圧縮空気の管理は「準備工程」と同様である。
- ⑦ 空気調和設備

織糸素材により70～80%RHの高湿度を必要とする。一般には空気洗浄方式と室内直接加湿併用システムが多いが、室内直接加湿を増加させることにより送風量の減少が可能となり、送風機の回転数低減が電力使用量の減少となる。

⑧ 新型織機

杼式織機に較べてエアジェット・ルーム、ウォータージェット・ルームは省エネルギー型である。しかし主体駆動動力の他に、圧縮空気、圧力水及び電熱カッター、乾燥機等が必要であり、これら周辺装置個々の省エネルギー対策を必要とする。エアジェットルームでは品種に応じた打込空気圧設定が、ウォータージェットルームでは生地水分の効率的乾燥が必要である。

⑨ 生産モニタリングシステムの導入

糸切れによる停台ロスを減少させ、稼働率を向上させるもので、10%以上の稼働率向上の実績もある。

⑩ 機械設備の保安管理

- ・ モータ空転防止
- ・ ベルト張力の適正化
- ・ 給油量の適正化

など基本的事項のフォローが絶対必要条件である。

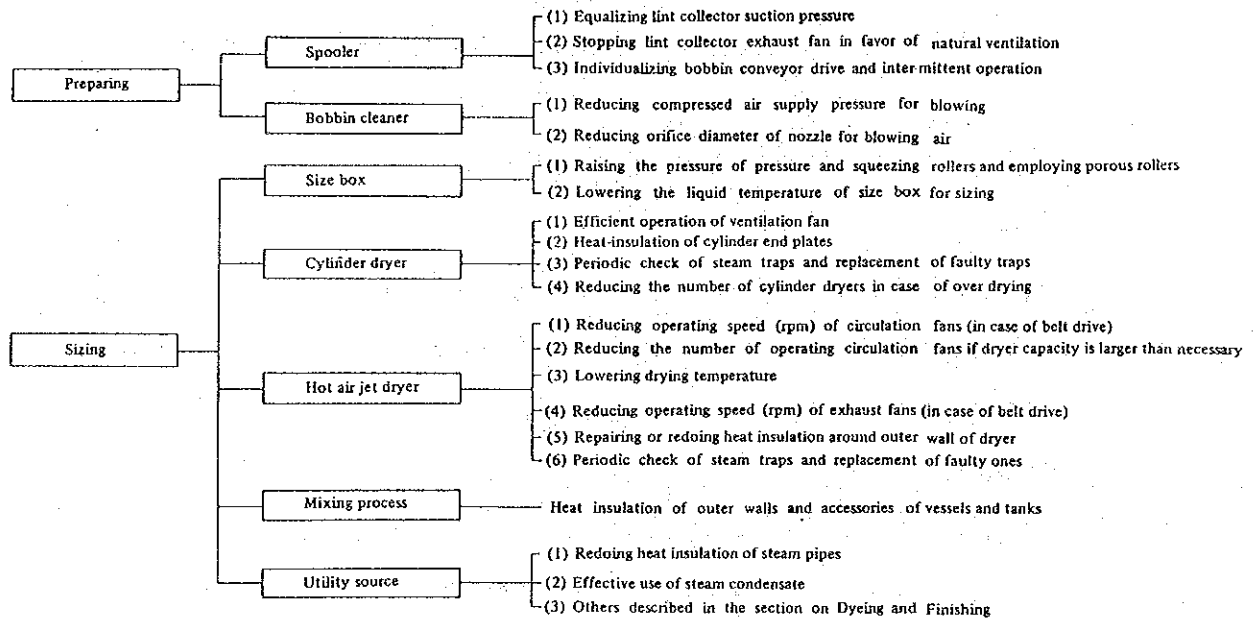
C) 仕上

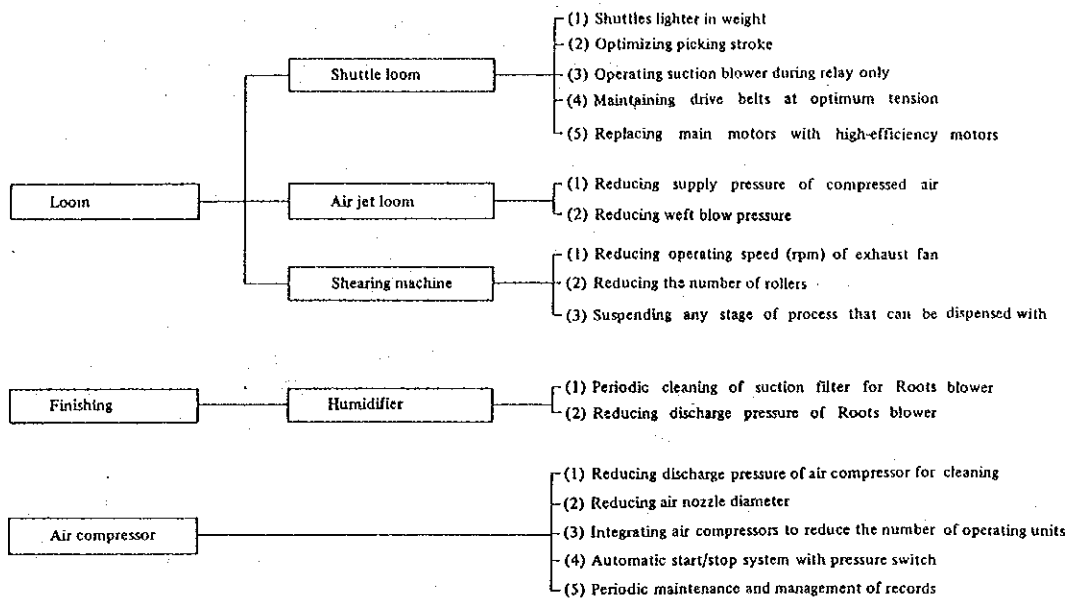
仕上げ工程における消費電力の多いものにシャーリングがある。特に集塵装置の占める割合が大きい。

この工程は製品の最終工程であり、品質上のトラブルを発生させないように留意しなければならない。

各工程における省エネルギー対策を Figure 7.16 に示す。

Figure 7.16 Items of Study for Energy Conservation in Individual Processes





7.2.3 染色・仕上

(1) 浴比低下

染色業は水を大量に使い、しかもその水を加熱して用いる場合が多いので、用水の節約は熱エネルギーの節約につながる。

被染物 1 kg を染めるのに用いる水量 (ℓ) を浴比といい、染色方法、染色機によってかなりの差がある。

染色方法では、以下の対策がとられる。

- A) 浴比はかせ染 (25~35) よりチーズ染 (8~15) の方が小さくてすむ。
- B) チーズ染色の場合も、巻密度、スピンドルの配列等によって浴比の低減を図ることができる。
- C) 染液を泡状、霧状で均一に分布させる方法で、浴比を 3 以下に低下できる。泡染色は無地染を対象とし、染色液を空気で発泡し、細い均一な泡にして織物に付与する。
- D) 混紡品の二浴染を一浴染に変えることは浴比低下、時間短縮に効果的である。

染色機については、各種の低浴比型染色機が開発されている。

布を 200m/min 以上の高速で回転させたり、振動させたりして染液と布の接触をよくすることにより、浴比を一般型の 1 : 20-30 から 1 : 11 以下に低減している。低浴比型と従来型の性能比較の例を Table 7.5, Table 7.6 に示す。

Table 7.5 Example of Performance Comparison

	Length of work	Amount of liquid	Weight of fabric	Amount of steam	Amount of steam per m	Amount of steam per kg of fabric
Conventional	300 m	4,000 ℓ	514 g/m ²	1,473 kg	4.91 kg/m	9.54 (100)
Low bath ratio type	500 m	2,000 ℓ	409 g/m ²	440 kg	0.88 kg/m	2.15 (23)

Figure 7.6 Example of Power Consumption Comparison

	Electric power	Load factor	Dyeing time each time	Electric energy each time	Length of work	Electric energy per m
Conventional	24 kw	× 0.8	× 2.5	= 48	+ 300 m	= 0.16 kwh/m (100)
Low bath ratio type	16.5 kw	× 0.8	× 2.5	= 33	+ 500 m	= 0.066kwh/m (41)

その他、マイクロ波による急速加熱を利用し、所要エネルギーを1/10以下にする方式も開発されている。

(2) 洗浄水量削減

洗浄効率の高い洗浄装置が種々開発されている。原理としては、

- ① 布と洗浄水との接触回数を多くする。
- ② 布と向流に水を供給する。
- ③ 布と水に振動効果を与える。

ことにより、洗浄効果をたかめている。在来型に比べ、水量、スチーム量が1/10に、電力量が1/4に減っている例がある。

(3) 染色時間短縮

ポリエステル染色において染着に関与しない温度範囲では極力早く昇温し、均染も不要にする方法が開発されている。

(4) 処理温度低下

薬剤の変更等により、漂白、染色等の温度引下げを図る。水洗についても、更に低温でできないかの検討を行う。

(5) 乾燥エネルギーの節減

- A) 染色は液への浸漬と乾燥を何度も繰返すプロセスであるが、繊維の種類によっては乾燥工程を省略し、絞りを行うのみで次の工程に移すこともおこなわれる (Wet on Wet法)。例えば、湿った布に仕上剤を均一に付与する方法を開発し、染色後の

乾燥工程を省略した例がある。これにより8%以上の省エネルギーが達成された。

〈事例1〉参照。

- B) 乾燥に先立って、マングルにより十分脱水し、熱エネルギーを節減する。適当な硬度のゴム被覆ロールを幅方向に線圧が均一となるように調節して用いる。より効率的な設備として不織布ロールを用いたり、スリットを介して吸引する真空式のものがある。また高速の空気流を吹き付けて脱水する方法も効果的である。

水分25~50%まで絞れるので、乾燥スピードが倍になる、乾燥コストも17%低下した例がある。

- C) 繊維はある限度以上に乾燥しても、空中に放置すれば再び平衡水分まで吸水するので、Table 7.7以上に過乾燥することはエネルギーの損失になる。

Table 7.7 Norms for Exit Moisture Percentage (20 °C/65 % RH)

Material	Exit moisture percentage (%)
Cotton	7.0
Polyester	0.4
Nylon	4.5
Viscose	12.5
Wool	16.0
Polyester-cotton blend (2:1)	2.5
Polyester-wool blend (2:1)	5.5

Source: F.C. Harbert, International Dyer, Vol. 142, No. 2, (1972), p. 102.

- D) 熱風乾燥機では熱風を循環することにより乾燥速度も上がり、省エネルギーになる。排気中の水分を定期的に測定し、排出量を調節する。なお、可燃性の溶剤が含まれる場合は、爆発について配慮する必要がある。

また、毛織物の乾燥については品質管理の目的も含め過乾燥防止のための乾燥温度排気湿度の自動制御を検討する必要がある。

- E) シリンダー（スラッシャー型）乾燥機は熱効率面では熱風乾燥機に比較して有利である。これを効率的に利用するためにはシリンダー内のコンデンセート引出しのためのインターナルサイフォンパイプおよびスチームトラップの点検・整備が重要である。

- F) 織布に防水剤などの薬剤を付与する際は、メッシュロール等により付与量を少量に抑えることにより、乾燥エネルギーを節減できる。

(6) 放熱防止

A) 染色機・水洗機は保温されていないものが多い。これは従来の繊維質や多孔質の保温材では吸水しやすく、染色工場のような多湿な雰囲気では完全な防水が費用高になるためであろう。しかし、最近には独立気泡型の撥水性プラスチックフォームが開発され、クロロプレン系等の接着剤で張りつけて用いられるようになっている。ポリプロピレン、硬質ウレタンは、最高使用温度 120℃程度まで使用でき、100℃以下の個所なら中圧ポリエチレンフォームが使える。

また、簡易な方法として保温材を巻き付け、水に濡れないようビニールシートをスカートのように取り付けただけで、スチーム量が20%程度節減となっている例がある。

B) 貯湯タンク

貯湯タンクも保温すると共に、蓋あるいは浮蓋により表面からの放熱を防止する。

C) 乾燥機の外壁を断熱すると共に、開口部をできるだけ小さくする。

(7) 排熱回収

染色工場で熱エネルギーがどのように使われたかを分析した1例を Table 7.8 に示す。排液に逃げる熱の割合の大きいことがわかる。このため、染色排水の熱を給水に熱交換したり、冷却水を次の給水に用いたりする利用例が多い。

Table 7.8 Thermal Energy Consumption State
(Intermediate Scale Dyeing Factory)

Item	Percentage (%)
Product heating	16.6
Product drying	17.2
Waste liquor loss	24.9
Heat release from equipment	12.3
Exhaus loss	9.3
Idling	3.7
Evaporation from liquid surface	4.7
Unrecovered condensate	4.1
Loss during condensate recovery	0.6
Others	6.6
Total	100.0

〈事例1〉

1. ニット染色布のウェット・オン・ウェット仕上加工の採用

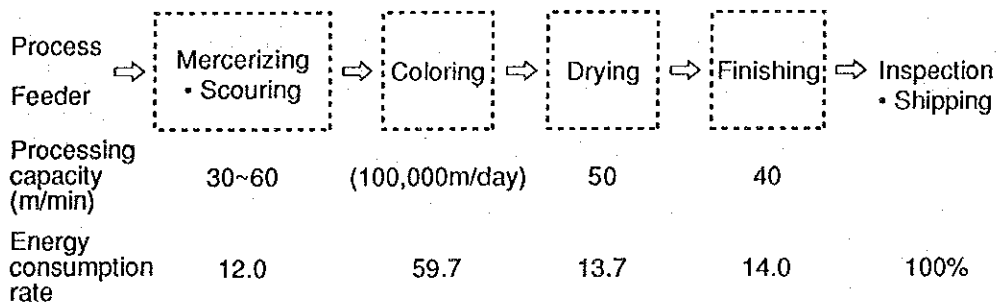
(1) 工場概要

- 生産品目 ポリエステル／綿（混紡・交織）、綿等の丸編ニットの染色整理
- 従業員 205名
- エネルギー使用量 原油換算 11.025kl

(2) 省エネルギー対策のテーマ選定理由

ニットの染色整理（Figure7.17参照）の工程で、エネルギー使用率の高い（全工程の13.7%）乾燥工程を省略し、エネルギー量の減少および仕掛時間の短縮化による生産性向上を計った。仕上工程では染色後の濡れたままの布で処理するウェット・オン・ウェットという。

Figure 7.17 Finishing of Knit



(3) 問題点と実施された省エネルギー対策

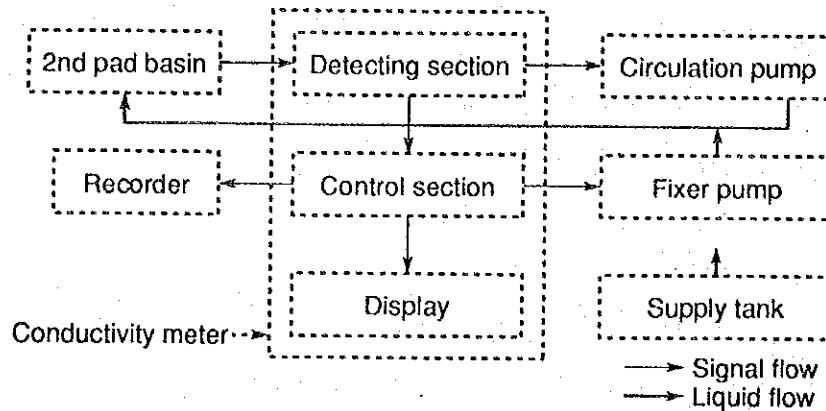
(3.1) 濡布の仕上への直投入の問題点

- ① 染後の濡布は、時間の経過で上下の布含水率に差が生じ、仕上工程での仕上剤付着が不均一になる。
- ② 薬液槽の仕上剤濃度が布持込の水分により、時間と共に希釈される。

(3.2) 対策

- ① 仕上剤不均整付着⇒2段階パッド式
- ② 薬液槽内濃度変化⇒薬液槽の濃度制御（Figure7.18参照）

Figure 7.18 Agent Concentration Control



- ③ 仕上剤濃液測定⇒無機電解質溶液濃度の代用特性を利用
 イ) 無機電解質溶液 (Na₂SO₄、NaCl) 濃度と導電率
 ロ) 10%無機電解質添付の仕上剤濃度と導電率の関係が共に比例関係にあることを測定で確認した。

(4) 対策後の効果 (全体設備の1/2をWet on Wet 切替えと仮定)

① エネルギー=節減量 (Wet on Wet を実施前後の比較)

燃料 28560 ℓ/月 (3.8%減)、電力量 30167kwh/月 (3.6%減)

② 仕掛時間短縮による全工程能力アップ

月間357全時間節減し生産性がアップした。

③ 乾燥機稼働 従来 24h × 2台⇒18h × 1台

④ 投資効果 (投資回収年数) 改善費用 200,000US\$

効果 250,000US\$/年 償却 0.8年

〈事例2〉

メリヤス染色を行っている工場で、染色機の排水のうち60℃以上のもののみを、2基のスパイラル熱交換器に通し、50~60℃の温水を得て次の染色に利用している。

排水200m³/dのうち、熱回収したのは100m³/dであり、得られた温水も100m³/dであった。設備費は100,000US\$、重油節減率は25%で、資金は2.2年で回収できた。

〈事例3〉

従業員40人のポリエステル、レーヨン糸染の工場で、次のような対策を行った。

- a. 染色機、乾燥機のコンデンセートをボイラ給水に回収し、給水温度を80℃に上昇させた。
- b. 高圧染色機の冷却水を温水槽に回収した。
- c. 染色排水のうち57℃以上のものを温度感知器で分けて熱交換器に通し、平均60℃の温水170

m³/dを回収した。

また、これに併せて60℃から染められるよう染料、助剤、染色方法を改善した。

染色機の移転、配管、保温、コンデンセート回収ポンプ、温水タンク等に180,000U\$S、熱交換器、ポンプに30,000U\$S、合計210,000U\$Sを要したが、重油原単位が0.85 l/kgから0.47 l/kgに45%も改善され、270,000U\$S/年の燃料減となったので、投資は1年以内に回収できた。

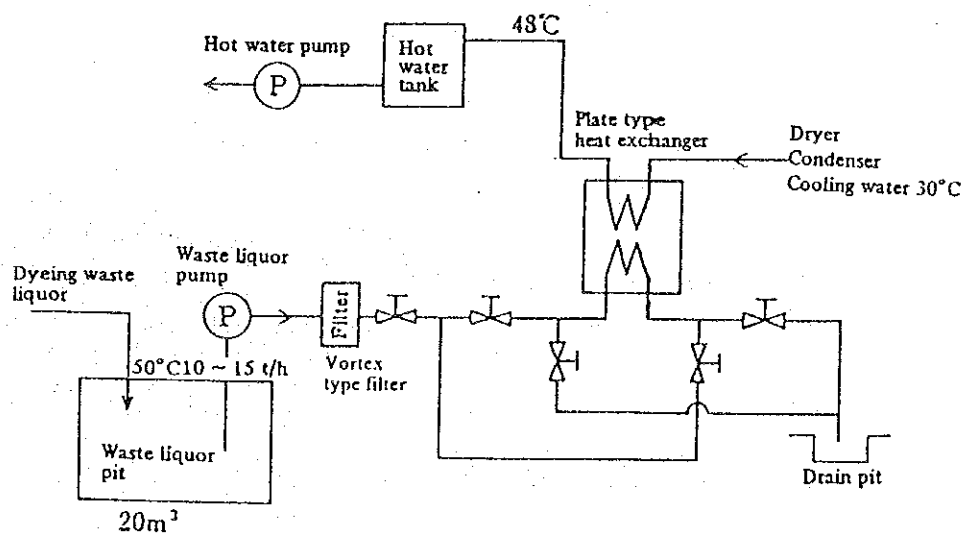
〈事例4〉

従業員12名の糸染専用の工場である。省エネルギー対策として、コンデンセート回収と染色排液の熱回収を行った。コンデンセートは染色機、乾燥機で発生するものであるが、その中に染色溶液が混入してくる恐れがあるので、直接ボイラ給水に混ぜないで、熱交換器を通してボイラ給水に熱を与えるようにしている。熱交換器としては掃除のしやすいプレート式を選び、酸性液が混入した場合に備えて、材質はステンレス(304)を使用している(Figure 7.19を参照)。

染色排液は50~100℃で10~15 t/h発生している。この液を渦流式フィルタに通し、セルローズスラッジを除いたあと、プレート式熱交換器(ステンレス)で30℃の水を48℃まで予熱するのに用いている。熱交換器には逆洗できる配管をつけてある。また温度や流量を設定して、自動運転が可能なのにもなっている。

熱交換器2基のほか、ポンプ、タンク、配管等の設備費が約120,000U\$Sかかっているが、燃料が22%節減でき、年間38,000U\$Sのメリットがあるので、投資は約3年で回収できている。

Figure 7.19 Dyeing Waste Liquor Recovery Equipment



〈事例5〉

染色晒工程から排出する温排水から、熱交換器による用水への熱回収は、かねてから実施してきたが、吸収式ヒートポンプを活用することにより、更に低温排水からの熱回収が可能になることを見出した。かつ従来、冷凍機及び冷却塔を通じて大気に放出していた冷房排熱も、温水に回収利用した。

フローシートは Figure 7.20 のとおりである。設備費は約250,000U\$S、省エネルギー効果は Table 7.9 のとおりである。

Figure 7.20 Flow Sheet of Heat Pump System

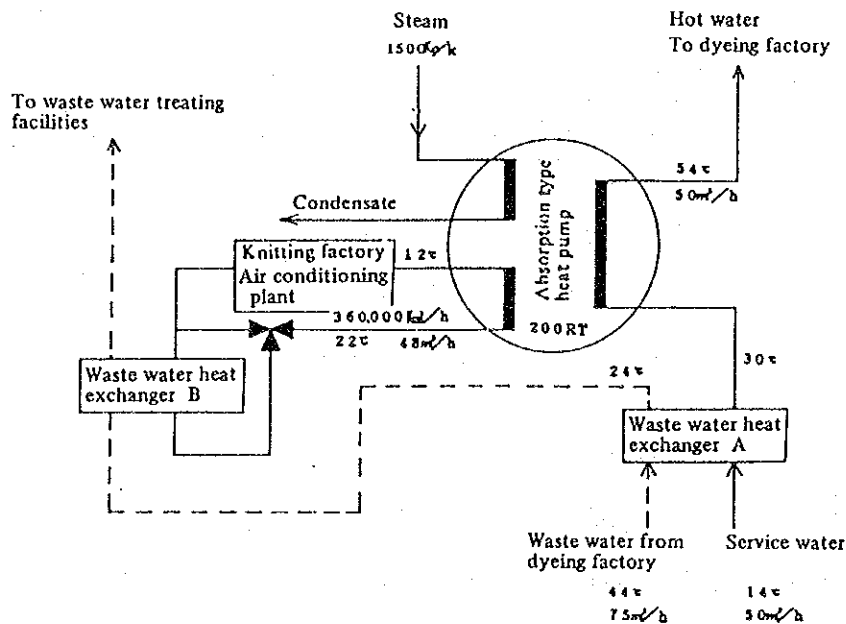


Table 7.9 Energy Conservation Effect

Fuel oil saving	170 k ℓ /Year	About 70,000 U\$S/Year
Reduction in contract demand by stop of refrigerator	170 kW	About 30,000 U\$S/Year
Reduction in refrigeration electric energy	200 thousand kWh	About 20,000 U\$S/Year
Total		12,000 U\$S/Year

また熱風乾燥機の排気の熱を回転式熱交換器を用いて給気に回収している例もある。