

## 4. 紙パルプ工業の省エネルギー





紙・パルプ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。紙・パルプ工業がエネルギー多消費産業といわれる由縁である。

#### 4.2 省エネルギー対策の段階

紙・パルプ工場における省エネルギー対策は、Table 4.1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てすむし、収益も向上する。紙・パルプ工業も同様で、紙切れ、故障等による生産中断をなくし、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 4.1 Example of Stepwise Promotion Plans**

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

#### 4.3 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特に大きい。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 4.2 に、連続式蒸解釜の一例を Figure 4.3 に示す。

Figure 4.2 Batch Type Cooking Instruments

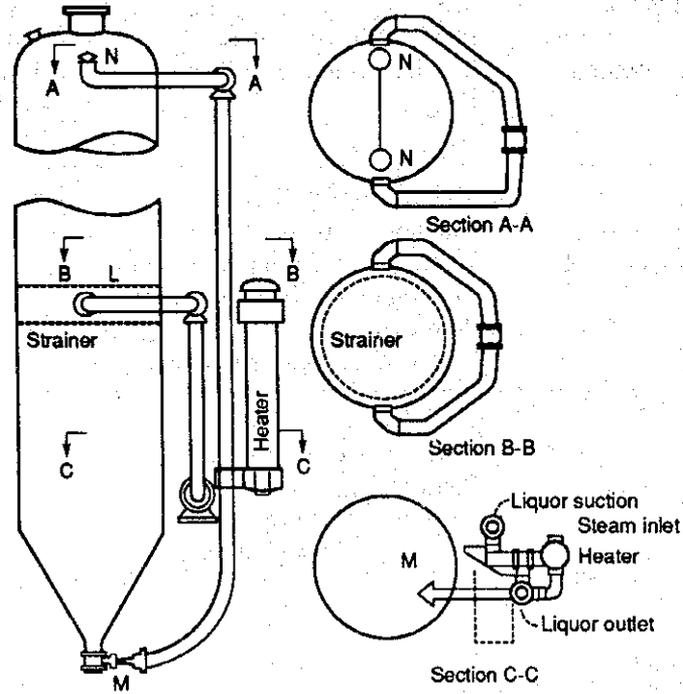
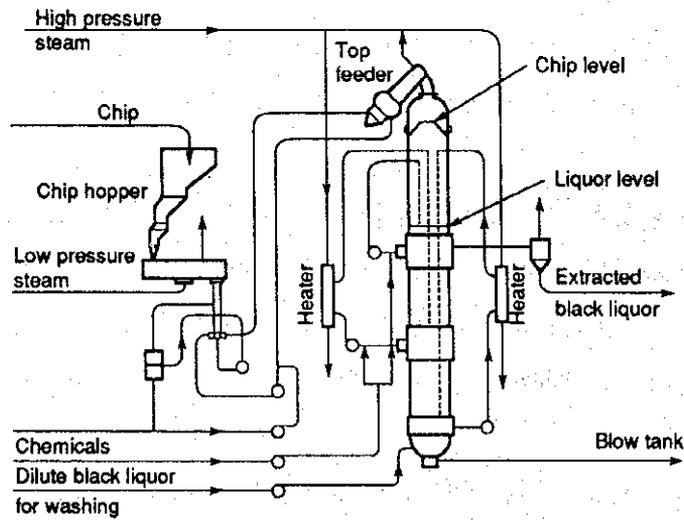


Figure 4.3 Continuous Type Cooking Instruments



## (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 4.4 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 (m<sup>2</sup>h<sup>2</sup>°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(m<sup>2</sup>h<sup>2</sup>°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。

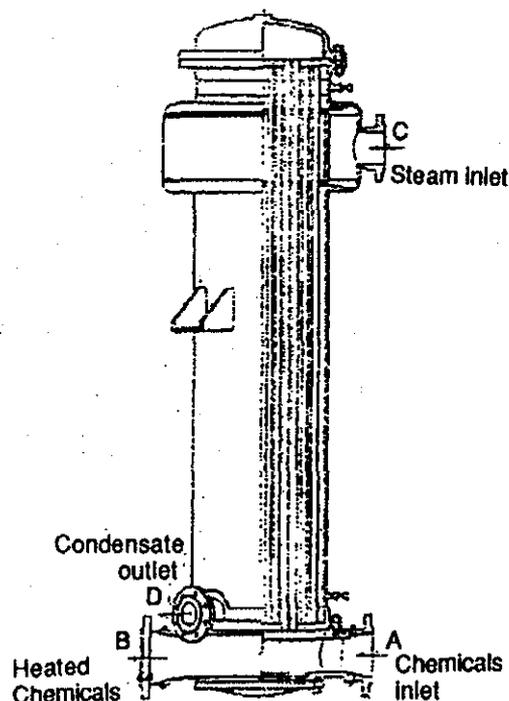
スケールはヒータ内部のみならず循環系のパイプ、バルブをはじめストレーナに付着し、流速がおとろえ反応時間が延長して生産性の低下を来たす。時には釜内に温度ムラが出来て未蒸解チップが出来て歩留を低下する。

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, Na<sub>2</sub>S, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> で、その組成の一例をあげると Table 4.2 の如くである。

Figure 4.4



**Table 4.2 Chemical Components of White Liquor**

Na <sub>2</sub> O compound	g/l as Na <sub>2</sub> O
NaOH	84
Na <sub>2</sub> S	36
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	19
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.2
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	0.2
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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、Na<sub>2</sub>O として  $(\text{NaOH} + \frac{1}{2}\text{Na}_2\text{S})\text{g/l}$  で表わし、Table 4.2 の例では、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 Na<sub>2</sub>S 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。

硫化度は、 $\frac{\text{硫化ソーダ}}{\text{活性アルカリ}} \times 100\%$  で表わし、Na<sub>2</sub>O として

$$\frac{\text{Na}_2\text{S}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}} \times 100\% = \frac{36}{84 + 36} \times 100\% = 30\% \text{前後が適切な値とされている。}$$

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 Na<sub>2</sub>O 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だが、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 4.3 は100～179℃のH-ファクター相対速度である。

**Table 4.3 H-Factor 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 4.5 である。

Figure 4.5 Relative Reaction Velocity, Cooking Time or Temperature

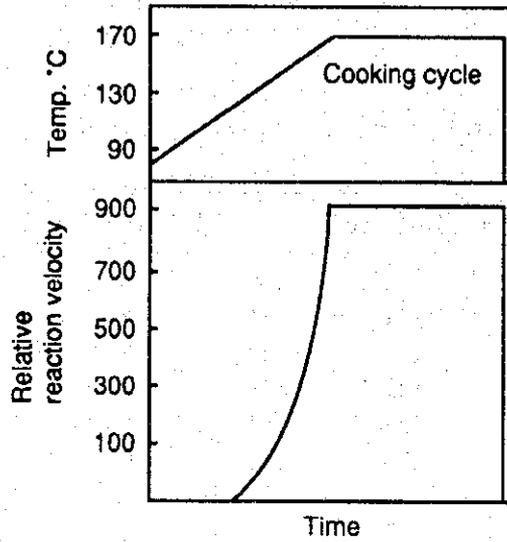
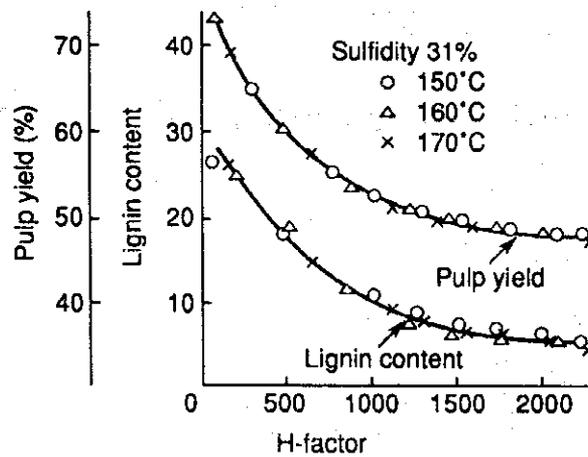


Figure 4.5 の下の線の下側の面積が「H-ファクター」である。「H-ファクター」が同じなら時間と温度の組合わせではほぼ同一の品質が得られる。

硫化度31%の薬液を使用して3水準の異なる温度でスプルース (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 4.6 である。

Figure 4.6 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 4.4 の通りである。

**Table 4.4 Comparison of Energy Unit 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 4.5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 4.5 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。

#### 4.4 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、ドラムウォッシュを直列に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ュがある。

##### a. 向流多段洗滌装置 (Figure 4.7)

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。

洗滌効率には、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水量を求める事が必要である。

希釈係数は次式で計算される。

$$\frac{\text{温水量 (t/h)} - \text{洗滌パルプ水量 (t/h)}}{\text{風乾未晒パルプ (t/h)}} \quad \text{又は}$$

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

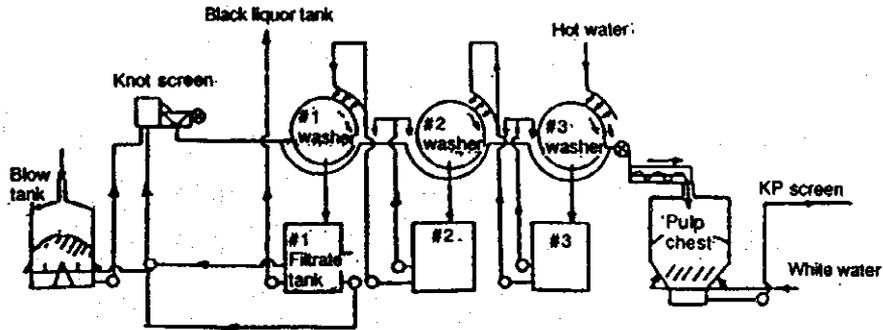
希釈係数はエバポレータの容量、蒸気コスト、黒液中固形分濃度、パルプ洗滌度、薬品コストなどの諸因子によって決定される。

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。

Figure 4.7 Continuous Washer

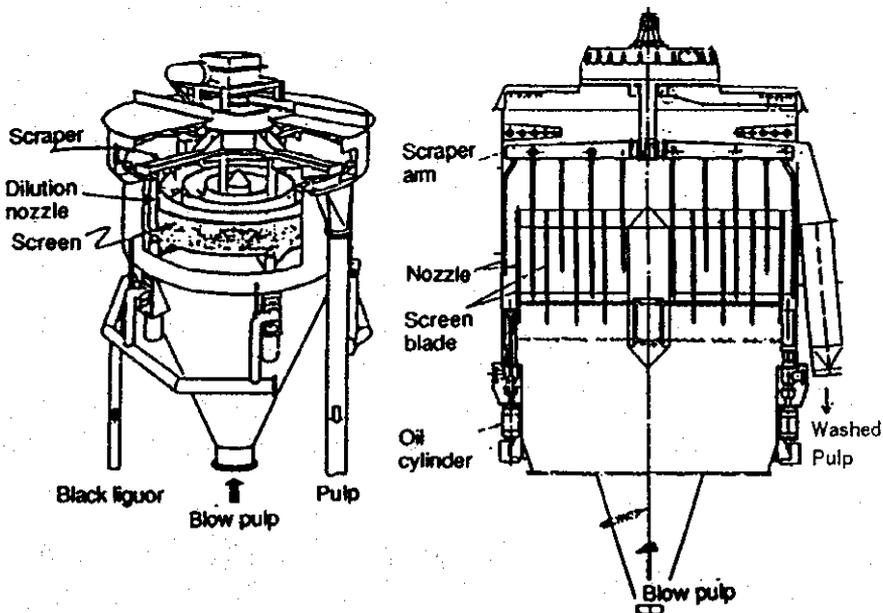


b. デフュージョン・ウォッシャ (Figure 4.8)

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。スクリーンはバルブ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。

Figure 4.8 Diffusion Washer



デフュージョン・ウォッシュ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。

#### 4.5 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、放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( $\Delta t$ )が定まる。 $\Delta t$ 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 $\Delta t$ 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 $\Delta t$ 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1ton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1ton当り

$$\text{蒸発水量} = \frac{100}{a} - \frac{100}{b}$$

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 4.6 の値である。

Table 4.6 Evaporation Ratio

Number of effect evaporators	4	5	6
Evaporation ratio $\left( \frac{\text{evaporated water (ton)}}{\text{steam (ton)}} \right)$	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チューブ式があるが，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 4.9 はその構造をしめし，Figure 4.10 は，チューブ式とプレート式の構造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 4.7 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
N (Conifer tree)	1.7	1.4	125	75
L (Broad leaved 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 4.9 Falling Film Type Evaporator

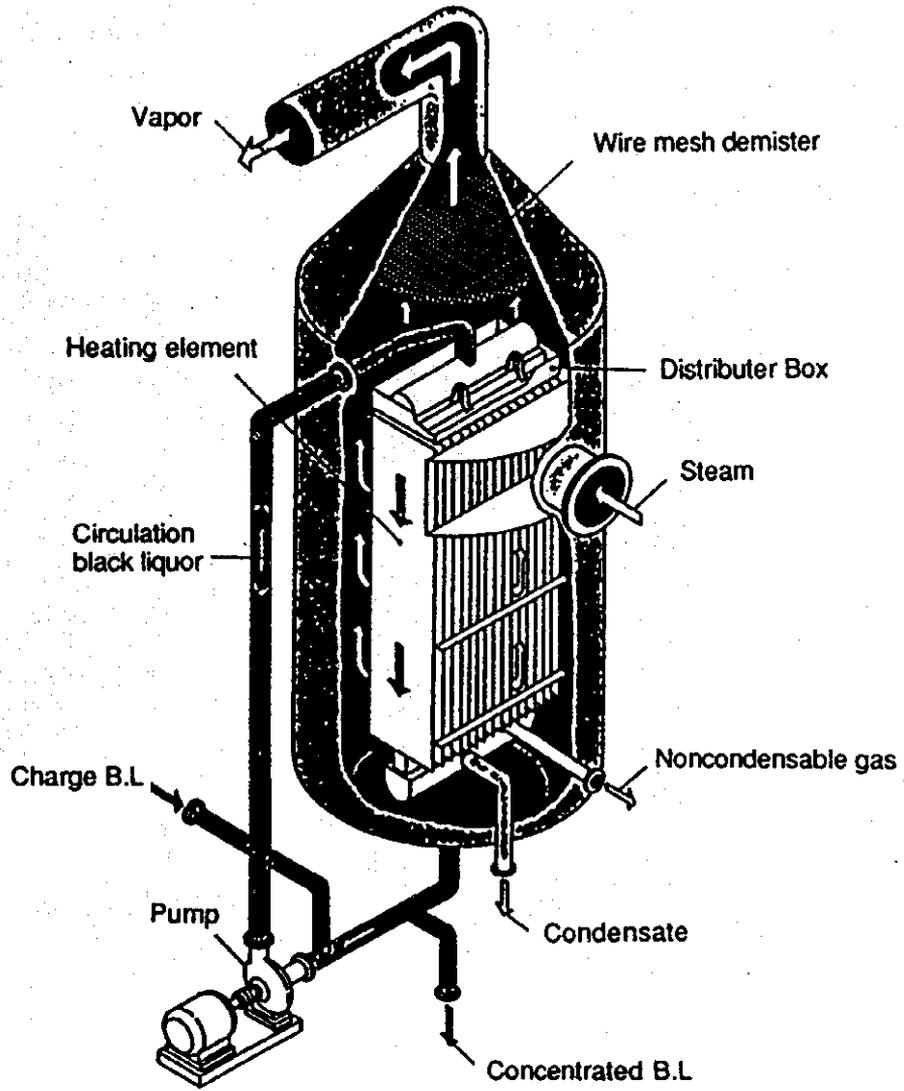
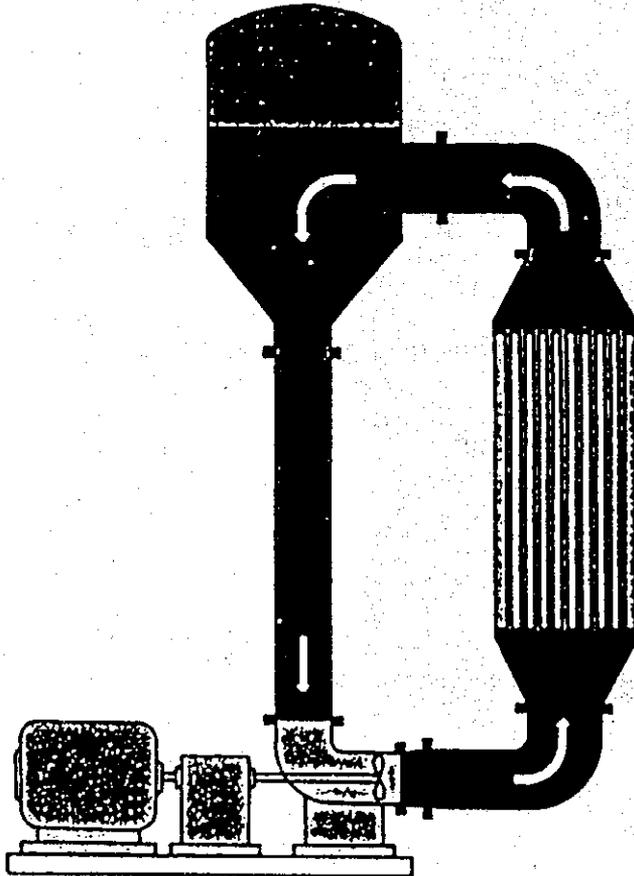
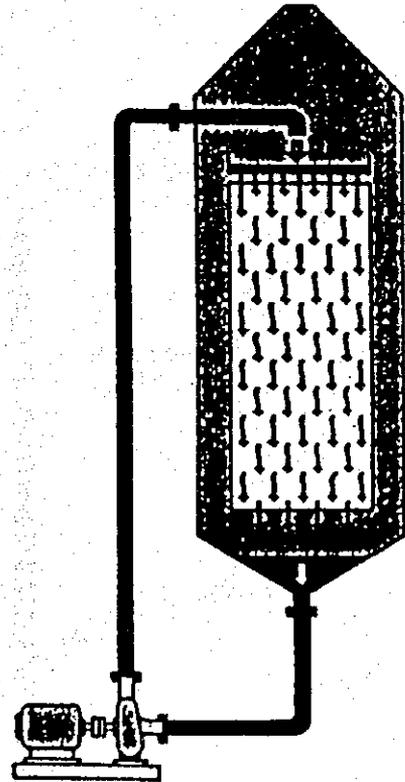


Figure 4.10 Comparison of Forced Circulation Evaporator and Falling Film Evaporator

• Forced Circulation Evaporator  
(Tube Type)



• Film Flow 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。

#### 4.6 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 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) を硫化ソーダ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) 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。クラフトパルプ一紙の一貫工場の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/cm<sup>2</sup>、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。

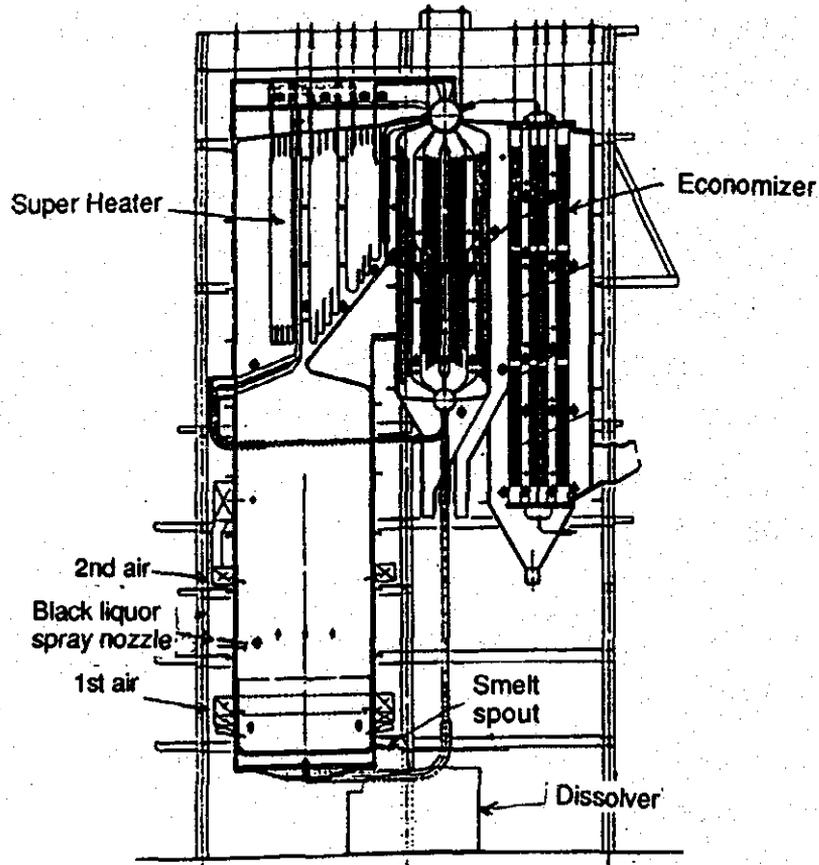
最近ではプレート型エバポレータによって約70%まで濃縮する事が出来るようになり、サイクロン又は、カスケードエバポレータが不要になり、代りにエコノマイザの伝熱面積が2~3倍になりボイラ効率が向上した他、臭気も少なくなって無公害回収ボイラと言われる様になった。黒液は、重油に比較して発熱量は3,100~3,500kcal/solid kgで低く、また噴射する黒液中の水分が多いため燃焼維持が難しく、掃除作業や運転監視に必要なオペレータが、重油ボイラの倍以上多いのが一般である。

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、二次エアポート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エ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 4.11にしめす。

Figure 4.11 Recovery Boiler



クラフトパルプ1 ton 当りの蒸気の発生量は1～5 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

## 4.7 古紙パルプ

### (1) 古紙の種類

地球環境改善の一環としての都市ゴミの減量化、森林資源保護の観点及び省資源、省エネルギーの観点から、古紙を回収して再び新しい紙として活用することの意義は極めて大きい。

古紙には新聞紙、段ボール、雑誌、包装紙、袋、広告チラシ、書籍、事務用紙、帳簿、等があり、その加工過程に発生するものから、それぞれの用途の目的を果たしたもので含めると非常に多くの種類に分類される。また古紙は非常に広範囲に僅かずつ分散しているのでその集荷は容易ではない。生活環境の美化、森林資源の愛護、国民経済の健全な発展等、国民の意識高揚の上に育てたモラルの確立がないと容易に進展しない。政府各機関の協調による行政指導によって

- 1) 事業場、一般市民の分別収集の習慣化推進
- 2) 回収業者の合理的収集方法の助成
- 3) 古紙再生紙の品質標準の設定と品質向上対策の推進

等積極的資源活用対策がなければ推進出来ない。

日本紙リサイクルセンターによる古紙の標準品質分類は、Table 4.8の通りである。

### (2) 古紙パルプ化工程

古紙は集荷、選別にいかに留意しても、紙質の違い、加工の違い等があるので再生パルプの品質は常に変動し、そのバラツキは大きい。抄紙工程では、そのバラツキは殆ど吸収できない。バラツキの大きい古紙パルプは、目標とする紙品質の要求される特性によって、その許容限度内に配合されて使用されている。

そのパルプ化工程は、既に Figure 4.1 で示したが、古紙の種類及び目標とするパルプ品質により、そのパルプ化方法は若干異なるので、その工程を Figure 4.12 に示す。

- A) は、中質紙に配合する古紙パルプ化フロー
- B) は、新聞用紙に配合する古紙パルプ化フロー
- C) は、中しん原紙、板紙基紙に使う古紙パルプ化フロー

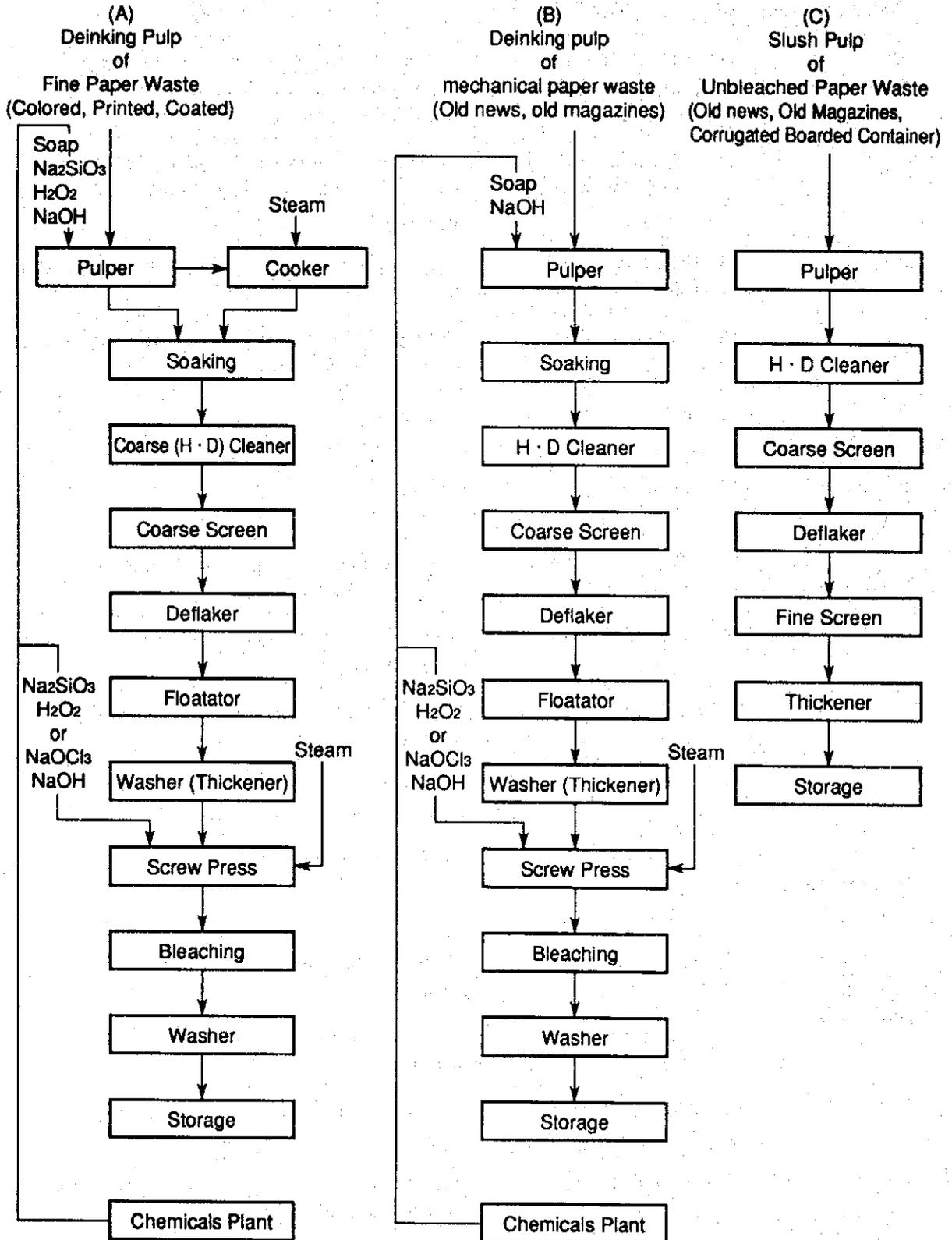
である。

**Table 4.8 The List of Japanese Standard Qualities of Waste Paper by Paper Recycling Promotion Center of Japan**

Statistical Group	No.	Grade	Contents
A. Fine paper white shavings, white cards	1	White shavings	Shavings and sheets of white unprinted woodfree paper come from bookbinderies, printers and sheeting converteries.
	2	Cream shavings	Shavings and sheets of cream colored unprinted woodfree paper, come from bookbinderies, printers and sheeting converteries.
	3	Ruled lines shavings	Shavings and sheets of white or cream colored woodfree paper, having red or blue ruling or register mark, come from bookbinderies, printeries and sheeting converteries.
	4	Cards	Used tabulating cards made in Japan or imported.
B. White woody shavings, white manila	5	High grade white wood-containing shavings	Shavings and sheets of white unprinted high grade wood-containing paper, come from bookbinderies, printers and sheeting converteries.
	6	White wood-containing shavings	Shavings and sheets of white unprinted wood-containing paper, come from bookbinderies, printers and sheeting converteries.
	7	White manila	Cutting and sheets of uncolored and uncolored manila board come from carton makers.
C. Fine paper printed	8	Printed woodfree	White woodfree paper, black printed, computer printout.
	9	Color printed woodfree	White woodfree paper, printed with various colors, including coated papers.
	10	Woodfree shavings including some color printed	Shavings of white uncoated and coated woodfree paper, including some color printed, come from bookbinderies and printer.
	11	White coated shavings	Shavings and sheets of unprinted coated paper, woodfree come from bookbinderies and printers.

Statistical Group	No.	Grade	Contents
D. Quires, woody paper printed	12	High grade color printed wood-containing shavings	Shavings of high grade wood-containing white paper, printed with various colors, come from bookbinderies and printers.
	13	Color printed wood- containing shavings	Shavings of white wood-containing paper, printed with various colors, come from bookbinderies and printers.
	14	High grade wood- containing waste	Sheets of high grade wood-containing paper, come from bookbinderies and printers.
	15	Colored manila	Cutting of manila board, printed with various colors come from carton makers.
E. Old news	16	News	Old news.
F. Old magazines	17	Magazines	Old magazines
G. Kraft browns	18	New brown kraft cuttings	Cutting of unprinted brown kraft paper, come from kraft paper sack factories.
	19	Unprinted brown kraft	Waste sheets of unprinted brown kraft paper, come from kraft paper sack factories.
	20	Used brown kraft sacks	Brown kraft sacks, used for cements, chemicals, fertilizers, foods and others.
	21	Kraft lined corrugated waste	New kraft corrugated cuttings, old kraft corrugated containers, mainly imported.
H. Old corrugated containers	22	Corrugated container waste	Old corrugated containers.
I. Boxboard cuttings	23	Mill wrapper	Wrapping paper, used for newsprint rolls and other rolls.
	24	White paperboard cuttings	Cuttings of white paperboard, come from carton box makers.
	25	Chipboard cuttings	Cuttings of chipboard and colored chipboard, come from carton box makers.
	26	Carton box waste	Cuttings of straw board come from carton box makers, and used carton boxes of white paperboard, chipboard, colored chipboard.

Figure 4.12 Waste Paper Pulping Flow Sheet



### (3) 古紙と省エネルギー

古紙から得られるパルプがどの程度省エネルギーになるかを中質印刷紙をモデルにして、バージンパルプ（配合率 BKP 50%，GP 50%）の場合と古紙脱墨パルプ（Deinking Pulp = DIP）の場合とで、エネルギー消費を比較した例を参照すると（1989年、古紙ハンドブック）

BKP 50%+GP 50% : 2730 kcal/Pulp. kg

DIP : 1080 kcal/Pulp. kg

古紙からパルプをつくる場合は、バージンパルプの約3分の1のエネルギー消費で済むことになる。

又、最近の日本製紙連合会の1992年の資料等から推定すると、各パルプのエネルギー消費量は次の通りである。

晒化学パルプ (BCP) : 2450 kcal/Pulp. kg

機械パルプ (GP) : 1850 kcal/Pulp. kg

DIP : 675 kcal/Pulp. kg

上述の中質印刷用紙の場合と同じように試算すると

バージンパルプ :  $2150 \text{ kcal/Pulp. kg} = (2450 + 1850) / 2$

DIP : 675 kcal/Pulp. kg

バージンパルプの生産、DIPの生産の共に省エネルギーが推進されているが、古紙からパルプを造る場合のエネルギー消費量は、バージンパルプを造る場合の3分の1以下の消費量で済むことになり、古紙からの再生紙生産は一層推進しなければならないことがわかる。

### (4) 古紙パルプの省エネルギー対策

品質保持の為の条件設定は省エネルギー対策よりも常に優先されるべきものであって、品質に支障を来す事があってはならない。

製紙に使用するパルプの品質特性は、パルプ強度、粘度、フリーネス、夾雑物、白色度等である。パルプの品質特性を向上させることは、エネルギーを多く使うことであるが、それに従ってコストも高くなるので、自ずと制限がある。

紙生産に使われるパルプが、抄紙工程で省エネルギーに影響する要因は、次の2点が大きい。

a) 夾雑物

b) フリーネス

(a) 夾雑物の除去

古紙の夾雑物の中、抄紙上省エネルギーに関係あるものは、次の合成樹脂系粘着剤であ

る。

- ・ラミネートされたポリエチレンフィルム
- ・本の背貼りに使われている APP (アタクチック ポリプロピレン)
- ・粘着テープの接着剤 (合成ゴム系)
- ・インキベヒクル (合成ゴム系)

及び未解織、ノット等の結束繊維である。

合成樹脂系の夾雑物は、ワイヤーの目や毛布、キャンバスに付着して紙穴をつくったり、地合を崩したりして不合格品を造り、時には紙切れを起こして生産効率を低下させる。紙中に混入して巻取となって出荷されると、不良品としてクレームとなる。

未解織や結束繊維が混入した湿紙が、プレスで加圧される時、凸起部分に圧がかかるが凸起部分の周辺は脱水が進まずドライヤーでの乾燥が遅れる。また結束繊維等が紙匹の端にあると、そこを発端として紙切れが起こる。

紙切れによる生産中断は、生産管理上は勿論、省エネルギー上皆無にすることが必要である。

夾雑物の除去はスクリーンやセントリクリーナー等によって行うが、これら除塵機の設備管理、運転管理はなおざりに成りがちである。

品質、生産の管理及び省エネルギー上、少なくとも以下の事は実行すること。

- ・スクリーンの目は出来るだけ小さいものを使用する。
- ・スクリーンの入口濃度の適性点を掌握し、運転管理する。
- ・セントリクリーナーは入口濃度、入口及び出口圧力を正しく運転管理する。
- ・除塵率、リジェクト率を定期的にチェックし、設備の正、異常を確認する。
- ・設備の保全、定期点検を実施する。

スクリーン：内部点検し、目の破損等の有無、目洗いシャワー状態調整

異常時取替え又は修理

セントリクリーナー：圧力計の指示の点検及び取替え

クリーナー内部の摩耗有無点検及び取替え

リジェクト部点検及び取替え

#### 4.8 フリーネスの管理

紙の地合の良否，紙質，強度，を左右するのはフリーネス（濾水度）の設定によってある程度決まる。

フリーネスを調節するのはリファイナーであり，リファイナーのリファイニング電力は，Table 4.9 に示すように紙パルプ一貫生産工場の電力量の20%以上を占める程大きなものである。

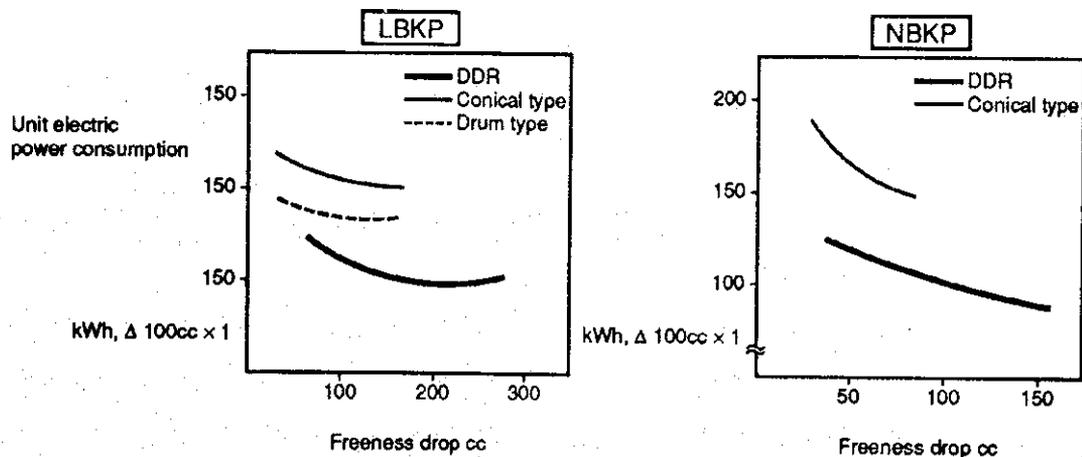
リファイナーにはコニカルタイプ，ドラムタイプ，ディスクタイプとあり，それぞれ電力消費量が異なる。

Figure 4.13はフリーネス（カナディアン スタンダード フリーネス）を100CC低下させるのに必要な電力量を原単位で表したものである。

**Table 4.9 Energy Consumption Pattern of Pulp and Paper Processes In an Integrated Fine Paper Mill**

Energy	Process	Evaporator Causticizing	Cooking Washing	Bleaching	Paper Machine	Others
Steam	ton/paper ton	1.5	1.0	0.4	3.0	0.3
		5.9 (95%)				
Electric Power	kWh/paper ton	Coking Washing	Bleaching	Refining	Paper Machine	Others
		140	150	240	600	220
		1,130 (84%)				

**Figure 4.13 Comparison of Unit Electric Power Consumption**



一般的に使用されているダブルディスクリファイナー (DDR) の場合、フリーネスを100 CC 低下させるのに要する電力原単位は、おおよそ

LBKP の場合 約 50 KWH/Pulp. ton/ $\Delta$ 100 CC

NBKP の場合 約100 KWH/Pulp. ton/ $\Delta$ 100 CC

であることがわかる。

リファインングの電力は熱エネルギーに転換して系内温度の上昇に寄与している。白水の循環をすすめ、新水の使用量を減らす程系内温度は、ポンプ、アジテーターの電力転換熱も加わって上昇する。この系内温度上昇は次のような効果をもたらして省エネルギーに貢献する。

ワイヤパートに於ける脱水促進

プレスパートに於ける脱水促進

これらによってウェットエンドの水分は低減される。

白水の循環については、後記4.11、プレス脱水については次項に再び述べる。

#### 4.9 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倍以上を必要すると言われる。プレスパートで水分を1%多く脱水すればドライヤーパートにおける乾燥蒸気量は約4%節約できる勘定になる。

ドライエンドにおける紙水分7%の紙を抄造しているとき、ウェットエンドの水分は61%であると仮定する。プレスのニップ圧を1%増加し、60%にした時、ドライヤーに使用する蒸気量の低減率を求める。

紙1 kg 当たりのドライヤーにおける蒸発水用 (W kg)

$$1) \text{ ウェット水分61\%の時 } W_{61} = 61 - 7 / 100 - 61 = 1.384 \text{ kg}$$

$$2) \text{ ウェット水分60\%の時 } W_{60} = 60 - 7 / 100 - 60 = 1.325 \text{ kg}$$

プレス脱水1%増やすと、蒸気消費量は

$$(1.384 - 1.325 / 1.384) \times 100 = 4.3\%$$

低減できる。

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 (リファインング) 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呼び、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ボックスを設け、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。

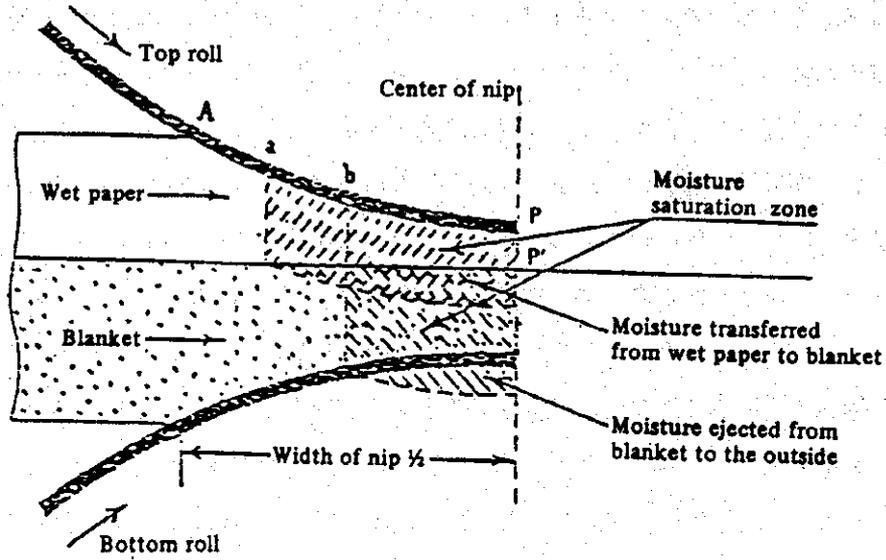
プレスにおける搾水理論は幾つかあるが、プレーンプレス時代には、湿紙と毛布がプレスで圧縮され、ニップの中心を過ぎると毛布が膨張し始め、同時に紙中の水分が毛布に移行するという説があったが、サクシヨンプレス時代になって、Figure 4.14に示すような説が出された。

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。

Figure 4.14 Water Movement in Press Nip



(2) 湿紙水分と水分分布調整

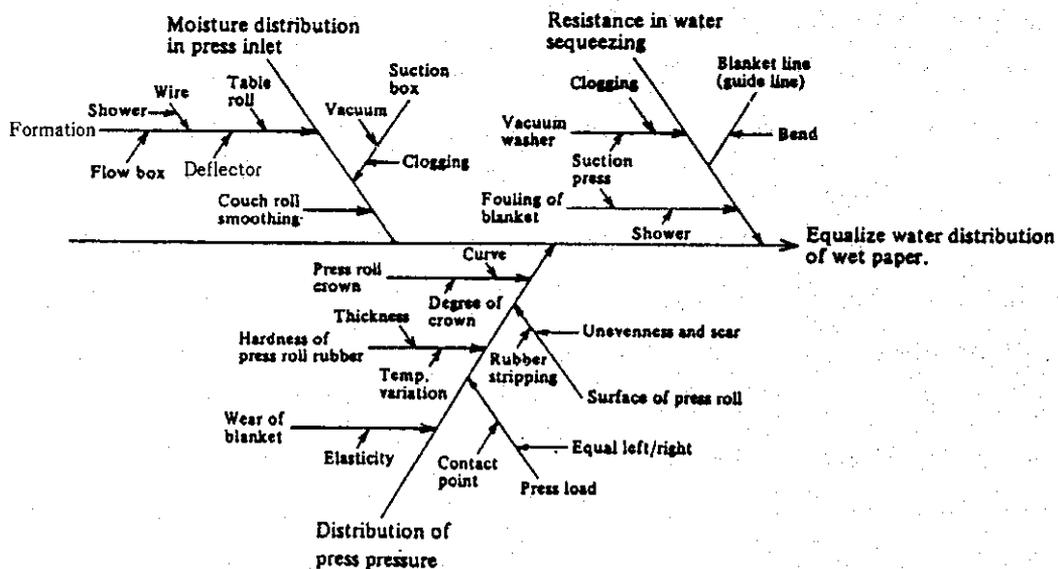
プレス後の水分を下げることもできても、幅方向の水分ムラがあっても全く意味がない。幅方向の水分分布を調整するための要因を図にすると Figure 4.15 に示すとおりである。

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10 cm 間隔位で測定しておきたい。

Figure 4.15 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、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 4.16 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、搾水降下に関係する単位面積当たりの圧力は1.4倍にしかならない。

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 4.17 参照)。

Figure 4.16 Nip Pressure and Nip Width

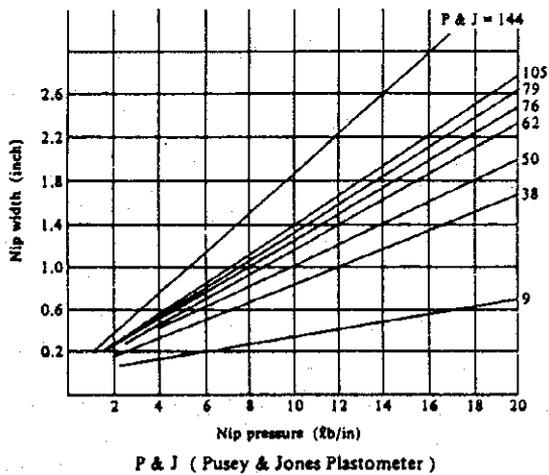
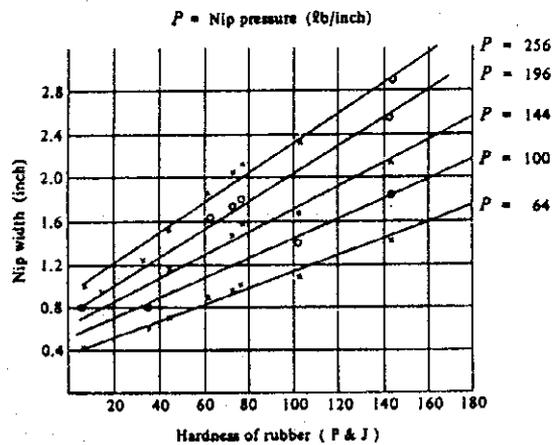


Figure 4.17 Nip Width and Rubber Hardness



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、十分検討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 JIS (K6301) としてスプリング式硬さ試験機 A 型・C 型と定荷重式のプセイ・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 4.10 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°C 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 4.10 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

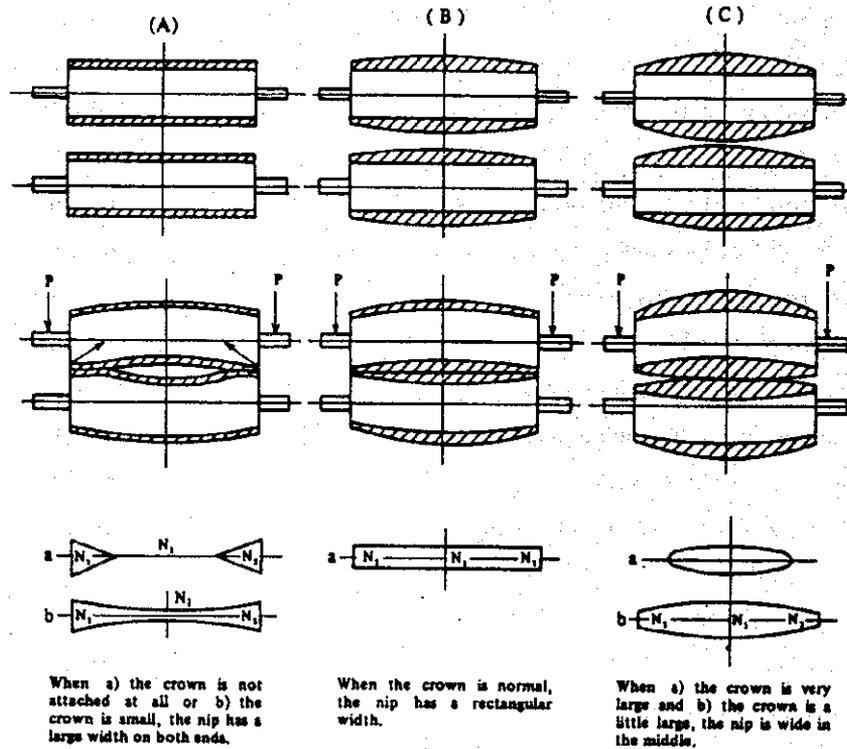
B) クラウンのチェック

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って過言でない。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13～15 mm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 4.18 参照)。

Figure 4.18 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、

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

C : 補正すべきクラウン量

N<sub>1</sub> : マークしたロール中央部のニップ幅

N<sub>2</sub> : マークしたロール両端部のニップ幅

D<sub>1</sub> : 上ロールの直径

D<sub>2</sub> : 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  $\frac{15''}{1000}$  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ため、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。

#### 4.10 乾燥の効率化

##### (1) 水分約60%の湿紙約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、多孔質のキャンバスが湿紙をおさえつけて走行するので、蒸発した蒸気は、キャンバス内部に凝結する。
- d. 凝結水を包含したキャンバスの温度が上昇し、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包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、キャンバスは通気性があり、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、紙周囲の空間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、効率的に排出しなければならない。

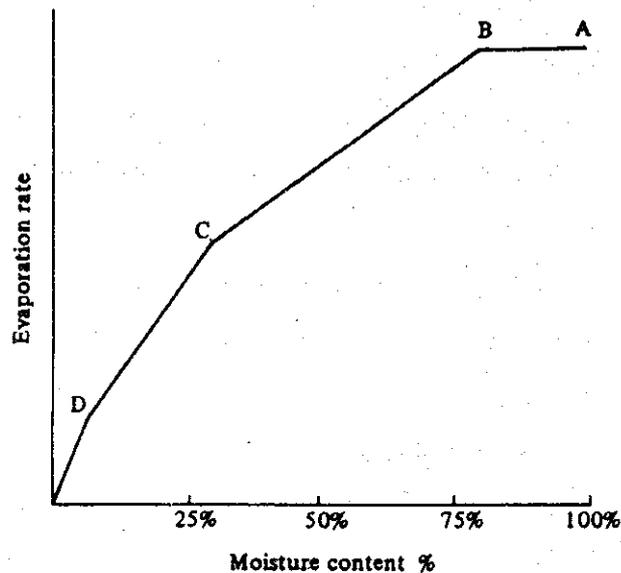
以上、ドライヤパートの乾燥機構の概要を述べたが、乾燥における紙層間の水分の動きについて理解しておくことは、効率的な乾燥を行う場合必要なことである。

## (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はい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 4.19 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。これは紙の方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 4.19 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：内部空隙間の水分が、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スの含有量や、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スやヘミセルロース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フロック結束繊維、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。

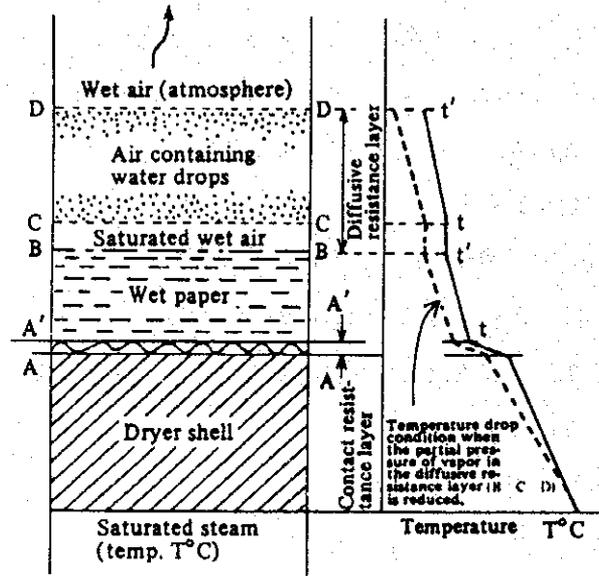
B)の項は、紙とシリンダの間の空気が問題となることが多い。湿紙に接する空気の条件と乾燥速度との関係について Figure 4.19 により説明する。

Figure 4.19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  $T$  °C を上げるか。
- b) 湿紙の温度  $t$  °C を下げるか。

である。

Figure 4.20 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

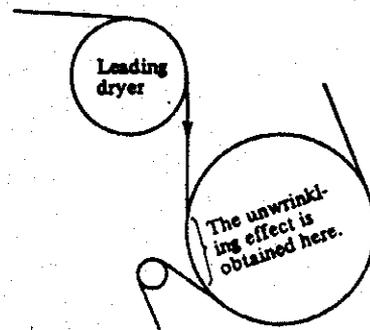
- a. シリンダ内面のフィルム抵抗
- b. シリンダ壁の抵抗
- c. シリンダ壁と紙の間の空気フィルム抵抗
- d. 紙層自身の抵抗

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 4.21に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 4.21 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、設備、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。

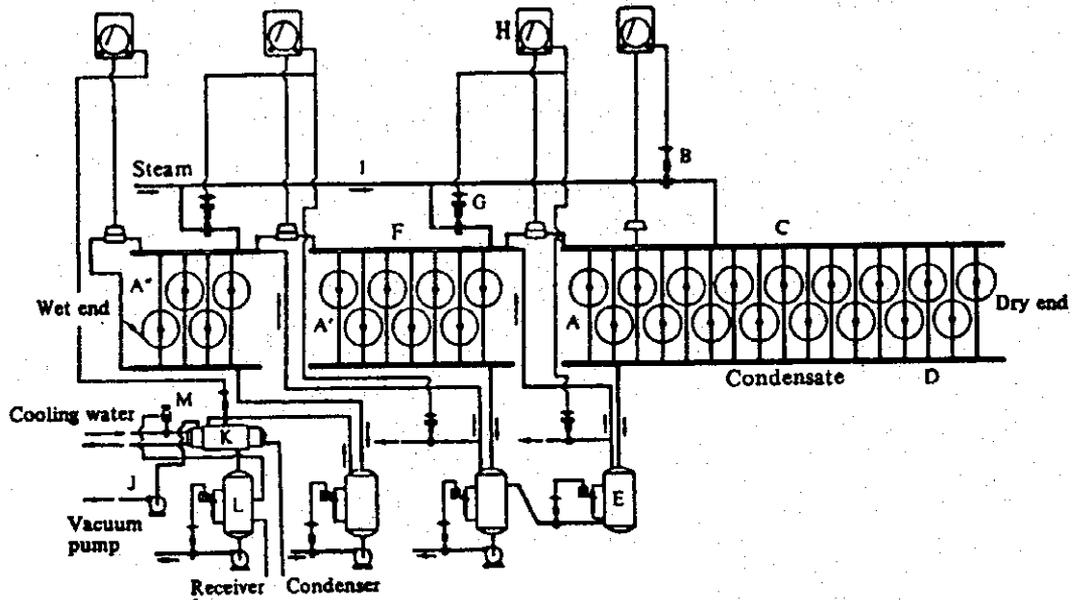
#### (4) スチームの給排システム

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なる。

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 4.22は典型的な3群のドレネージシステムであるブロールーシステムを示す。

Figure 4.22 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 4.22 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'〕のスチームヘッド〔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ブロースル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'〕のドレンヘッド圧力を負圧にすることも必要であり、同時に非凝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 4.11, Table 4.12 により求められる。

Table 4.11 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 4.12 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、ドライヤンリンド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、そ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、マシンフレームからの距離は、ソールプレート内側に対しては30~35 cmの位置にあることが必要である（Figure 4.23参照）。これはドライヤポケットからのペ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流するときは、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、紙水分の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。

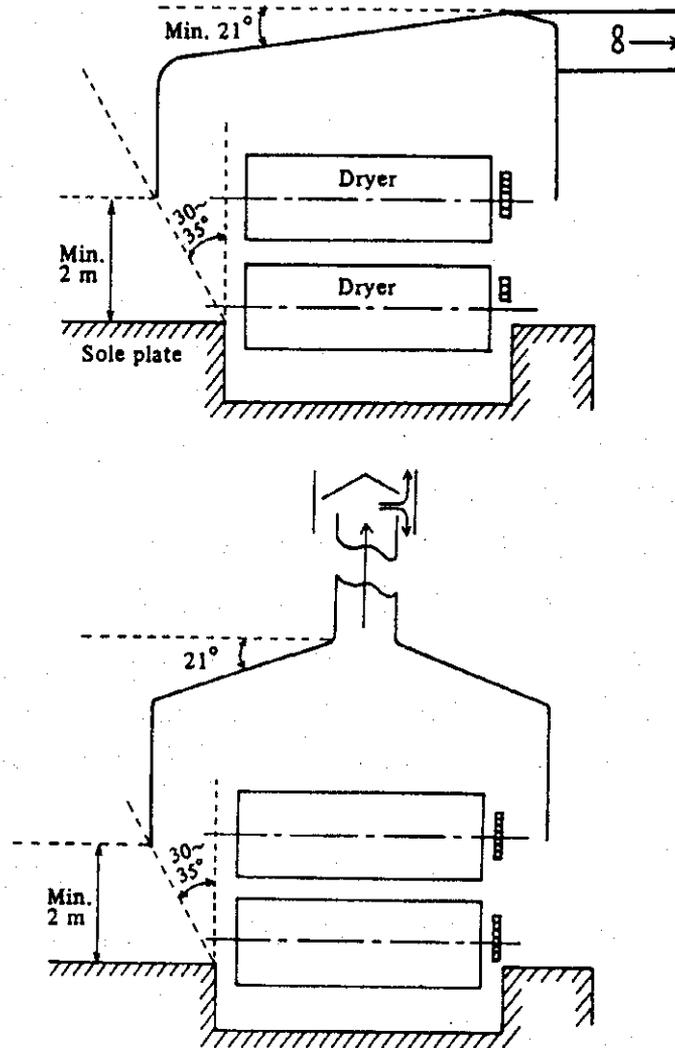
c. 通紙作業の邪魔にならない構造であること。

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 4.23 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、熱回収の計算も容易であるが、解放型フードの場合は、実際作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

W<sub>1</sub> : 入口水分

W<sub>2</sub> : 出口水分

G : 排気空気量 kg/h

X<sub>2</sub> : フード出口露点に対する絶対湿度 kg/kg

X<sub>1</sub> : フードに供給される新鮮空気の絶対湿度 kg/kg

X<sub>1</sub>は、立地によって変化するが、X<sub>2</sub>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。

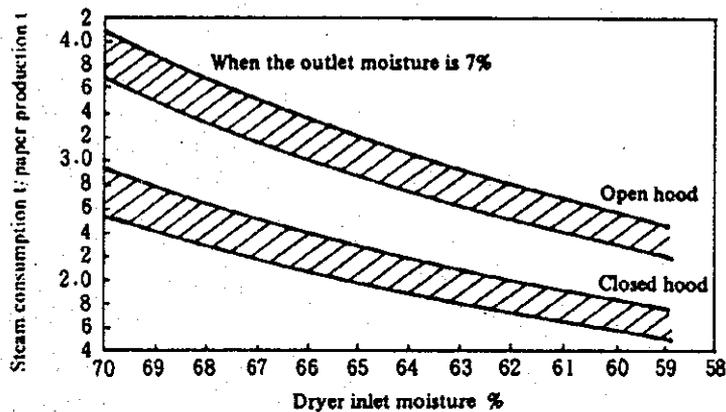
一般に紙1t当たり必要とされる空気量は、次のとおりである。

- ・フードのない抄紙機 74~80 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 4.24 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 4.24 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、温度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 4.25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 4.26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を吹き込むことも行われる。



#### 4.11 白水の有効利用

紙・パルプ産業はエネルギーと水の多消費産業である。

水の使用を減らすこと、すなわち白水を循環使用することは原料の流失を防ぎ、公害の対策となるばかりでなくエネルギーの流失を防ぐことで、歩留向上、省エネルギーとなって収益の向上に大きく寄与する。

Table 4.13 は日本の製紙工場の新水の使用量の減少を水消費原単位で示したものである。

**Table 4.13 Transition of the Unit Water Consumption of the Paper Mill in Japan**

Kind of paper	Year	1970	1980	1990
	General paper (ton/paper ton)		150	95
Paperboard (ton/paper ton)		100	50	45
Tissue paper (ton/paper ton)		200	150	120

新水の使用量が減少することにより系内の温度は上昇する。Table 4.14 は、150,000 ton/年の上質紙を生産するパルプ・紙一貫工場の、水原単位とヘッドボックスの温度及び抄紙機の蒸気原単位の推移を示すものである。

**Table 4.14 Transition of the Unit Water Consumption and Head Box Temperature**

	1960	1990
Unit water consumption (ton/paper ton)	175	87
Head box temperature (°C)	20	45
Paper machine unit steam consumption (ton/paper ton)	3.6	2.8

新水の節減でプロセス内の温度が上がり、かつ抄紙機の蒸気原単位が下がった。しかし、蒸気原単位が下がったのは水使用量の減少ばかりでなく、プレス機の改造効果も含まれていると思われるので一概には言えないが、ワイヤパートの温度上昇、プレス時の湿紙の温度上昇が脱水効果を促進したことは確かである。

白水減少の対策は、各機器通過の原料・白水の温度及び濃度を詳細に測定することである。特に洗滌機、濃縮機について、その白水側の温度、濃度に注目し、処理後の水質及びその用途を考慮して白水回収機の導入を計画する。回収機を採用することも白水再使用を推進する手段である。

#### 4.12 運転効率と省エネルギー

紙・パルプ産業は、装置産業であるため設備能力を十分発揮する状態で、長期間停止せずに連続運転することが理想的である。すなわち高い運転効率が最も経済的であり、省エネルギー効果が大きい。

特に抄紙工程は紙・パルプの一貫工場において最もエネルギーを多く消費する。すでに Table 4.9 において示したように、蒸気は全体使用量の40%以上、電力は50%以上に達している。

抄紙機の運転効率を高めるための徹底した対策が、省エネルギー対策となり、また、原価量減の方法である。

そのためには、次の諸点を実行することである。

- 1) 紙切れを無くすこと。
- 2) 抄紙機の故障による事故停止を無くすこと。
- 3) ワイヤ修理、毛布洗い、修理等による停止を無くすこと。
- 4) 設備機器、電気設備等の保守整備不足による事故停止を無くすこと。
- 5) パルプ部門、ボイラー部門、仕上部門等の関連部門の事故等による停止を無くすこと。
- 6) 電気会社の電圧による停止事故を無くすこと。停電に対しては顧客としての苦情を申し入れ、補償、再発防止の責を負わせること。
- 7) 購入原料、副資材、機器等の品質のバラツキ、納期遅れ等による運転障害を無くすこと。

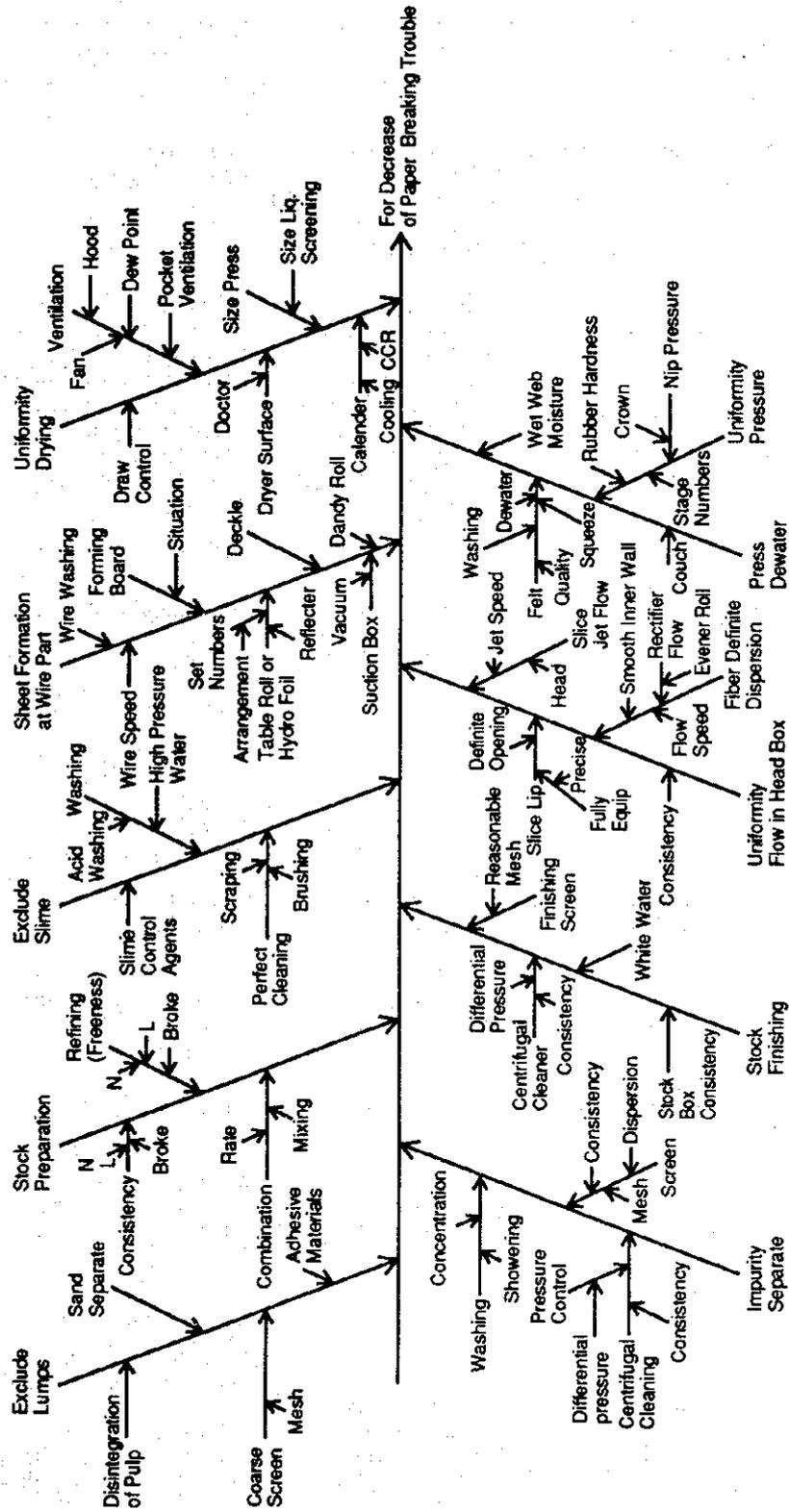
工場全体の管理体制を確立し、停止原因を分析し、再発防止に努めることの積み重ねによって達成出来る。

抄紙機で起こるトラブルのうち紙切れを取りあげ、その減少対策の方法を述べる。

- (1) 紙切れを無くすためには次のような手段を踏むとよい。
  - 1) 紙切れ発生の原因分析のために Figure 4.27 のような特性要因図をつくる。
  - 2) Table 4.15 に掲げたように発生場所を明確にし、切れた箇所と切れ口、切れ方から原因および対策を見つけ出す。
- (2) 抄紙機の運転効率管理の導入

紙切れを無くし故障を無くすことは、抄紙機の運転効率のみでなく、保全部門のPM効率管理はもとより関連各部門の効率管理が平行して実施されなければ進展しない。しかし、抄紙機部門が、自らの責任の範囲を明確にし、その範囲に対して十分責任ある対策をたて、他部門の責任に対しては、厳しくクレームしなければ、ミル全体の管理体制確立の気運は推進されない。

Figure 4.27 Cause and Effect Diagram of Paper Breaking



**Table 4.15 Causes for Paper Breaking and Remedies**

Places for paper breaking	Classifications	Causes	Measures	Equipment factors
<b>1. Wet part</b>				
(1) Couch	Fall from couch	Excess Moisture (Wet Insufficient strength) Trimming water cutting fault	Promotion of dewatering on wire	Dewater rectify on Wire Part Setup of Pick up roll High pressure of water jet
(2) Press	Breaking by press  Uneven dewatering	Crushing Roughened surface on plain roll Mixing of slime Mixing of adhesive substances Faulty formation Dirty blanket Uneven line pressure	Promotion of dewatering Roll surface repair Removing the slime Separation, removal and dispersion Formation correction Promotion of blanket washing  Roll crown correction	Line pressure up Grinding  Flow rectify in Head Box & Wire Part Washing by showering, squeeze and dewatering Grinding
(3) Wet end	Fall in wet end	Faulty drawing Excessive moisture Mixing of shives	Drawing adjustment Line pressure increase (Promotion of dewatering) Promotion of screening	Setup of high pressure
<b>2. Dryer part</b>				
(1) Yankee Dryer	Breaking due to faulty separation  Breaking due to intrusion of foreign substances Breaking by tension	Paper power attached  Damage on dryer surface Mixing of shives and impurities  Faulty drawing Faulty formation	Effective use of the doctor Polishing the surface  Promotion of screening  Drawing adjustment Correcting the formation	Dryer cleaner  Bronze doctor, Dryer grinding Strengthening of dedusting equipment of centricleaner, etc.  Flow rectify in Head Box & Wire Part
(2) Multi-dryer	Breaking by tension Edge breaking	Faulty drawing between groups Edge too dry Mixing of shives and impurities Trimming water cutting fault	Drawing adjustment  Improvement of dryer pocket Promotion of screening Water pressure increase	Pocket Ventilation Centricleaner, Fine Screen
<b>3. Calender part</b>				
	Crushing  Breaking by foreign materials Breaking by tension  Breaking in machine direction	Faulty formation  Incorrect roll crowing Mixing of shives and impurities Faulty drawing Faulty formation  Faulty formation and wrinkling Uneven drying and wrinkling	Correcting the formation Correct the roll crowing Promotion of screening Drawing adjustment Correcting the formation  Improvement of dryer ventilation Correcting the formation Removing the dryer pressure	Flow rectify in Head Box and Wire Part Grinding Centricleaner, Fine Screen  Flow rectify in Head-Box and Wire Part

抄紙機運転効率はこの様に考えることができる。

$$\begin{aligned}\text{抄紙機運転効率}(\eta_1) &= \frac{\text{実際稼働時間(分)}}{\text{稼働時間(分)}} \times 100(\%) \\ &= 1 - \frac{D}{A-B-C} = \frac{A-B-C-D}{A-B-C} \times 100(\%)\end{aligned}$$

A：抄紙機の生産計画による運転時間(分/日)

B：外部要因、電力会社等の原因による停電等の停止時間(分)

C：内部要因、機械故障、電気事故等による停止時間(分)

D：抄紙部門の責任による停止時間(分)

Aは年間又は月間の生産計画による時間で、予算で決められている。

Bは電力会社の責任によるもので、損害補償請求ができる。

Cは設備・保全部門、資材購入部門等の責任によるもの。

Dは抄紙部門の責任によるもので紙切れがドロー調整のミス、地合調整不良の為に起こしたり、ガイドロールに異物が付着してワイヤーに傷がついて修理の為に停止に要した時間である。Dは更にxは紙切れ、yはワイヤ修理、zは毛布修理と細分して管理するのもよりよい方法である。

機械故障、電気事故による停止を無くすためには、予防保全効率を設定して管理することができる。すなわち

$$\begin{aligned}\text{予防保全効率}(\eta_2) &= \frac{\text{稼働時間(分)}}{\text{実生産計画時間(分)}} \times 100(\%) \\ &= 1 - \frac{C}{A-B-D} = \frac{A-B-C-D}{A-B-D} \times 100(\%)\end{aligned}$$

各組織が、それぞれの効率管理体制を整え、それぞれが効率100%に向って管理することにより工場の総効率( $\eta$ )は

$$\eta(\%) = (y_1 \times y_2 \times y_3 \times \dots) (\%)$$

によって、最大限に発揮され、省エネルギーも推進する。



## 5. ワークショップテキスト

---

目 次

---

1. 想定工場
2. 想定建築物
3. エネルギー管理
4. 産業分野のエネルギー管理方法
5. 工場の省エネルギー診断方法
6. 既設建築物の省エネルギー推進方法
7. ボイラ運転の省エネルギー
8. スチーム取扱の省エネルギー
9. 工業炉運転の省エネルギー
10. 電気取扱の省エネルギー
11. 想定工場解答集
12. 想定建築物解答集



タイ王国省エネルギー計画アフターケア調査

エネルギー診断技術ワークショップテキスト

---

# 1. 想定工場

---

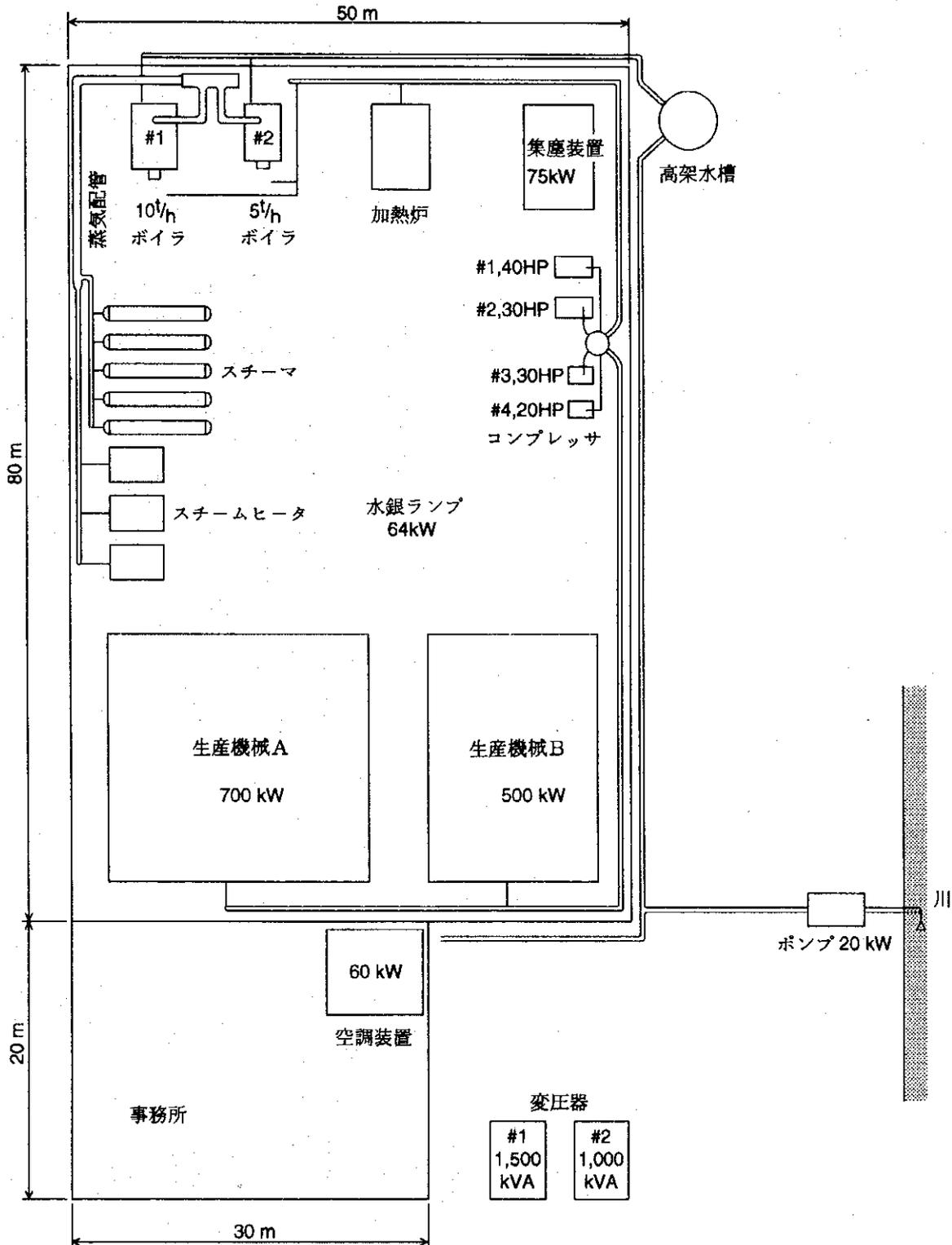
1994年3月

国際協力事業団 (JICA)

財団法人 省エネルギーセンター (ECCJ)



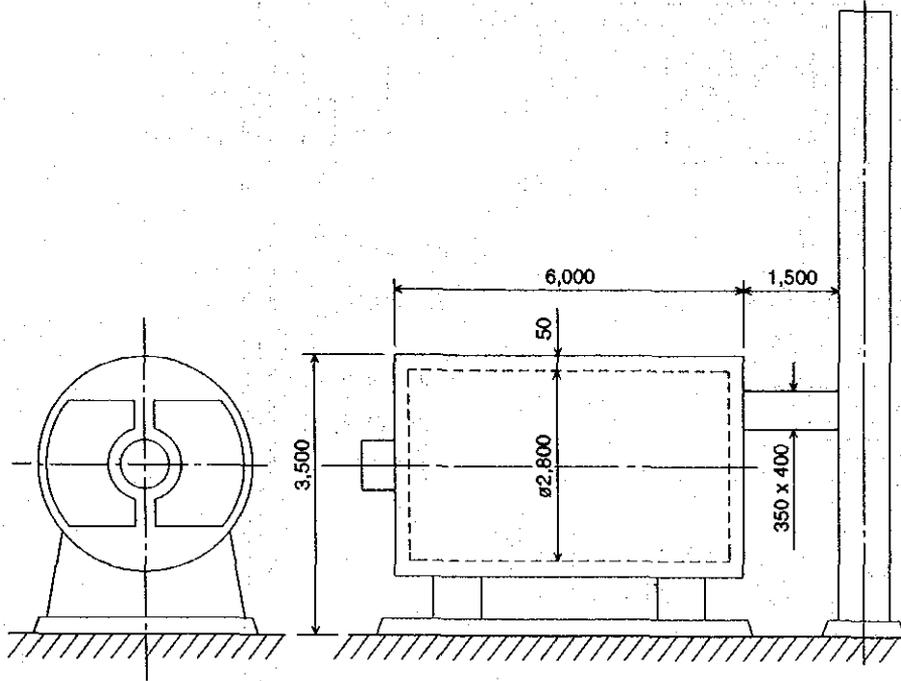
# Factory Layout



## 1. No.1 ボイラの仕様

(1) タイプ : 3パス炉筒煙管ボイラ

(2) 寸法 (図示)



(3) 容量 : 10 t/h 8 kg/cm<sup>2</sup> G (常用)  
10 kg/cm<sup>2</sup> G (設計)

(4) 分析データ

- 1) 排気ガス温度 : 300℃
- 2) 排気ガス中のO<sub>2</sub> % : 8 %
- 3) 本体の表面温度 : 150℃
- 4) 水質

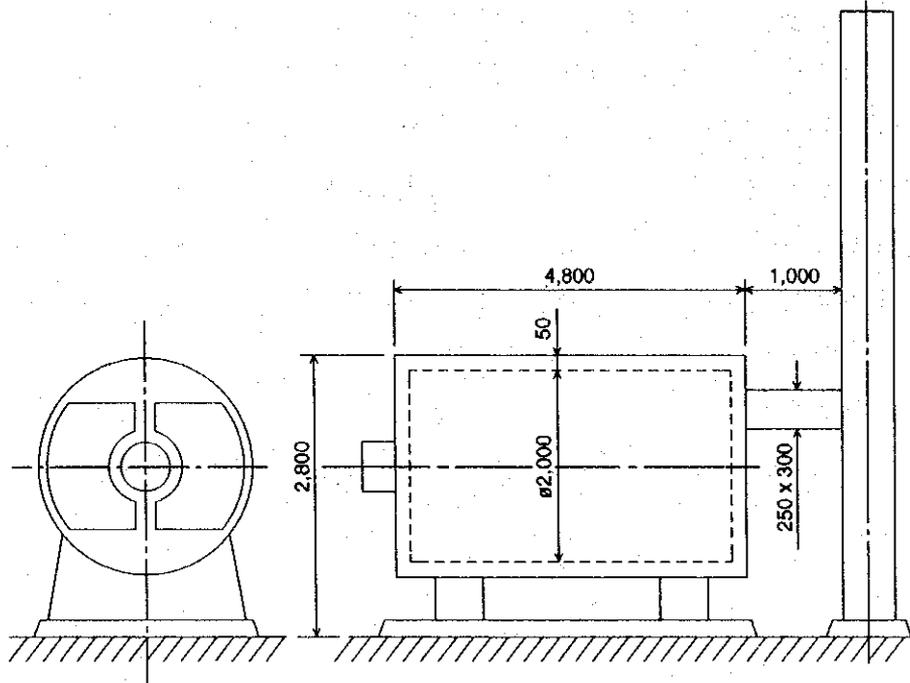
	給 水	ボイラ水
pH	7	10
伝導率	200 μ S/cm	6,000 μ S/cm
硬 度	200 mgCaCO <sub>3</sub> /ℓ	

- 5) 燃料 : A重油 H<sub>i</sub> = 9,700kcal/kg S = 0.5 wt %
- 6) 空気予熱器 : 無し
- 7) エコノマイザ : 無し
- 8) 復水回収 : 無し

- 9) 燃料消費量 : 811.7 kg/h
- 10) 水消費量 :  $11.1 \times 10^3$  kg/h
- 11) 周囲温度 : 33℃
- 12) 燃料温度 : 33℃
- 13) 給水温度 : 20℃
- 14) 燃焼用空気温度 : 33℃
- 15) バーナ・タイプ : 圧縮空気噴霧バーナ
- 16) 吹出し率 : 10 %
- 17) 運転時間 :  $10 \text{ h/day} \times 25 \text{ day/m} \times 12 = 3,000 \text{ h/y}$
- 18) ボイラ・チューブのスケールの厚さ : 1 mm
- 19) 蒸気の乾き度 : 98 %

## 2. No.2 ボイラの仕様

- (1) タイプ : 3パス炉筒煙管ボイラ  
 (2) 寸法 (図示)



- (3) 容量 : 5 t/h 8 kg/cm<sup>2</sup>G (常用)  
 10 kg/cm<sup>2</sup>G (設計)

### (4) 分析データ

- 1) 排気ガス温度 : 300℃  
 2) 排気ガス中のO<sub>2</sub> % : 8 %  
 3) 本体の表面温度 : 150℃  
 4) 水質

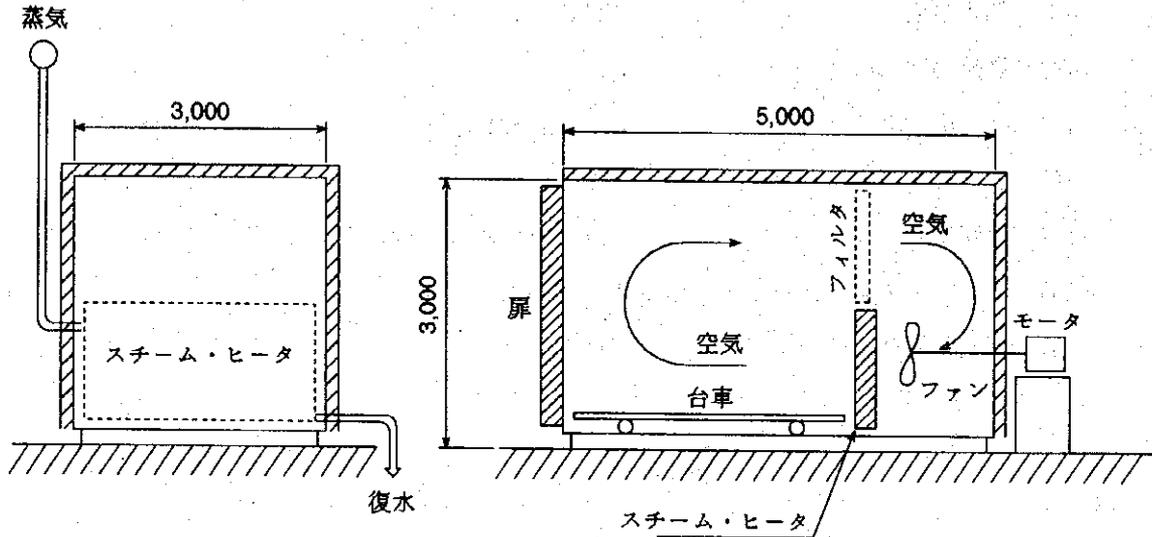
	給 水	ボイラ水
pH	7	10
伝導率	200 μ S/cm	6,000 μ S/cm
硬 度	200 mgCaCO <sub>3</sub> /ℓ	

- 5) 燃料 : A重油 H<sub>i</sub> = 9,700 kcal/kg S = 0.5 wt %  
 6) 空気予熱器 : 無し  
 7) エコノマイザ : 無し  
 8) 復水回収 : 無し  
 9) 燃料消費量 : 406.2 kg/h

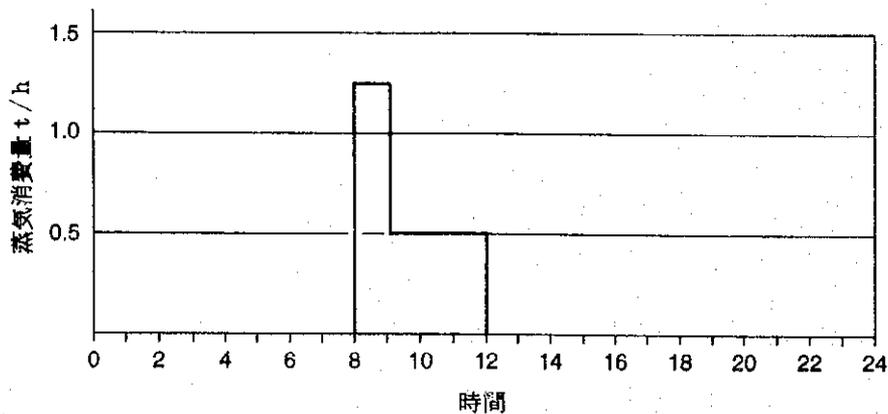
- 10) 水消費量 :  $5.6 \times 10^3$  kg/h
- 11) 周囲温度 : 33℃
- 12) 燃料温度 : 33℃
- 13) 給水温度 : 20℃
- 14) 燃焼用空気温度 : 33℃
- 15) バーナ・タイプ : 圧縮空気噴霧バーナ
- 16) 吹出し率 : 10 %
- 17) 運転時間 : 10 h/day  $\times$  25 day/m  $\times$  12 = 3,000 h/y
- 18) ボイラ・チューブのスケールの厚さ : 1 mm
- 19) 蒸気の乾き度 : 98 %

### 3. 蒸気加熱装置

- (1) タイプ : 加熱空気循環  
 (2) 寸法

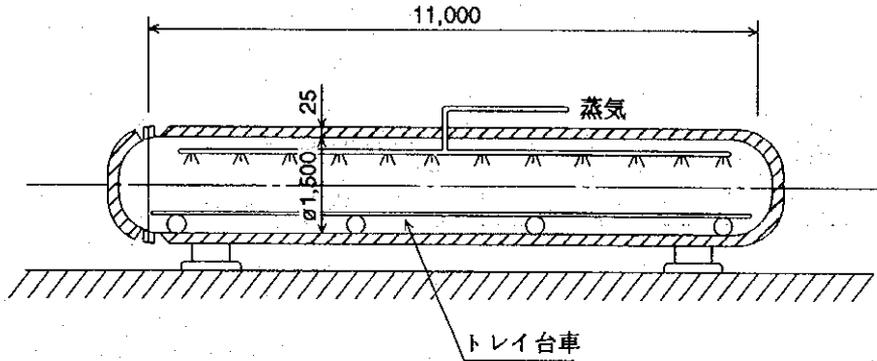


- (3) 蒸気消費量 :  $0.05 \text{ t/h} \times 3 \text{ 基}$  (最大消費量: 起動時に  $1.3 \text{ t/h/unit}$ )  
 (4) 加熱材料温度 :  $33^\circ\text{C} \rightarrow 130^\circ\text{C}$   
 (ゴム) 重量  $2.5 \text{ t}$   
 比熱  $0.5$   
 (5) 台車 (鋼製) : 重量  $4 \text{ t}$   
 比熱  $0.1$   
 (6) 周囲温度 :  $33^\circ\text{C}$   
 (7) 蒸気圧 :  $6.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$   
 (8) 断熱材 :  $15 \text{ mm}$  グラスウール  
 (9) 再循環空気温度 :  $145^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$   
 (10) 加熱時間 :  $4 \text{ 時間}$   
 (11) 負荷曲線

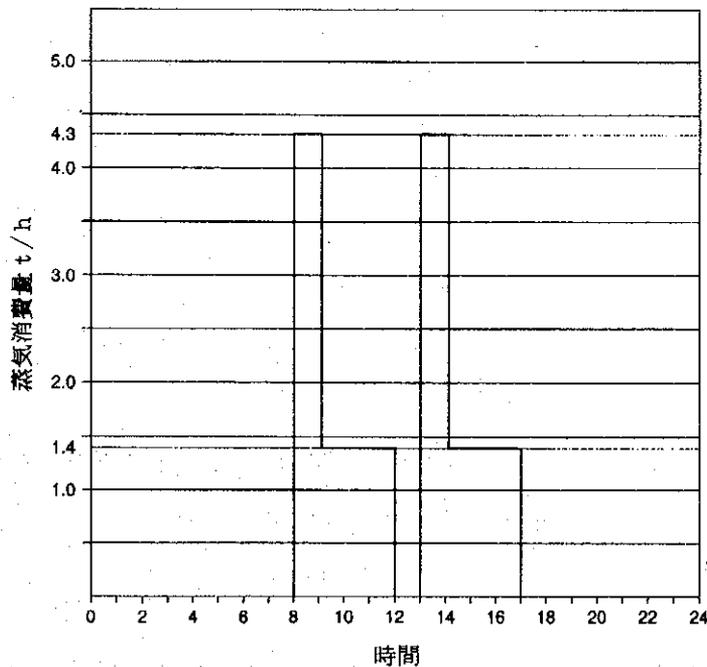


4. スチーマ

- (1) タイプ : 直接蒸気加熱  
 (2) 寸法

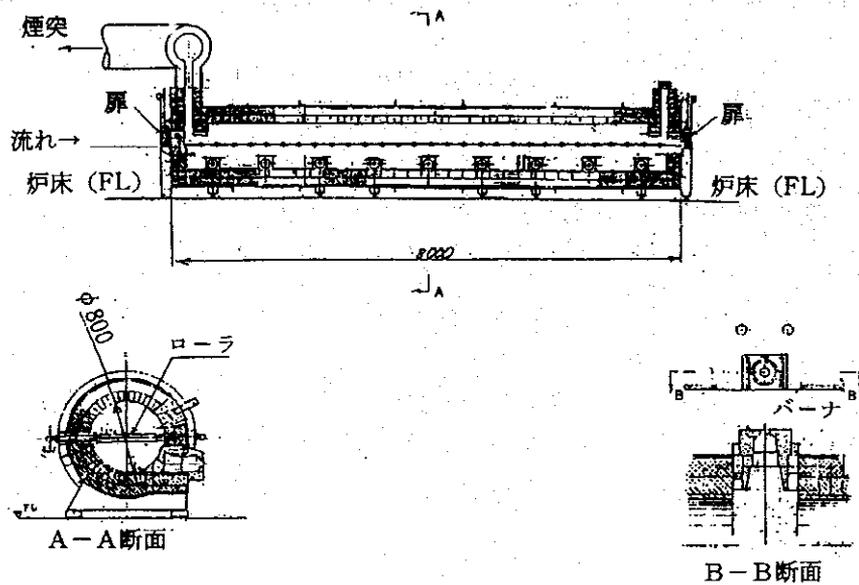


- (3) 蒸気消費量 : 1.4 t/h/5基 (最大消費量: 起動時に5基当たり4.3 t/h)  
 (4) 加熱材料温度 : 30℃ → 150℃  
 (ゴム) 重量 2.5 t  
 比熱 0.5  
 (5) 台車 (鋼製) : 重量 2 t  
 比熱 0.1  
 (6) 周囲温度 : 33℃  
 (7) 供給蒸気圧 : 5.5 kg/cm<sup>2</sup> G  
 (8) 断熱材 : 25 mm グラスウール  
 (9) 加熱時間 : 4 時間  
 (10) 負荷曲線



## 5. 加熱炉

- 1) タイプ : ローラースタイプ、焼入れ用棒鋼加熱炉  
 2) 寸法



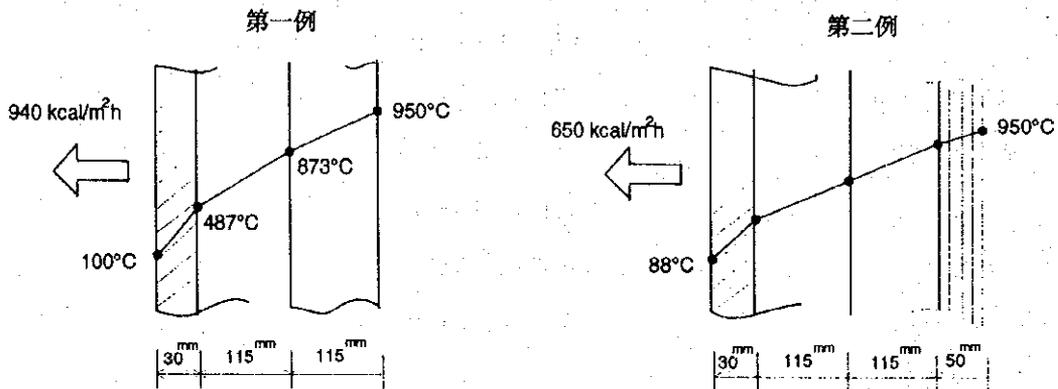
- 3) 容量 : 400 kg/hr  
 4) 燃料 : A重油  $H_1 = 9,700$  kcal/kg  
 理論的空気量  $10.65$  m<sup>3</sup>N/kg  
 排ガス量 (空気比=1)  $11.37$  m<sup>3</sup>N/kg  
 5) 燃料消費量 : 28.8 kg/h  
 6) 燃焼用空気温度 : 33℃  
 7) 燃料温度 : 33℃  
 8) 空気比 : 1.6  
 9) 排ガス温度 : 1000℃  
 10) 炉の温度 : 950℃  
 11) 材料温度 : 33℃→950℃  
 12) 炉本体の表面温度 : 100℃  
 13) 炉壁構造  
     耐火れんが : SK33……115 mm (添付したヒントを参照のこと)  
     断熱れんが : B 6……115 mm  
     シリカ・ボード……………30 mm

- 14) 他の熱損失
- ローラを通じて : 200 kcal/hr × 30セット
  - 冷却水 : 1 m<sup>3</sup>/hr 30℃ → 40℃
  - 排ガスの吹き出し : 炉内圧力 5 mmH<sub>2</sub>O  
開口部 800 mm × 200 mm × 2
- 15) 発生スケール : 7 kg/t
- 16) 平均定圧比熱
- 空気 : 0.31 kcal/m<sup>3</sup>N℃
  - 排ガス : 0.33 kcal/m<sup>3</sup>N℃
  - スケール : 0.215 kcal/m<sup>3</sup>N℃
- 17) 酸化反応熱 (Fe) : 1,335 kcal/kg

— ヒント —

内張りの影響

〈例〉



	第一例	第二例
 セラミックファイバ	—	0.15
 耐火れんがSK33	1.4	1.4
 断熱れんがB6	0.28	0.25
 シリカボード	0.072	0.066

- 空気比は1.2まで削減できるであろう。
- ダンパを調整して炉内圧力を 5 mmH<sub>2</sub>O から 2 mmH<sub>2</sub>O にする。
- 空気比1.2ではスケールが空気比1.6の70%に減少するであろう。
- 吹き出し量は

$$13,990 \sqrt{\frac{273}{273 + t_g}} \times \sqrt{P \text{ mmH}_2\text{O}} \times C_p$$

但し、  $t_g$  = 排ガス温度 (°C)

$p$  = 炉内圧力 (mmH<sub>2</sub>O)

$C_p$  = 比熱 (kcal/m<sup>3</sup>N°C)

表 ガスの定圧比熱の平均

温度(℃)	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Air
0	0.305	0.311	0.312	0.311	0.341	0.387	0.424	0.310
100	0.307	0.311	0.315	0.312	0.344	0.412	0.445	0.311
200	0.309	0.312	0.320	0.313	0.348	0.432	0.464	0.312
300	0.309	0.313	0.325	0.315	0.352	0.450	0.481	0.315
400	0.310	0.316	0.330	0.318	0.357	0.466	0.494	0.318
500	0.311	0.319	0.334	0.321	0.363	0.480	0.507	0.321
600	0.312	0.321	0.339	0.325	0.369	0.493	0.518	0.324
700	0.313	0.325	0.343	0.329	0.375	0.504	0.527	0.328
800	0.314	0.329	0.347	0.332	0.381	0.515	0.535	0.331
900	0.316	0.331	0.351	0.335	0.387	0.523	0.542	0.334
1,000	0.317	0.334	0.351	0.338	0.393	0.532	0.548	0.338
1,100	0.319	0.338	0.356	0.341	0.400	0.540	0.554	0.340
1,200	0.321	0.340	0.359	0.344	0.406	0.547	0.559	0.343
1,300	0.323	0.342	0.362	0.346	0.411	0.553	0.563	0.345
1,400	0.325	0.345	0.361	0.348	0.418	0.559	0.567	0.348
1,500	0.326	0.347	0.366	0.351	0.423	0.565	0.570	0.350
1,600	0.328	0.350	0.368	0.353	0.428	0.570	0.573	0.353
1,700	0.330	0.351	0.370	0.355	0.433	0.575	0.576	0.354
1,800	0.332	0.353	0.372	0.357	0.439	0.579	0.579	0.356
1,900	0.334	0.354	0.374	0.358	0.443	0.583	0.581	0.358
2,000	0.336	0.356	0.376	0.360	0.448	0.587	0.583	0.359

炉の価格

1. ケーシング、扉、煙道、煙突、デッキ、等	4,500,000
2. 燃焼装置	3,500,000
3. ローラおよび駆動装置	10,000,000
4. 耐火物	7,500,000
5. 計装設備	10,000,000
6. 据付け	12,000,000
合 計	¥47,500,000

省エネルギーのための資本費用

1. 熱回収装置（希釈ファンを含む）	3,000,000
2. ダンパ制御装置	2,000,000
3. 加熱空気用バーナ装置	2,000,000
4. 内張り	2,000,000
5. 加熱空気ダクトの断熱	800,000
6. 人件費 10人・10日	4,000,000
合 計	¥12,000,000

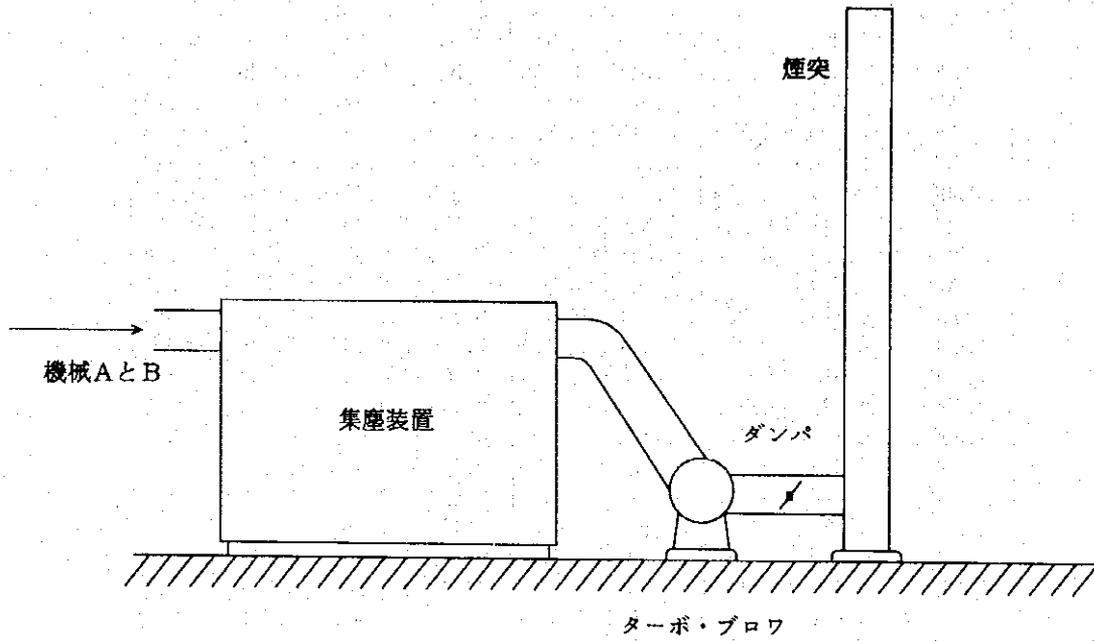
投資回収

$$(33.3-18.0) \times 7,010 \text{ h/year} = 107.253 \text{ h/year}$$

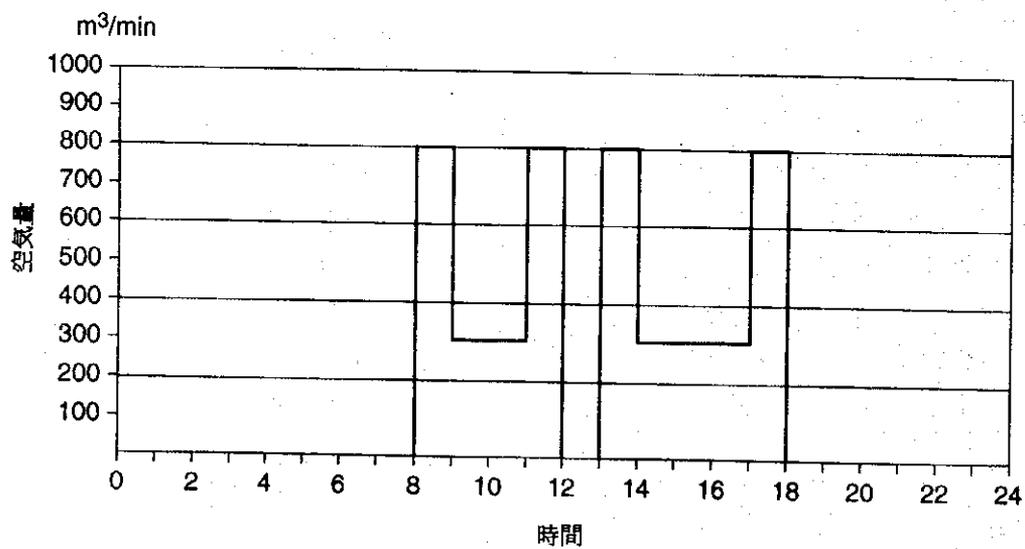
$$12,000,000 / 107.253 \times ¥40.7 = 2.74 \text{ years}$$

## 6. 集塵装置のプロワ

(1) タイプ : (直結) ターボ型



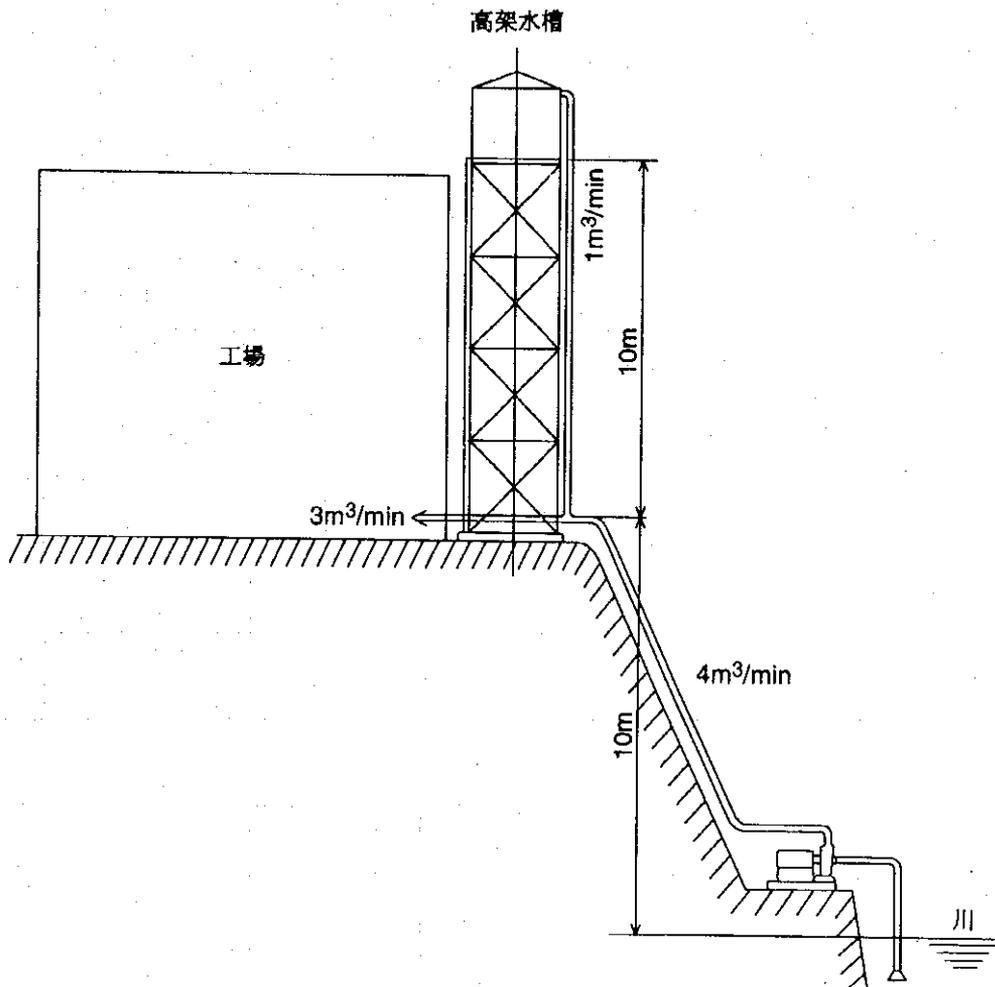
- (2) 静圧 : 150 mmAq
- (3) 空気量 : 800 m<sup>3</sup>/min - 300 m<sup>3</sup>/min  
吐出しダンパで制御する(800 m<sup>3</sup>/minの時ダンパは100%開放)
- (4) プロワの効率 : 0.7
- (5) モータタイプ : インダクション・モータ
- (6) モータの容量 : 75 kW
- (7) 負荷曲線



## 7. ポンプ

(1)

: (汎用型) 片吸込み渦巻ポンプ

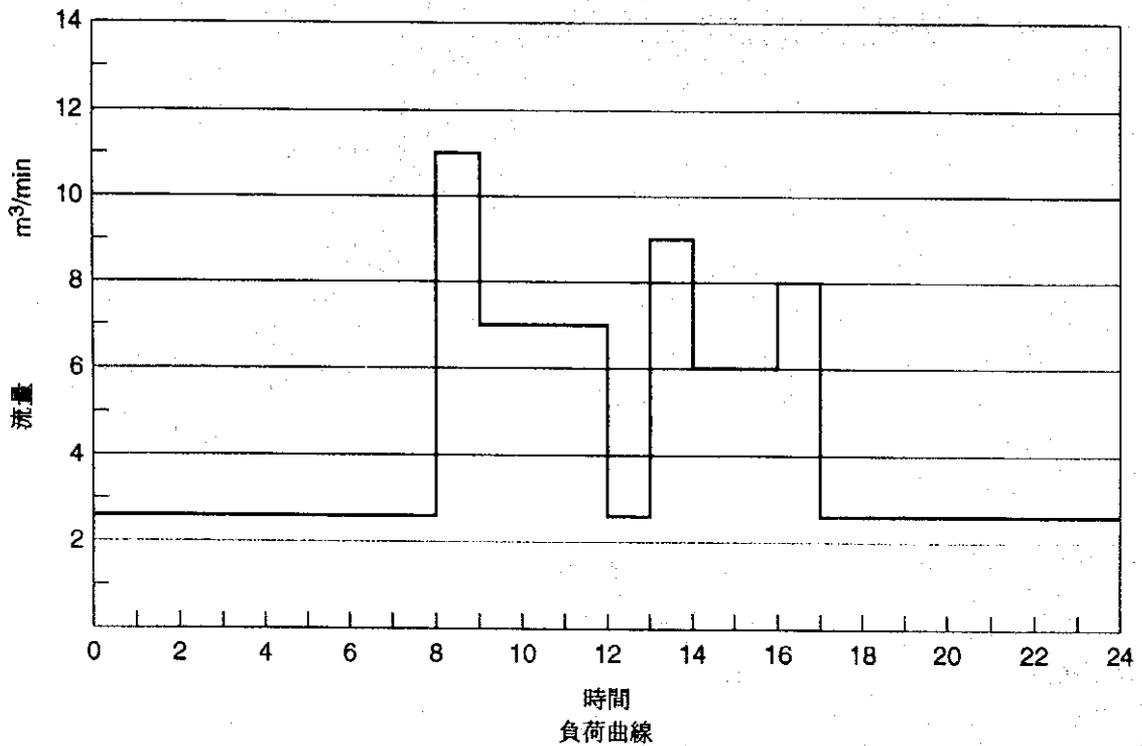


- (2) モーターの容量 : 22 kW 連続運転
- (3) 流量 :  $4 \text{ m}^3/\text{min} \times 20 \text{mAq}$
- (4) 水温 : 20°C

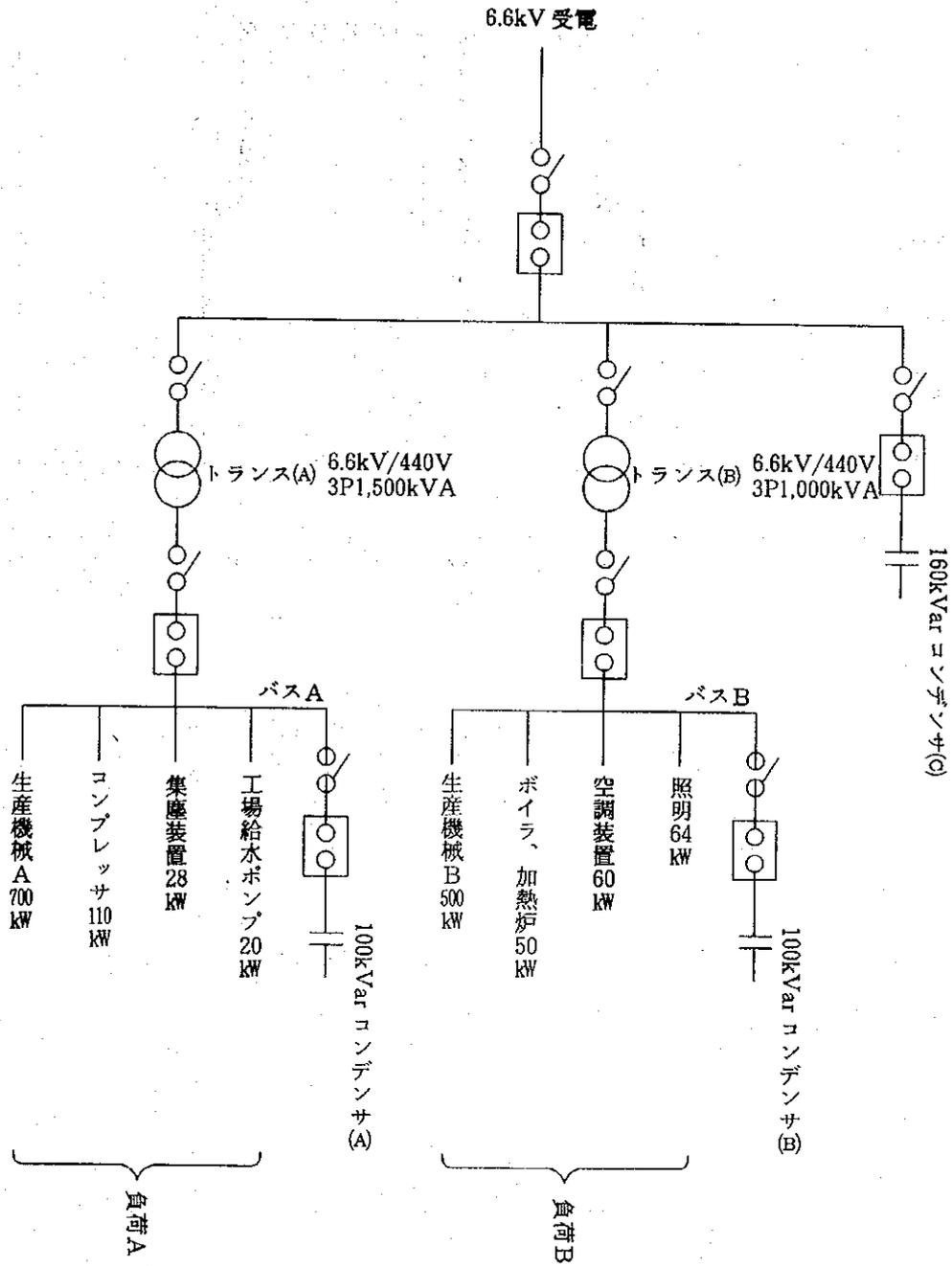
8.~11. コンプレッサー

設備番号	8	9	10	11		
タイプ	スクリュウ	スクリュウ	往復動	往復動		
容量 (ps)	40	30	30	20		
吸気温度 (℃)	50	50	50	50		
吐出圧力 kg/cm <sup>2</sup>	7	7	7	7	合計	
流量 m <sup>3</sup> /min	4.0	3.2	3.0	1.8	12	
出力 (kW)	負荷時	30	25	25	18	98
	無負荷時	15	13	6.0	4.0	38

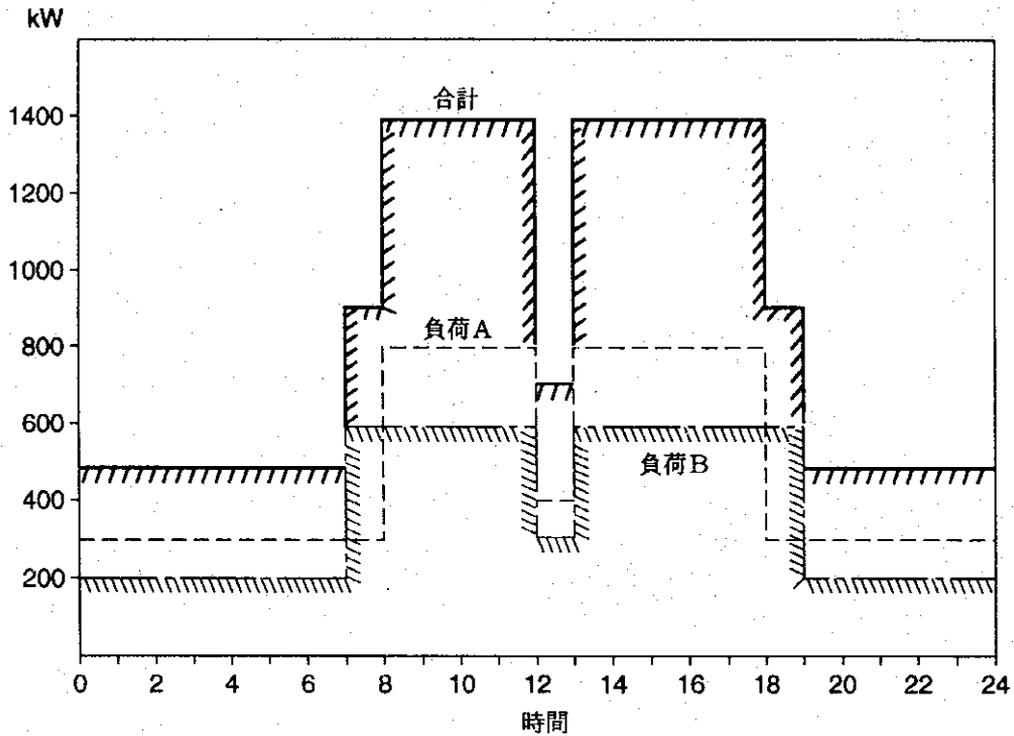
使用機の側の最高圧力：5 kg/cm<sup>2</sup>g



## 12. 変圧器



### 13. 負荷曲線



(1) Aの負荷

時間	0-8	8-12	12-13	13-18	18-24
kW	300	800	400	800	300
p.f. %	83	85	85	85	83

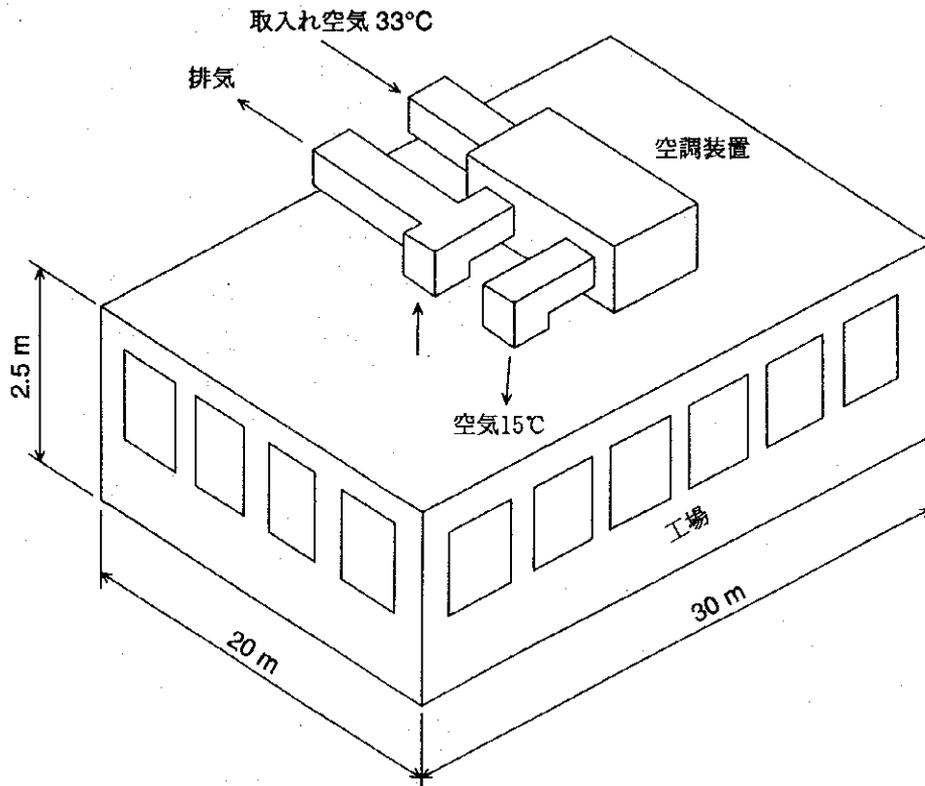
(2) Bの負荷

時間	0-7	7-12	12-13	13-19	19-24
kW	200	600	300	600	200
p.f. %	89	86	88	86	89

(3) 変圧器の損失

変圧器	無負荷損失	(全負荷時の)銅損
1,500 kVA	4.5 kW	16.5 kW
1,000 kVA	2.5 kW	12.5 kW

#### 14. 空調装置



- (1) 部屋の面積 : 600 m<sup>2</sup>
- (2) 部屋の高さ : 2.5 m
- (3) 部屋の容積 : 1,500 m<sup>3</sup>
- (4) 屋外温度 : 33°C (R.H 70%)
- (5) 屋内温度 : 23°C (R.H 50%)
- (6) 空調装置出口温度 : 15°C
- (7) 空気循環用ブロワ : 20 kW
- (8) 冷凍機のcop : 3.0



## 16. 電気料金

(1) 月当たりの電気料金 (パーツ/m) = 需要定額料金 + 電力従量料金 + 力率料金

需要定額料金 = 契約需要 (kW) × 単位需要料金 (パーツ/kW・m)

電力従量料金 = 月当たりの電力消費量 (kWh/m) × 単位電力料金 (パーツ/kWh)

力率料金 = 15.00パーツ / 契約需要の63%を越える分のkVar

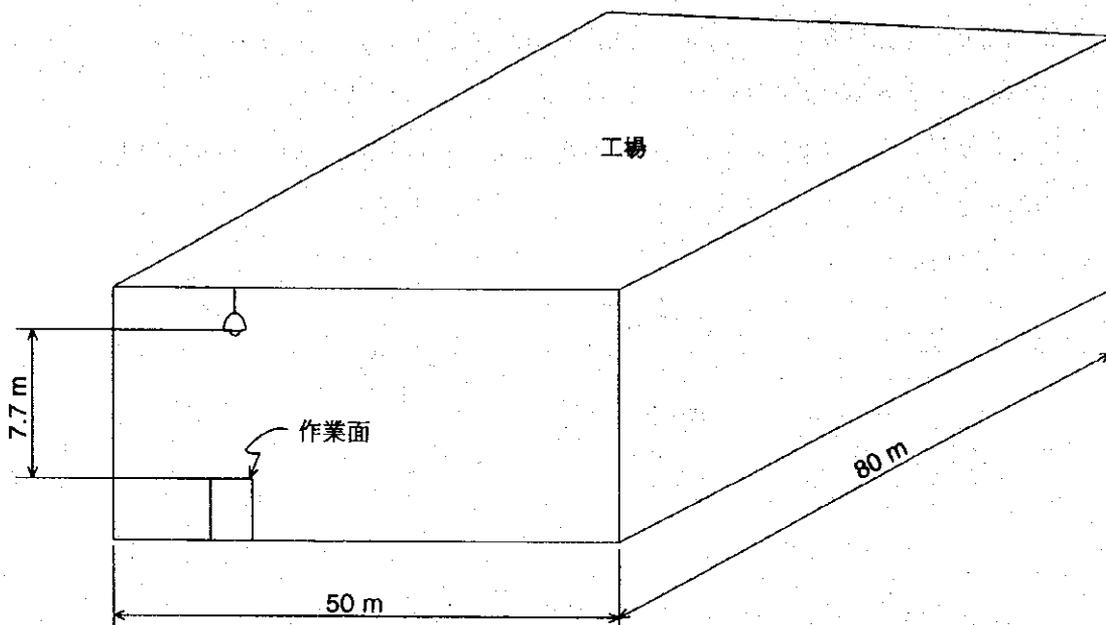
例 (MEA)

電圧 kV	需要定額料金 パーツ/kW	電力量料金 パーツ/kWh
3.1.1 69kV 以上	188.00	1.03
3.1.2 12-24	210.00	1.07
3.1.3 12 未満	237.00	1.10

(2) 次の電力使用状況の工場の電力料金を計算し、料金低減対策があれば対策案を述べよ。ただし、15分需要とし、上記の表を使用して電気料金を計算する。配電電圧は随時選定できることとする。

例	契約分類 電圧 kV	契約需要 (実電力) kW	毎月の電力消費 kWh	最大需要 (相対電力) kVar
1	3.1.3 12未満	250	125,000	183
2	3.1.3 12未満	500	250,000	300
3	3.1.2 12-24	500	250,000	300
4	3.1.2 12-24	750	250,000	400
5	3.1.2 12-24	1,200	330,000	550

17. 照明



- (1) 照明面積 :  $80\text{ m} \times 50\text{ m} = 4,000\text{ m}^2$
- (2) 作業面からの照明源の高さ : 7.7 m
- (3) ランプ : 蛍光水銀灯 400W (60lm/W)  $\times 150$
- (4) 照明基準 : 500 lx
- (5) 反射率 : 床 10 %  
天井 30 %  
壁 20 %
- (6) 照明率表

床からの反射率%		10							
天井からの反射率%		70		50			30		
壁からの反射率%		40	20	60	40	20	60	40	20
室 指 数	KR=0.60	0.36	0.32	0.41	0.35	0.31	0.40	0.35	0.31
	KR=0.80	0.45	0.41	0.50	0.44	0.40	0.48	0.43	0.40
	KR=1.00	0.52	0.48	0.56	0.51	0.48	0.54	0.50	0.47
	KR=1.25	0.57	0.53	0.60	0.56	0.52	0.58	0.54	0.51
	KR=1.50	0.62	0.58	0.64	0.60	0.57	0.62	0.59	0.56
	KR=2.00	0.67	0.64	0.68	0.65	0.62	0.66	0.63	0.61
	KR=2.50	0.70	0.67	0.71	0.68	0.66	0.68	0.66	0.64
	KR=3.00	0.72	0.70	0.72	0.70	0.68	0.70	0.68	0.67
	KR=4.00	0.75	0.73	0.75	0.73	0.71	0.72	0.71	0.69
	KR=5.00	0.77	0.75	0.76	0.74	0.73	0.73	0.72	0.71
	KR=7.00	0.79	0.77	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74	0.73
	KR=10.00	0.80	0.79	0.78	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75

- (7) 保全係数 : 0.8

## 18. 蒸気配管

- (1) パイプの直径 : 12インチ
- (2) パイプの長さ : 200 m
- (3) 断熱 : 20 mm のグラスウール
- (4) 蒸気圧 : 使用圧力 8 kg/cm<sup>2</sup> G.
- (5) 蒸気の漏れ :

パイプ・ライン上の10カ所のフランジとネジ継ぎ手からの蒸気の漏れ。  
それは直径1.5 mm の10個の穴からの漏れに略匹敵する。

- (6) 断熱材の剝がれ :

パイプ・ラインの上には多少破損した断熱材がある。

パイプ・ライン上の破損した断熱材の総延長は約10mの長さである。

・排出蒸気量は下式の通りである。

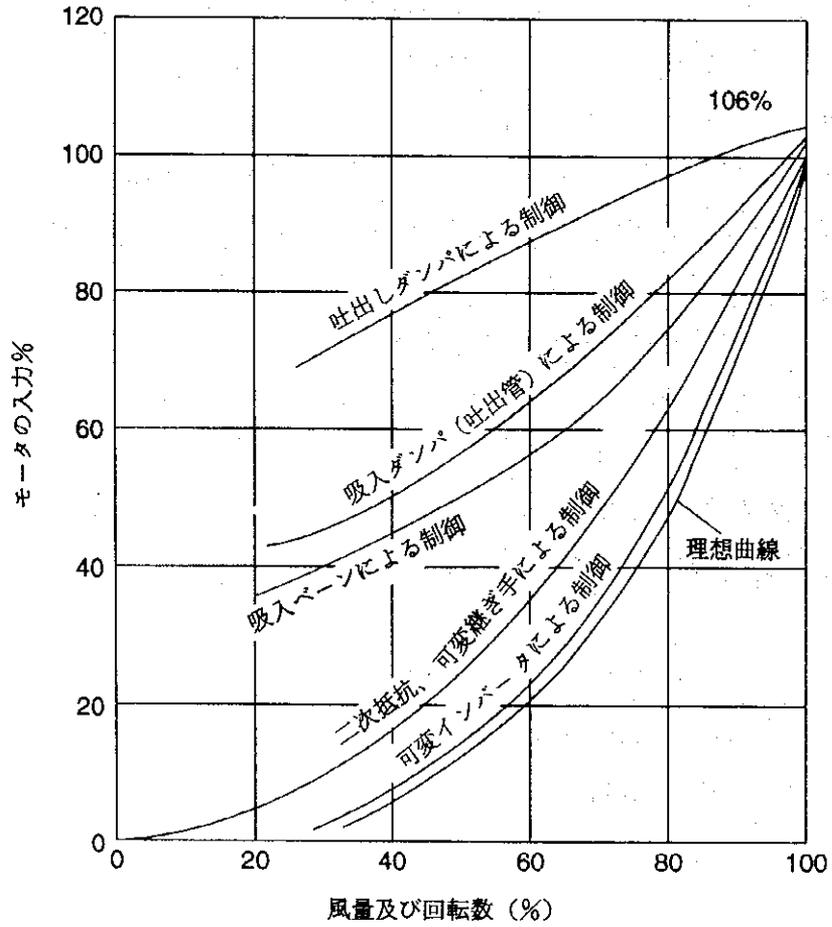
$$1.99 \times A \times \sqrt{\frac{100 \cdot P}{V''}} \times 3,600$$

但し、A : 穴の面積 (m<sup>2</sup>)

P : 蒸気圧 (kg/cm<sup>2</sup> G · abs)

V'' : 蒸気の比容積 (m<sup>3</sup>/kg)

19. 負荷によるモータの電力消費曲線



タイ王国省エネルギー計画アフターケア調査  
エネルギー診断技術ワークショップテキスト

---

## 2. 想定建築物

---

1994年3月

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



# 1. 建築物の概要

名称：Aビル

場所：タイ国, バンコック

用途：事務所

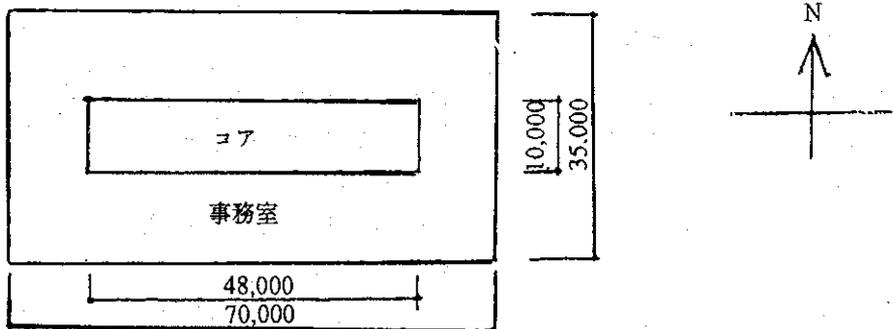
延床面積：24,500m<sup>2</sup>

階数：地上10階（地下無し）

構造：鉄骨構造

基準階平面図：下に示す通り（10階総てに共通であると仮定）

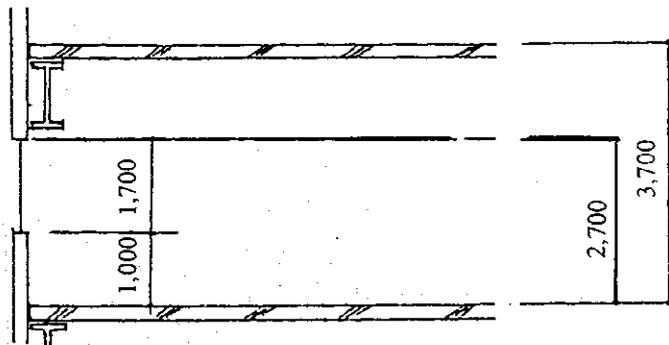
(図)：(1)：コア, (2)：事務室



階高：3,700 mm

天井高さ：2,700 mm

窓部断面：(図)



窓の面積比：46%（即ち、窓が46%で外壁が54%）

窓ガラス：普通ガラス（透明）

熱貫流率

K：kcal/m<sup>2</sup>hC（ブラインド開放状態で）

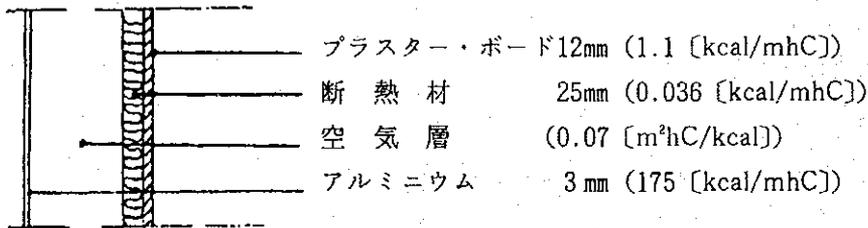
K：kcal/m<sup>2</sup>hC（ブラインド閉鎖状態で）

日射熱取得率

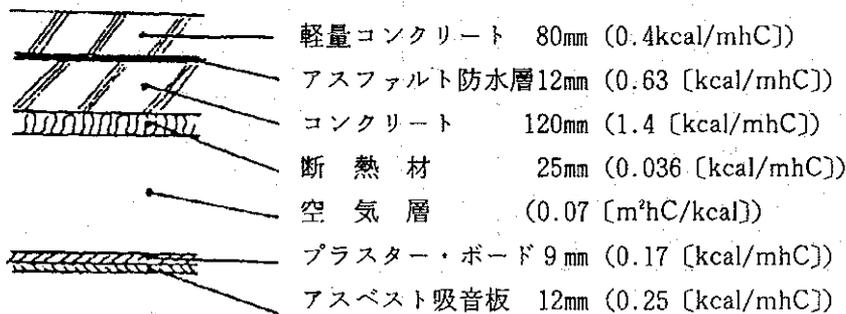
SC:ND (ブラインド開放状態で)

SC:ND (ブラインド閉鎖状態で)

外壁構造: (日射吸収率70%)



屋根構造: (太陽熱吸収率70%)

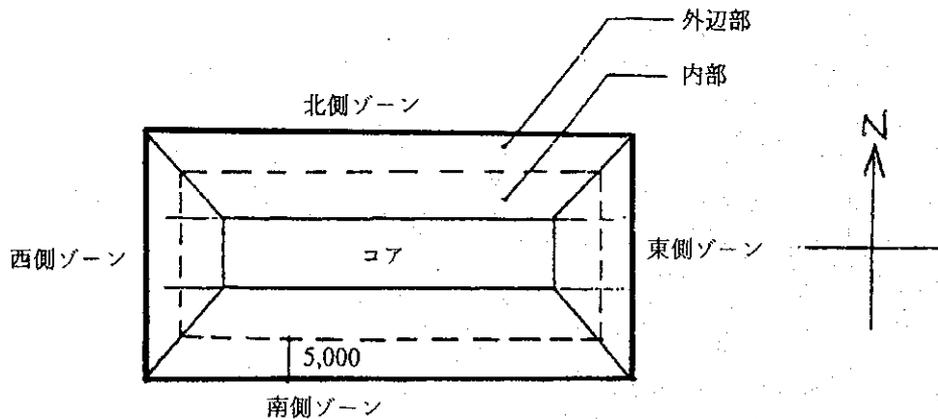


2. 空調設備の概要

タイプ: シングル・ダクト+ファン・コイル方式

(各フロアに4台)

空調のゾーン



冷凍機: 遠心式冷凍機 1台

### 3. 空調の負荷計算条件

室内温湿度： 24℃ DB 50% RH  
部屋の使用時間：平日 9：00-18：00  
土曜、日曜 閉鎖  
空調運動時間： 平日 8：00-18：00  
土曜、日曜 空調無し  
在室人員 0.1人/m<sup>2</sup>  
(空調面積基準)  
照 明 20W/m<sup>2</sup>  
(空調面積基準)  
照明時間 平日 9：00-18：00 (全照明点灯)  
土曜、日曜 照明無し  
取入外気量： 30m<sup>3</sup>/人  
外気温湿度： 35℃ DB 77% RH  
日 射 量： 400kcal/m<sup>2</sup>h  
最大負荷発生時の各方向の平均日射量 (仮定値)  
すきま風： 0.2回/h  
ブラインドの使用頻度：50% (開)  
50% (閉)

#### I 冷房負荷の削減

##### 1. 最大冷房負荷の算定

手計算によって最大冷房負荷の概略値を求め、冷凍機の容量を決定して下さい。

(通常一階に適用する特殊条件の影響は無視する。)

結 果：

顕熱負荷	： 壁 体	[kcal/h]
	窓ガラス	[kcal/h]
	人 体	[kcal/h]
	照 明	[kcal/h]
	外 気	[kcal/h]
	すきま風	[kcal/h]



温度と湿度の条件は次の通りである。

室 内 : 24℃ DB 50 %

外気 (平均) : 33℃ DB 28 ℃ WB

#### 5. 全熱交換機の使用

全熱交換機を使用した場合の1日の外気負荷減少率を求めて下さい。(熱交換効率を50%と仮定する。)

#### 6. 予冷時外気取入停止

予冷時(8:00-9:00)に外気取入れを止める場合の1日の外気負荷減少率を求めて下さい。

温度と湿度の条件は次の通りである。

外室 内 : 24℃ DB 50 %

外気 (予冷時) : 27℃ DB 26 ℃ WB

#### 7. 外気負荷の最小化

上記の手法を組み合わせて適用した場合の1日の外気負荷減少率を求めて下さい。

#### 8. すきま風の防止

すきま風を50%まで削減した場合の最大負荷減少率を求めて下さい。

#### 9. 照度の変更

照度を次のように変更した場合の最大負荷減少率を求めて下さい。

20 W/m<sup>2</sup> から,

15 W/m<sup>2</sup> へ。

#### 10. 外壁断熱の強化

下記に示すように外壁断熱を強化した場合の最大負荷減少率を求めて下さい。(また,断熱なしの場合の最大負荷増加率を求めて下さい。)

25mmから,

50mmへ。

## 11. 窓ガラスの断熱強化

下記のように窓ガラスに熱線反射フィルムを貼った場合の最大負荷減少率を求めて下さい。

前：普通ガラス（透明）

熱貫流率	K : 5.5	kcal/m <sup>2</sup> hC	(ブラインド開放状態で)
	K : 4.3	kcal/m <sup>2</sup> hC	(ブラインド閉鎖状態で)
日射熱取得率	F : 0.87	ND	(ブラインド開放状態で)
	F : 0.47	ND	(ブラインド閉鎖状態で)

後：普通ガラス＋熱線反射フィルム

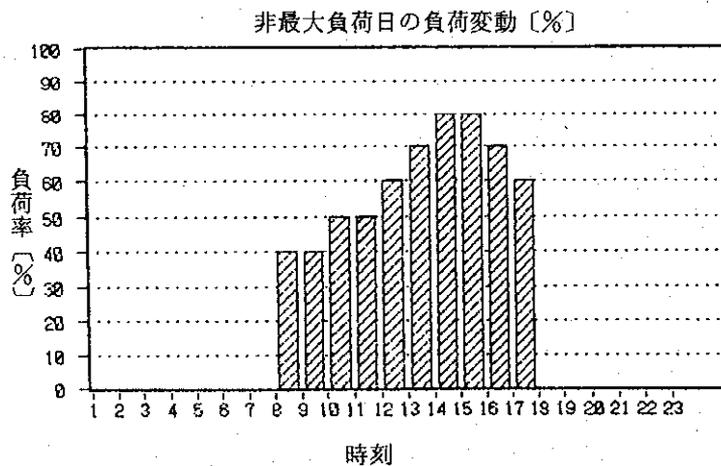
熱貫流率	K : 5.5	kcal/m <sup>2</sup> hC	(ブラインド開放状態で)
	K : 4.3	kcal/m <sup>2</sup> hC	(ブラインド閉鎖状態で)
日射熱取得率	F : 0.61	ND	(ブラインド開放状態で)
	F : 0.44	ND	(ブラインド閉鎖状態で)

## II. 熱源システム

### 1. 冷凍機の台数制御の効果

#### (1) 非最大負荷時の時間別負荷の計算

下記のダイアグラムに示した負荷変動パターンを仮定して、非最大負荷日の時間別負荷を計算して下さい。



#### (2) 非最大負荷日の冷凍機の電力消費量の計算

上記の非最大負荷日における冷凍機の電力消費量を計算して下さい。冷凍機の特性を次のように仮定する。

標準冷凍能力： kcal/h (パートI から)

標準 COP : 4.5

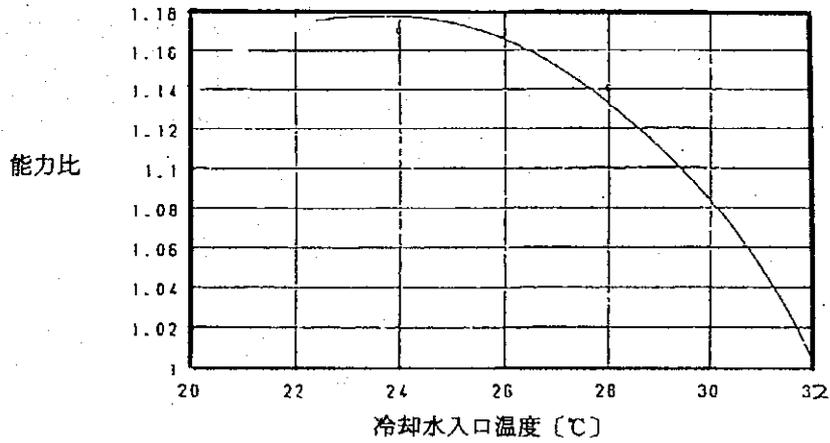
標準入力 : kW

標準の運転条件 : 冷却水入口温度 : 32℃

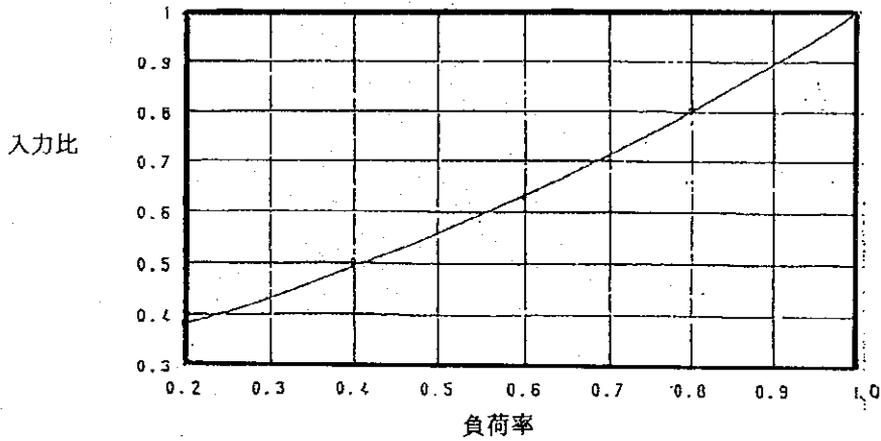
冷却水出口温度 : 5℃

冷水入口温度 : 10℃

冷却水温度の影響 : 次のダイアグラムに示した通り。



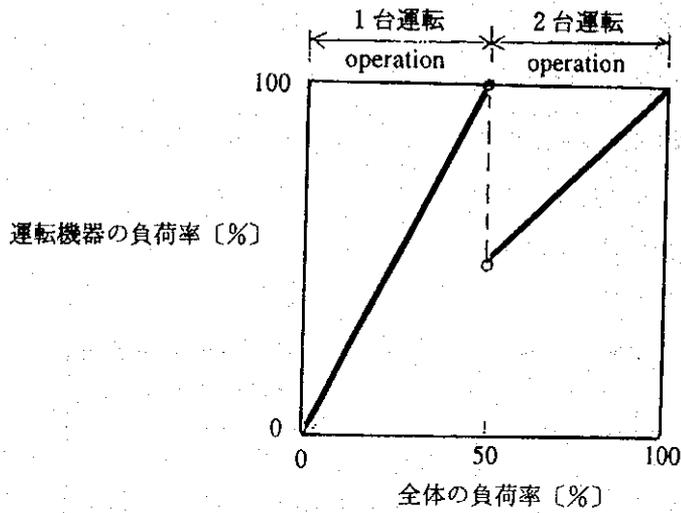
負荷率の影響 : 次のダイアグラムに示した通り。



(3) 冷凍機の台数制御の効果

冷凍機の数を一台中割して、台数制御をする場合、上記(2)と同様の計算を行って下さい。

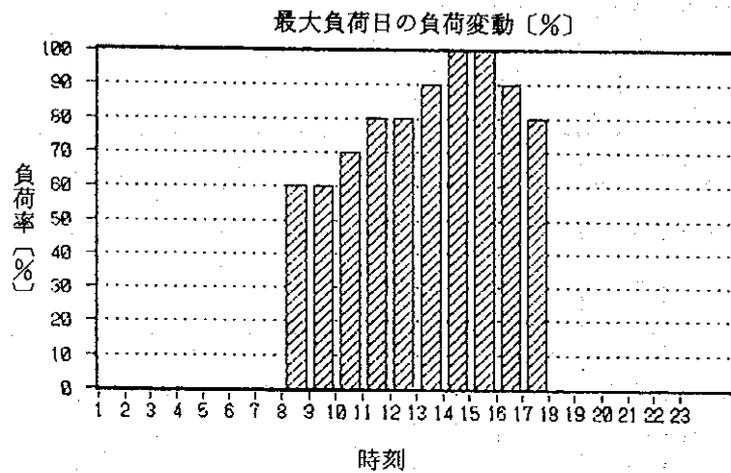
次の運転方法を適用する。



## 2. 蓄熱システムの検討

### (1) 最大負荷日の時間別負荷の計算

次のダイアグラムに示した負荷変動パターンを仮定して、最大負荷日の時間別負荷を計算して下さい。



### (2) 蓄熱槽と冷凍機の容量の計算

次の場合について蓄熱槽と冷凍機の容量を計算して下さい。

- (i) オフピーク時だけ (21:30-8:00) 冷凍機を運転する場合。
- (ii) ピーク時 (18:30-21:30) に冷凍機を運転しない場合。
- (iii) 24時間冷凍機を運転する場合。
- (iv) 蓄熱槽が無い場合。

### (3) 電気料金の比較

或る特定の月に、上記1.に記載した非最大負荷日が20日あったと仮定して、蓄熱槽を用いた三つの場合と無い場合を比較して電気料金の差額を計算する。次の電気料金率を使用する。

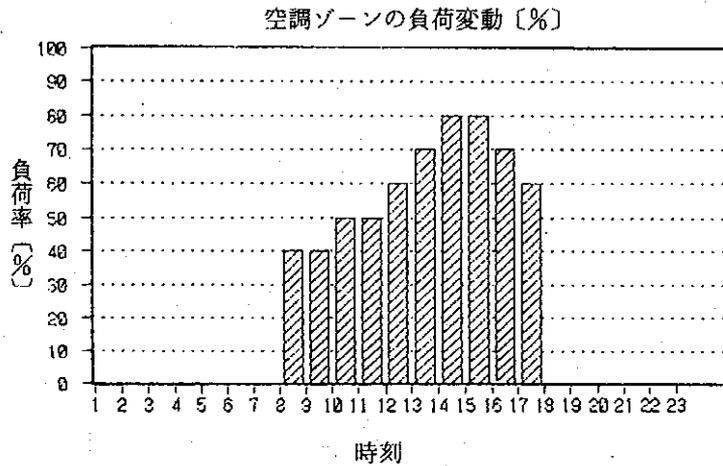
契約需要定額料金：（ピーク）	18：30-21：30	305.00	パーツ/kW	
	（部分ピーク）	8：00-18：30	63.00	パーツ/kW
使用電力量料金：		1.07	パーツ/kWh	

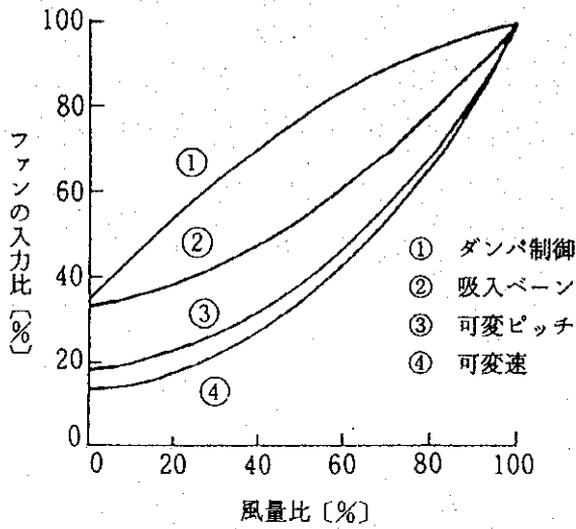
## Ⅲ. 搬送システム

### 1. 変流量システム（VAV）の考察

次のダイアグラムに従って空調ゾーン内で冷房負荷が変動するものと仮定して、次の各流量制御システムについて、1日のブロウ用電力消費量を計算し、それらを比較して下さい。

- i 定流量方式（CAV）
- ii 変流量方式（VAV：ダンパ制御）
- iii 変流量方式（VAV：吸入ペーン制御）
- iv 変流量方式（VAV：可変ピッチ制御）
- v 変流量方式（VAV：可変速制御）

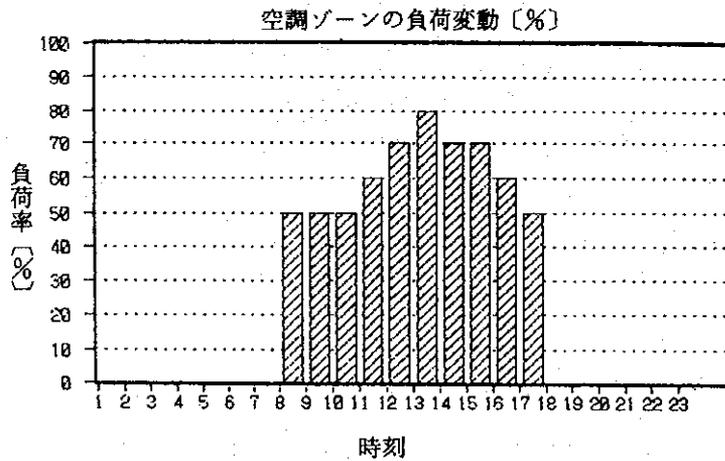


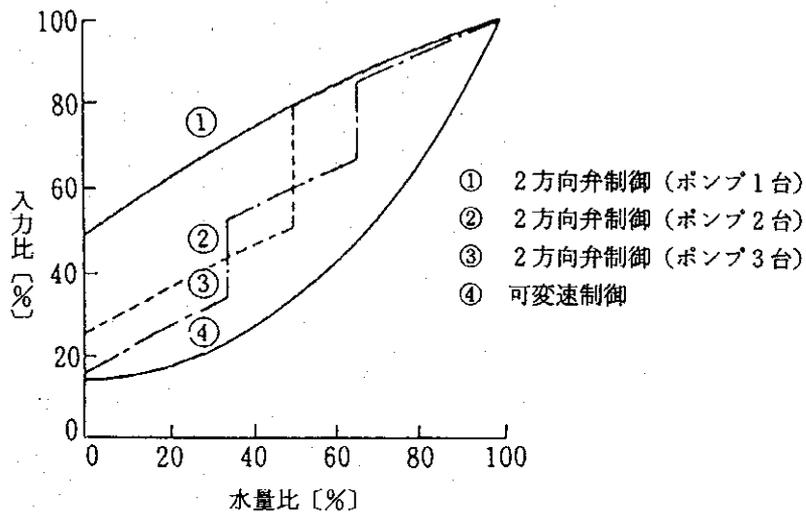


## 2. 変流量システムの検討

次のダイアグラムに従って空調ゾーン内で冷房負荷が変化するものと仮定して、次の各流量制御システムについてこのゾーンの冷水ポンプの1日の電力消費量を計算し、それらを比較して下さい。

- i 定流量制御 (CWV)
- ii 変流量方式 (VWV：2方弁制御：1台)
- iii 変流量方式 (VWV：2方弁制御：2台)
- iv 変流量方式 (VWV：2方弁制御：3台)
- v 変流量方式 (VWV：可変速制御)







タイ王国省エネルギー計画アフターケア調査

エネルギー診断技術ワークショップテキスト

---

## 3. エネルギー管理

---

1994年3月

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



### 3. エネルギー管理

エネルギー消費のみでなく、生産性、品質などすべてに共通であるが、これらの効率・水準向上を図ろうとすれば、まず第1には、目的に応じて適切でかつ良く整備された設備を用い、それを正しく取り扱うことが必要である。設備故障を減らし、製品歩留を上げることが、省エネルギーにとっても最も効果的なことである。

また第2には、常に現在の設備、操業方法に改善の余地がないかを考え、調査や工場実験を繰り返して、より高い水準を迫及していく姿勢が求められる。

これらを達成するには、工場幹部のみでなく技術者のもとより、現場の第一線運転者に至るまで全従業員が心を合わせて努力する必要がある。従って、工場の従業員全体の心がまえや意欲が工場の成績を左右するといっても過言ではなく、それを引き出すような工場管理の進め方が極めて大きな意義を持っている。「エネルギー管理とは、省エネルギーを達成するための組織的な努力である」と定義される。

#### (1) 経営方針の明確化

エネルギー情勢に対する認識の深まりや工場の収益改善への要求から、工場の経営者や管理者の省エネルギーに対する関心は高まってきている。これを、単に経営者の願望にのみ止めず、全社的な活動としてスタートさせるためには、全従業員に対して、会社の方針として真剣に取り組むというトップの意思を明確に示さなければならない。人は明確な目標が示されなければ、具体的な行動には移そうとはしないものである。いつまでに、製品t当たりのエネルギー消費量を何%減らすという定量的な目標を示すとともに、年間の投資額の上限や、投資回収年限等の制限事項も明らかにする。このように、トップが進むべき方向を明確に示すことによって、従業員は、自分がトップの望む方向の仕事をしているという確信を持つことができる。また、全員の気持が一つの方向を向いているため、相互の協力関係も円滑になる。

トップの目標は工場全体の包括的なものとして示されるから、各部門ではトップの目標を達成するために自分の責任範囲で対策をとりうる事項について、より具体的な、より細分化された目標を設定してその達成に努力するようにする。この目標は身近で、理解されやすい形で示されるため、末端従業員まで徹底し、協力を求めることが容易になる。

このような、各部門毎にブレイクダウンされた目標を設定するに当っては、後述する委員会等において、全体目標の達成に整合するものであるかどうかを検討する。

また、それぞれがより高い水準の目標を設定して挑戦するよう、よい意味での各部門間の

競争意識を盛り上げるようにすることも大切である。

## (2) 推進のための組織整備

省エネルギーのように、いろいろな階層の多数の人が参加する運動においては、その核となって、全体の進行を図る役目をする人が必要である。工場の規模が小さいときは個人でよいが、大規模工場ではそのための職制を設ける場合もある。

いずれにしろ、この部署は工場長のスタッフとして、常に省エネルギーの進展状況に注意し、遅れがある場合は、その原因を調べて促進を図る役目を持つ。

具体的には、エネルギー消費実績の把握、計画との対比、改善案件の募集とチェック、改善予算の配分、改善工事の進行管理と実績評価、教育計画の立案、委員会のための準備などの業務を行う。

委員会は製造、販売、原料購入、設備整備、経理等、各部門の間での意思の疎通を図り、円滑に対策が実施されるよう調整を図るのに有効である。この場では、実施しようとする省エネルギー対策が各部門に与える影響を検討し、工場全体として収益を損なわないことの確認がなされなければならない。

委員会の長には、生産に責任と権限のある工場長又はそれに次ぐ人が就任することが大切で、そうでないと何事も決定できないし、実行もできないことになる。

ある省エネルギー対策が、仮に優れたアイデアに基づくものであっても、運転員が十分その意味を理解し、現実の作業に活用するのではなければ成果につながらない。このような場合、品質管理に効果のあるQCサークル(小集団活動)を省エネルギーにも活用して、効果を挙げている例が多い。QCサークルは、職場における人間関係を改善し、本質的に人間に備わっている自主性を活かし、積極的に働らく喜びを与えるものである。しかし、QCサークル活動が作業者にとっても良いものであり、必要なものであるという認識が得られるまでは、教育やインセンティブ等、活動をやりやすくする条件の整備を行う必要がある。エネルギー消費機器に常に接触し、操業条件の変化によって現れる現象を最も敏感に把握できるのは第1線の運転員である。その人の持つ情報を活用し、改善のアイデアを引き出すことができれば省エネルギーに対して極めて有効である。

## (3) 科学的・組織的な活動

省エネルギーを進めるには、エネルギー消費の実態を正確に把握することが欠くべからざる条件である。生産量に対する原単位の変化、装置による差、製品品種別の差、原料による差等のデータがなければ、どこを攻めるかの計画を立てることができない。換言すれば、工

場のデータの中にも、改善のためのヒントが無数に潜んでいるといっても過言ではない。問題意識を持ってデータを調べれば、改善の種を見付けることができるものである。従って、必要箇所には計量器を設置し、その読みを記録し、定期的に整理して情報を読みとるようにする。この際、数理統計学による処理を行い、意味のある差かどうかを見誤らないよう注意しなければならない。

改善計画を実行に移した場合は、必ず結果をフォローしなければならない。デミング博士の提唱するPDCAのサークルに従って、業務の質を高める努力がなされるべきである。PDCAのサークルとは、Figure 1のように、ある改善テーマについて、方法を決めるPlan、そのやり方を訓練し、実施させるDo、実施した結果を確認するCheck、その結果を評価して満足できる結果であれば標準化し、問題が残れば修正処置をとるActionから成るサークルであり、1つのステップが完了すれば、更にもう一段上の目標に向ってPDCAを回し始めるという仕事の進め方である。この方法は省エネルギーにのみ限らず、あらゆる面での仕事の質を高めるのに役立つ手法である。

Figure 1 PDCA Circle



Planの段階でのテーマの選定では、最初は改善すべき点も目につきやすいので、改善提案制度を積極的に活用すべきである。提案は個人、職場、QCサークル、スタッフのいずれが出してよいようにし、出された提案は放置せず、速やかに委員会等で審査し、場合によっては一部アドバイスによって修正させるなどして出来るだけ取り上げるようにし、提案したことに対しては褒美を与え、さらに、実行して成果の上った場合はそれに対する表彰を行うよ

うにし、省エネルギーに対する参加意識を高める。採用できない案の提案者に対しては、その理由を説明し指導を行う。

Doの段階では、改善の目的および改善計画の考え方を末端までよく説明し、その方向に向かって努力するよう協力を求める。作業中の細かい異常についても報告させるようにし、キメ細かい調整ができるようにしておかないと失敗する恐れがある。

Checkは定期的に行い、委員会、上司に報告するとともに、作業者にも結果を知らせ、関心を深めさせる。この際、評価基準を最初から明確にしておくことが大切で、途中で軽々しく変更することは好ましくない。

Actionでは、改善案を実行した結果、成果が期待できる場合は作業標準に定めて歯止めをかけるとともに、必要な設備対策を施す。このことは、定常運転では運転者に余分な負担をかけないようにする処置で、改善活動を永続きさせるための必要条件である。

以上の結果、継続的に相当な成果を挙げることができた場合は、その過程をまとめて発表し、他の参考とするとともに関係者を表彰して、次の活動の動機付けを図る。

#### (4) 教育、情報の提供

従業員が協力しようという意欲を持っていても、どうすればよいかの知識がないと改善は進み難い。問題点を指摘するのみでなく、改善策も提案できるようになれば一層参加意識も高まる。

そのためには企業内教育が大切で、研修会、手引書配付などの方法がとられる。スタッフを外研修に出しても、そこで得られた知識がそのスタッフのみに止まり、他のスタッフや一般運転員にまで普及しないと効果は半減する。外部研修を受けた者が、社内研修会の講師となり伝達講習を行うようにすれば、全般の水準が向上するとともに、当人の知識も確実なものとするができる。

同業他社、あるいは原料供給者や製品販売先との情報交換を活発にすることも、改善活動のキッカケを与えるのに役立つ。企業間で競争し合うことは当然必要なことであるが、ある範囲までの技術情報をギブ・アンド・テイクで交換し合うことは、業界全体としてのレベルアップにつながり、国際競争力を強め、結果的に相互の利益につながることになる。例えば、原単位実績を公表することは競争の動機づけにも役立つ。

また、公的機関、コンサルタントあるいは大学教授などから助言を得たり、診断を受けることも、異なる視点からの問題発掘が期待できる。