

Figure 4.16 Condensate recovery pump system (open system)

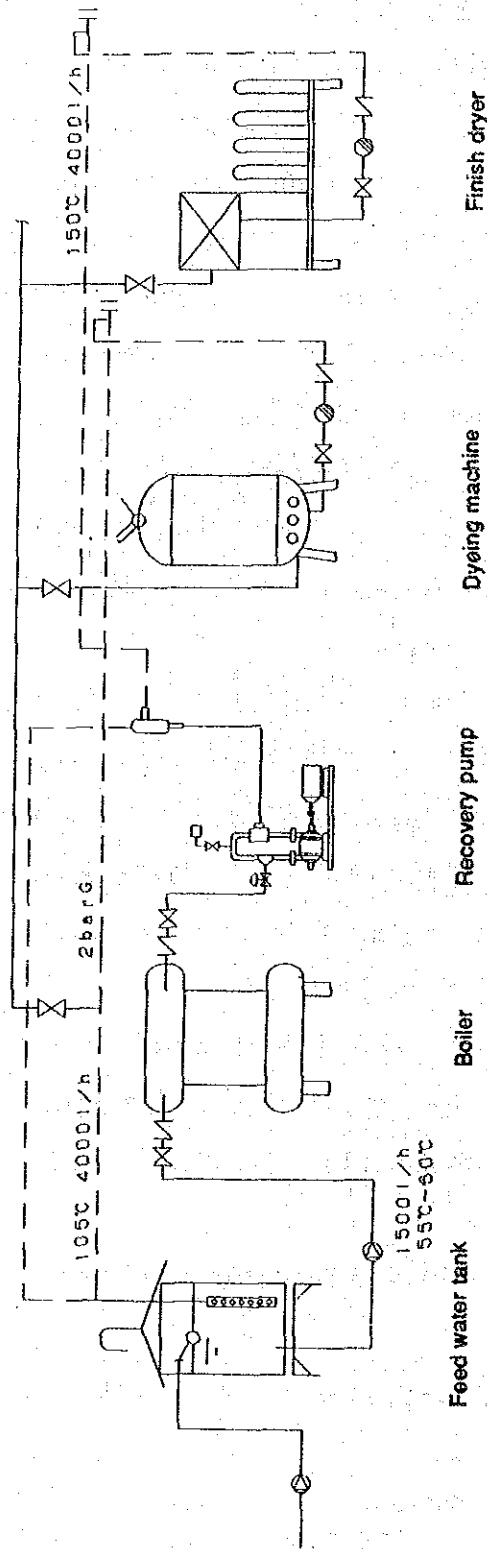


Figure 4.17 Condensate recovery (open system + closed system)

Table 4.11 Fuel expenses saved amount

	Fuel oil saved volume	Saved amount
Improvement 1	300 kℓ/y	4.5 MFt/y
Improvement 2	438 kℓ/y	6.6 MFt/y

Note: Fuel oil unit price 15,000 Ft/kℓ
 Operating hours 2,000 h/y

[事例6] 燃料重油加熱エネルギーの節減

燃料貯蔵及び移送設備の概要は Figure 4.18 のようになっている。使用燃料が重質重油（動粘度200cst 以上、流動点 2℃）であり、重油を移送するには加熱する必要がある。ボイラは土曜日、日曜日は停止することになっているが、冬期にはタンク及び配管中の重油の温度を 30~40℃に保つため、ボイラを運転する必要があった。休日のボイラ運転を中止するために次の対策を実施した。

- ① 重油貯蔵タンクをグラスウール保温材（30mm厚）で保温
 休日期間中の油温低下は7~10℃と小さくなった。
- ② 重油サービスタンクをグラスウール保温材（30mm厚）で保温し、30℃以下になると作動するテープヒータ（3kw）を設置した。
- ③ 重油配管をグラスウール保温材（25mm厚）で保温し、40℃以下になると作動するテープヒータ（3kw）を設置した。テープヒータは安全のため温度が上昇する程電流が小さくなるタイプを使用した。

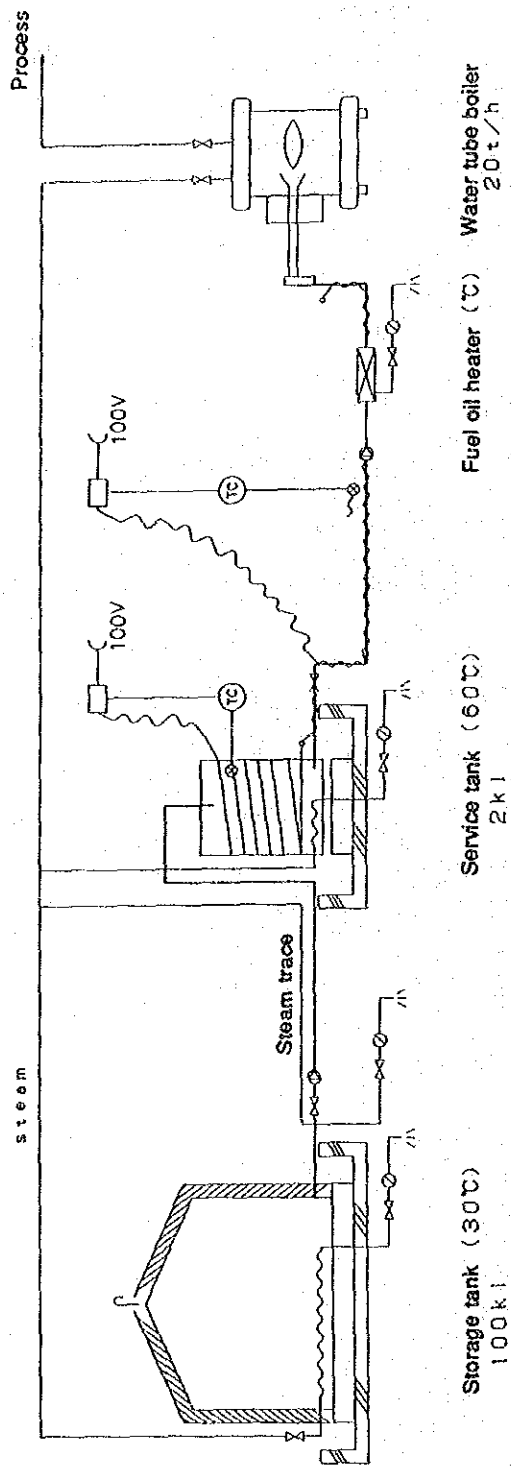


Figure 4.18 Fuel oil storage and transfer equipment

5. タイヤ工業の省エネルギー

5. タイヤ加硫

5.1 エネルギー使用の特徴

5.1.1 タイヤ製造工程

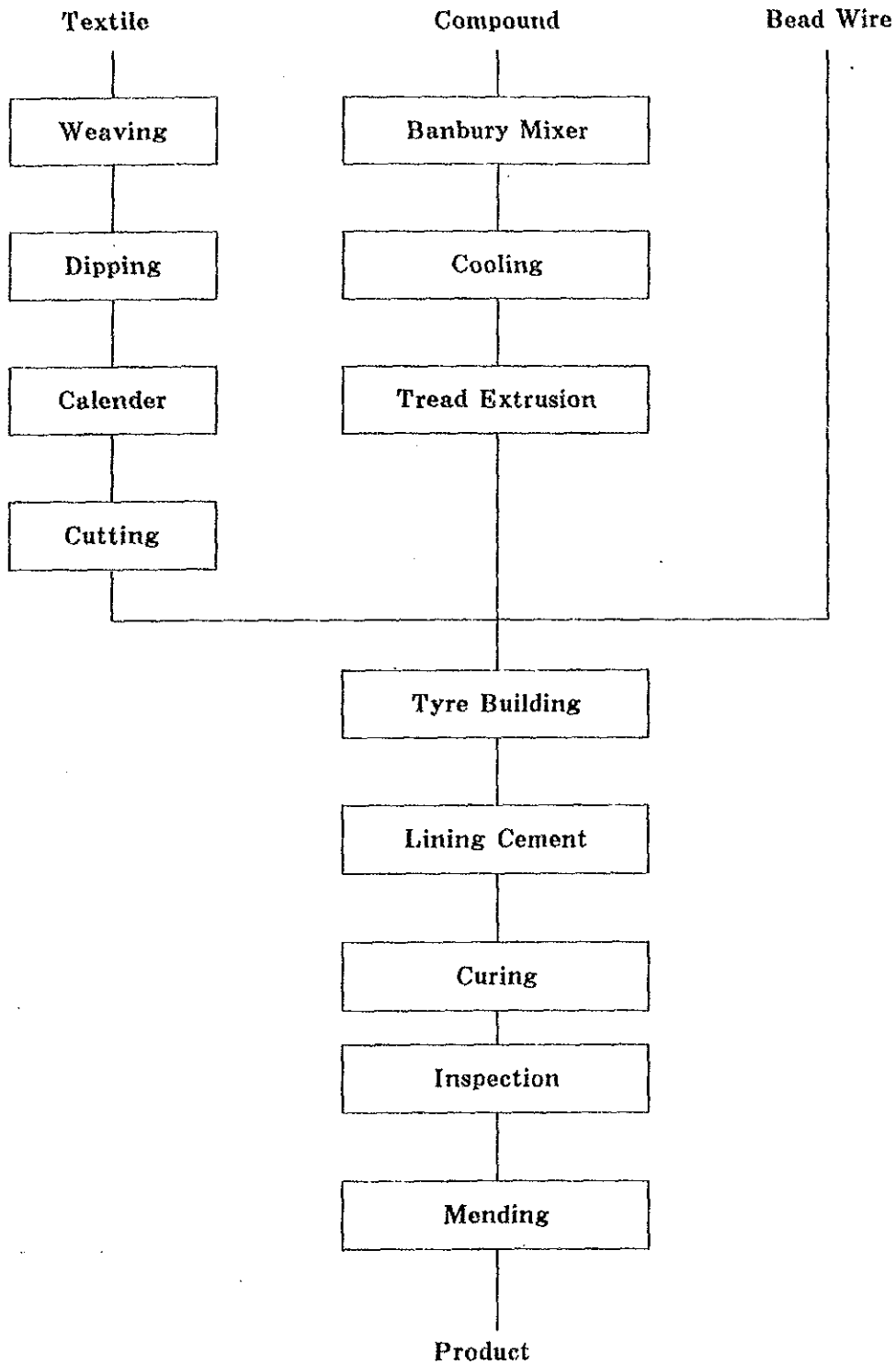


Figure 5.1 Manufacturing Process of Tyre

タイヤは荷重、衝撃、空気圧に耐える骨格部分のカーカス (Carcass)、ホイールのリムにかみ合うビード (Bead)、路面と直接接するトレッド (Tread) 等からできている。それぞれの部分に求められる物性には差があるので、ナイロンやスチールのコード、ワイヤと性状の異なるゴムとを組み合わせることでそれぞれの部分をつくり、これらを組み合わせることでタイヤの形に成型して生タイヤ (Green Tyre) とする。

次に、この生タイヤを金型に入れ、熱と圧力を一定時間加え、ゴムに強度と弾力を持たせるとともに、トレッドに模様 (Tread Pattern) をつける。この工程が加硫工程である。加硫が終わったタイヤは仕上げ、検査を経て製品となる。

加硫装置には種々の形式があるが、ドーム型の場合、上下の金型の間を生タイヤを入れ、タイヤの中側からブラダ (Bladder) を介して圧力をかけ、タイヤを押しひろげて金型に密着させ、ブラダ内および金型の外側から加熱するようになっている。

5.1.2 加硫工程のエネルギー使用状況

工場の立地条件にもよるが、タイヤ工場のスチーム消費の1/2~3/4は加硫工程で消費されている。

Figure 5.2 に輸入原価価格のここ十数年の推移を、また Figure 5.3、Table 5.1 に日本のタイヤ業界の重油および電力消費原単位の推移を示す。

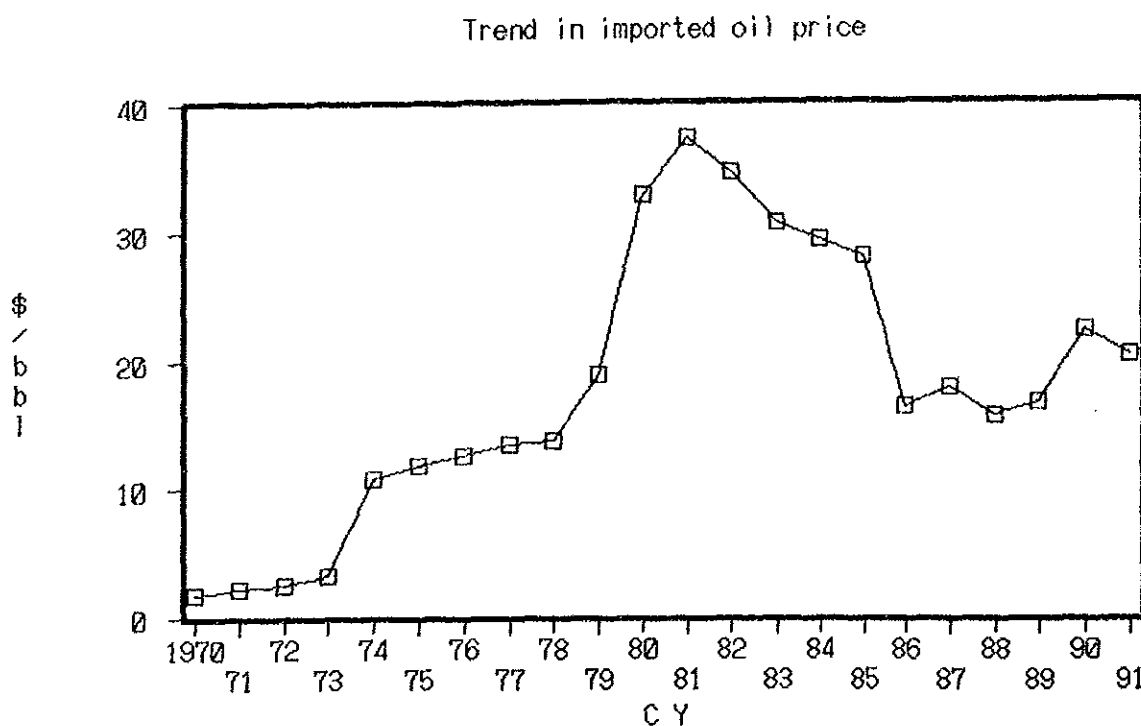


Figure 5.2 Trend In Imported Oil Price

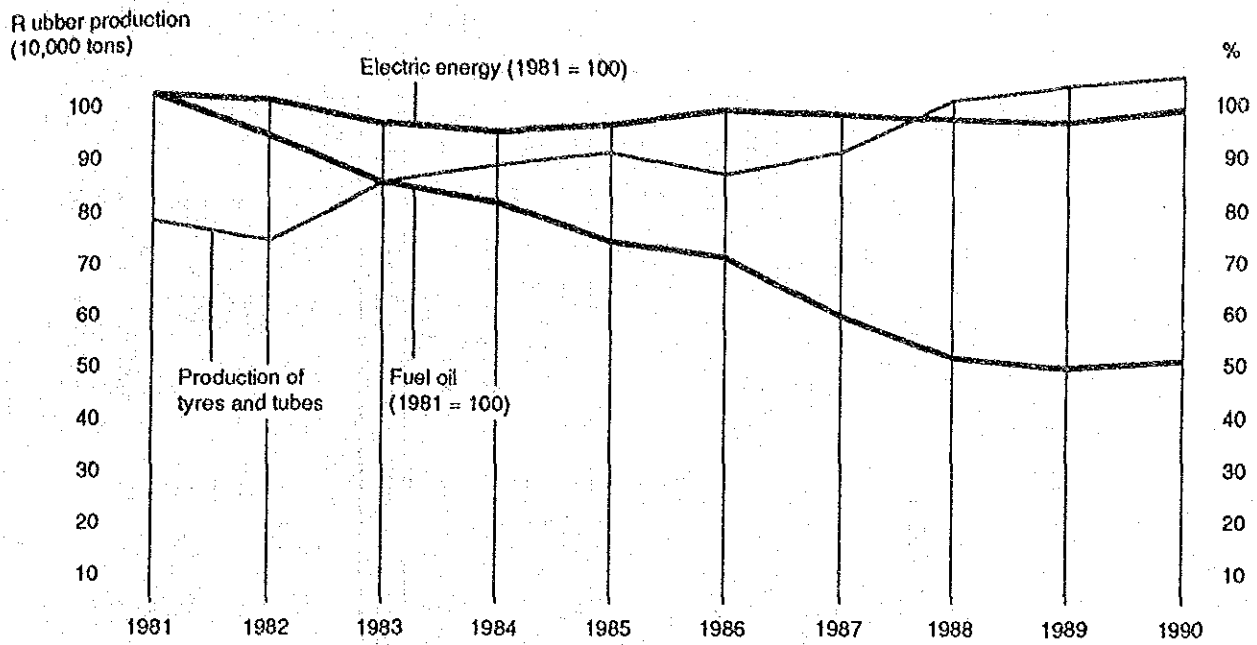


Figure 5.3 Progress of production of automotive tyres and tubes and of effect of promotion of energy saving

Table 5.1 Effect of energy saving in automotive tyre industry

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	
Electric energy (kWh)	Consumption	1,270,852	1,165,667	1,258,042	1,332,984	1,350,021	1,330,549	1,387,538	1,512,952	1,590,516	1,636,352
	Unit consumption	1.659	1.633	1.555	1.541	1.544	1.596	1.579	1.552	1.556	1.587
	Unit consumption index	100.0	98.4	93.7	92.9	93.1	96.2	95.2	93.6	93.8	95.7
	Unit consumption compared to previous year	99.5	98.4	95.2	99.1	100.2	103.4	98.9	98.3	100.2	102.0
Fuel (kl)	Consumption	260,762	226,575	228,514	229,641	211,032	194,437	194,313	189,001	192,058	197,081
	Unit consumption	0.340	0.317	0.283	0.268	0.241	0.233	0.221	0.194	0.188	0.191
	Unit consumption index	100.0	93.0	83.2	78.8	70.9	68.5	65.0	57.1	55.3	56.2
	Unit consumption compared to previous year	91.2	93.2	89.3	94.7	89.9	96.7	94.8	87.8	96.9	101.6
Production of automotive tyres and tubes (ton)		766,160	713,791	808,876	838,433	874,304	833,454	878,808	974,817	1,022,325	1,031,099

Source: JATMA

5.2 エネルギー使用の合理化

5.2.1 省エネルギー対策の進め方

(1) 日本のタイヤ工業における省エネルギー活動の展開

1970年代に、2回にわたって日本の産業界はオイルショックに見舞われたが、この難関、苦境を乗り越えるため、各業界とも全社をあげてこの問題の対応に取り組んだ。日本は資源に乏しい国で、生産に必要な原材料はもとよりエネルギーもその殆どを輸入に依存している。これら輸入された資源、材料を加工して製品とし、その大部分は国内で消費されるが、一部は輸出して外貨を得ることに当てられている。

原・燃料の輸入資源依存度は業種により多少異なるが、タイヤ業界はその原料の約70%を石油資源に依存しており、省資源省エネルギーは企業の死活に関わる重大な問題である。日本は資源がなかったばかりに絶体絶命の境地におかれ、必死の思いで省エネルギーに取り組んだため、世界各国の中でも抜きん出て良い省エネルギーの成果を挙げることができた。タイヤ工業もその例外でなく、国内工場のエネルギー原単位は世界一の水準にあると考えられる。

この間の省エネルギー活動は、「無駄使い排除」に始まり、「問題解決手法」の活用による改善を経て、最終的には「プロセス改善」というステップを踏んで実施された。その進め方は、日本のはとんどの主要企業で採用されている経営管理手法であるTQCの方針管理に基づいており、年度目標、各部署の役割分担を明確にして進められた。

(2) ムダ排除、節約型省エネルギー

「ムダ」とはエネルギーがその目的のために有効に使われていないことで、タイヤ加硫工程を例にとればスチームやエアーの漏洩、保温不良による放熱などである。この「ムダ」を排除することは如何に生産技術が高度化されても、エネルギーを有効に利用するための原点であって、日常管理の中で常時継続して実施されなければならないことである。日頃見過ごしがちな「ムダ」を再点検して対策をとるということで、あまり難しく考えずに「議論よりもまず実行」という姿勢で進めねばならない。一般的には、費用もさしてかからず、こまめに実施して行けばよい。

ただ注意すべき点は思い込みとか、先入観に妨げられないことで、虚心坦懐に事実在即して観察する態度が必要である。また、一人の管理監督者とか専門職スタッフによる問題指摘・発掘というのではなく、できるだけ多くの人々の参加協力を求めることが望ましい。「私はエネルギー使う人、あなたはエネルギーを管理する人」というスタイルは、とかく他部門へ

の責任転嫁を招きやすく、良い結果を生まないからである。

より多くの人の参画を求め、関心を呼ぶためには発生している「ムダ」を金額に換算して示した方が、より具体的でアピールする力も大きい。Figure 5.4に、日本の工場で実施された例を示す。

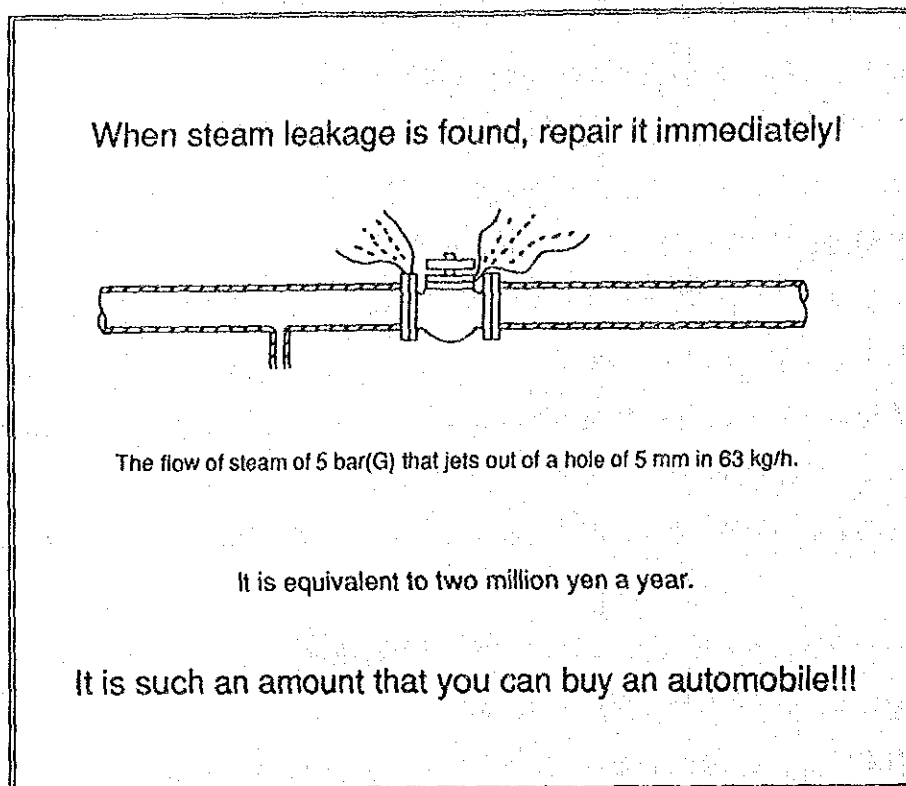


Figure 5.4 Typical poster to appeal to employees

参考までにスチーム漏洩量、裸配管からの放熱量の例を以下に示す。

- (A) 圧力 5 bar (G) のスチーム配管に、1 mm φ の孔が開いているときのスチーム漏洩量
面積 A m² の穴からのスチームの漏洩量は次式で表せる。

$$G = 71.64 \times 10^4 \times A \times \sqrt{(P/v'')} \quad \text{kg/h}$$

- ここに G ; スチーム漏洩量
A ; 洩れ穴の面積
P ; スチームの絶対圧力
- $$P = P_1 \times 1.0197 + 1.033$$
- P₁ ; 配管中のスチーム圧力
v'' ; 配管中のスチーム比容積

直径 1 mm の穴からの 5 bar (G) のスチームの漏洩率は次のようになる。

$$\therefore G = 71.64 \times 10^4 \times 0.785 \times 0.001^2 \times \sqrt{\frac{5 \times 1.0197 + 1.033}{0.3155}} = 2.5 \text{ kg/h}$$

B 保温が不完全で、裸管が露出している場合の熱損失量 (Figure 5.5)

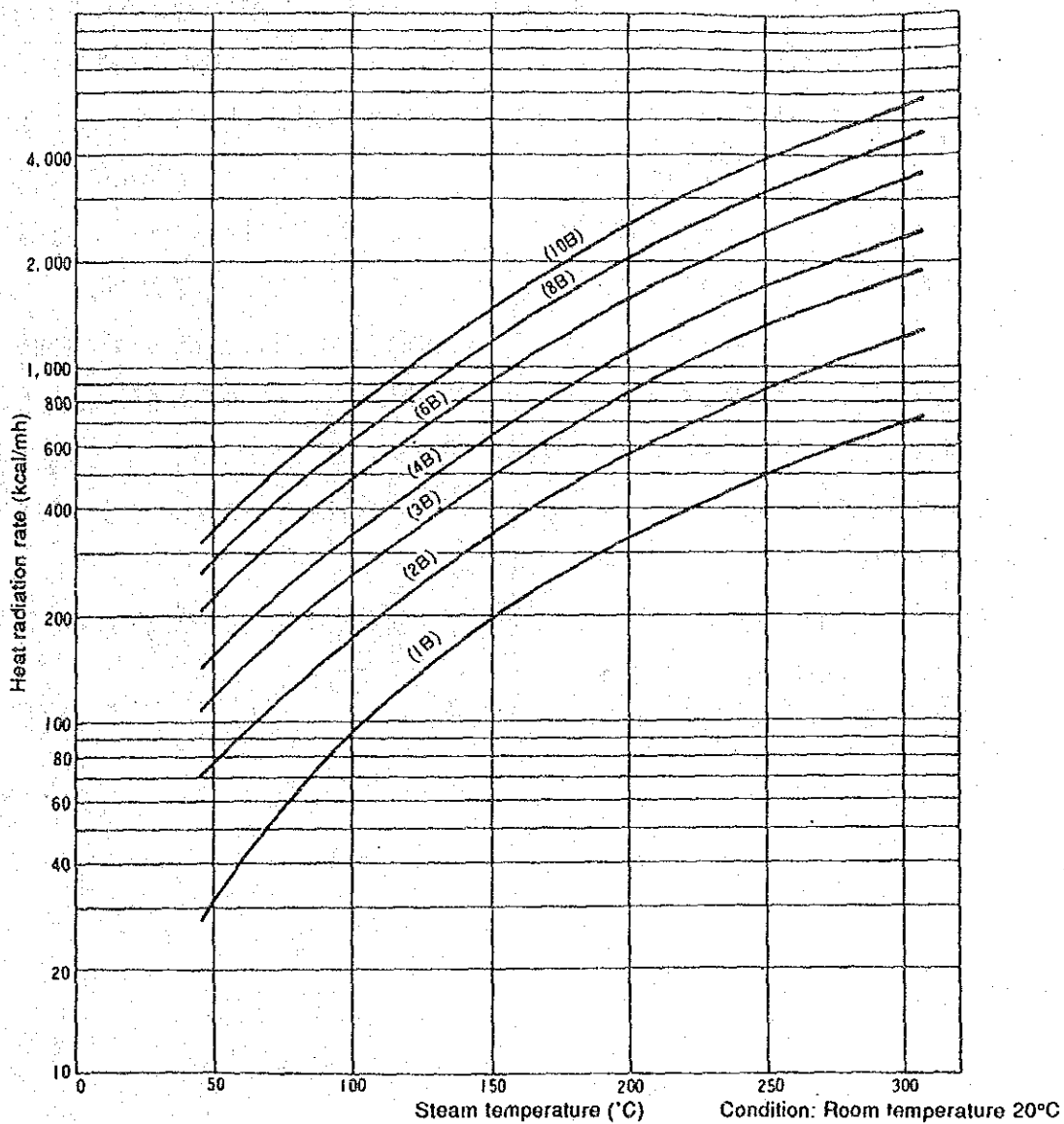


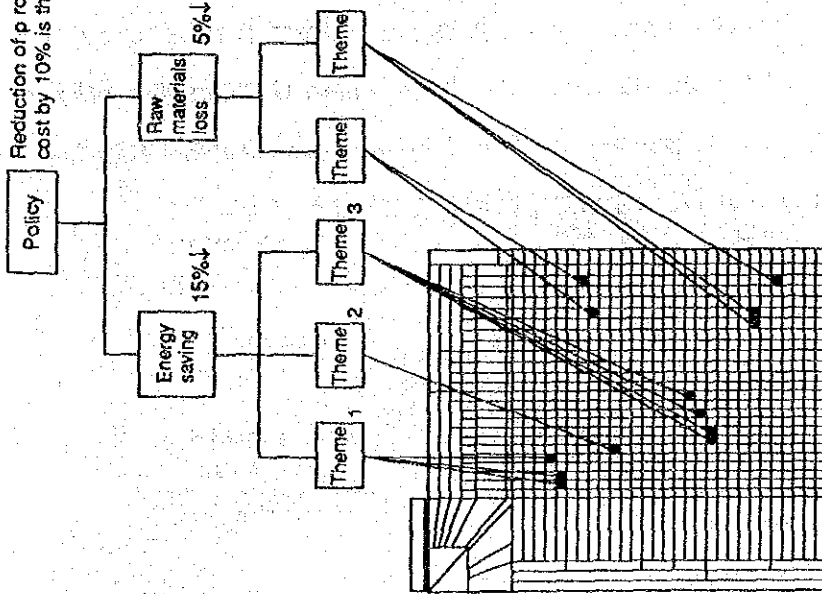
Figure 5.5 Heat radiation from bare steam line

(3) 問題解決手法の活用

前節では、身の回りの身近なロスやムダを見つけて手を打つことを説いた。これを今一歩進めて、幅広くかつシステムティックに進めるねらいで、MAP法などいくつかの問題解決手法が実用化されている。例として、MAP法を省エネルギーに適用する場合についていえば、エネルギーが使用されているあらゆる局面、設備を網羅した表をつくり、その1箇所ごとにエネルギーの使用状態を調査し、それが本当に必要なものか、妥当な使われ方をしているかを検証し、表に記入して行く。その名が示すように、地図を見るが如く全体と細部が明示されて理解しやすい点に特徴があり、問題を面として捉え諸々の改善活動を進める上で大いに有効な手法である。一方、こうしたMAPを描くためには、それなりの技術的知識あるいは若干の計測測定も場合によっては必要となる。省エネルギーの検討解析によく使用される「熱収支図」などは、このMAP法の延長線上あるいはその一部として考えても差し支えない。その概念図をFigure5.6に示すが、この図の縦軸には目的とする事項の指針・方策を列記し、横軸には対象とする工程、設備を記入する。

また例示した図では、プロジェクト計画段階のMAPを示したが、実行段階ではさらに細部について同様のMAPを作成して実施する。

Reduction of p production cost by 10% is the target



Positioning of excavation themes

The extent of the contents of the theme excavated in the stage of excavation is shown in the following cases of energy saving MAP.

Each case is classified and indicated by the following items.

- ① "Viewpoint/attack"
- ② Classification of application of the energy
- ③ "Guideline for excavation" for the conception
- ④ Excavated "issue"
- ⑤ "Theme name"
- ⑥ Amount of excavation
- ⑦ "Direction of improvement", which is the content of the red mark

<Case 1>

- ① Substitution of utility
- ② Heating/cooling energy
- ③ "If it is possible to reduce the unit price by changing steam to hot water or alike"
- ④ Steam is currently used for preheating the boiler air. But it may be substituted by surplus combustion exhaust gases.
- ⑤ To review the boiler air preheating source for reducing the unit price
- ⑥ Steam: 8.3 million yen per year
- ⑦ To combine combustion exhaust gases and steam

<Case 2>

- ① Change to contract scheme
- ② Heating/cooling energy
- ③ "If it is possible to reduce the high unit price by changing the master pressure standard"
- ④ Even if pressure loss is involved between the steam supply source and the factory inlet, payment is made based on the unit price at the master pressure.
- ⑤ To review the contract of the steam accepting unit price for reducing the unit price
- ⑥ Steam: 3.1 million yen per year
- ⑦ Unit price contract scheme, examination of pipeline system with little pressure loss

<Case 3>

- ① Change to product production method
- ② Power energy
- ③ "If it is possible to reduce excessive electric energy by changing to a production method of less power consumption"
- ④ Kneading and blending are made by roll system, but the power consumption is excessive.
- ⑤ To change to a kneading scheme of less power consumption to reduce the consumption
- ⑥ Electric power: 3.39 million yen per year
- ⑦ Change from roll system partially to kneader system

Figure 5.6 Typical application of MAP technique

5.2.2 プロセス、設備改善による省エネルギー

(1) 加硫方式

5.2.1に述べた活動により発掘された問題には、逐次それぞれ対策が講ぜられるが、その結果ないしその過程で、抜本的な対策を実施するには設備改善または製造技術の開発が要求されることがある。この場合は当然それに応じた設備投資ないし検討期間を必要とする。

タイヤ加硫工程について言えば、その典型的な例はSteam-Innert Gas Cure法である。タイヤ加硫の歴史を繙くと判るように、加硫方式は

Air

H & L2 Way Steam

Steam Air

Hot Water

Steam Innert Gas (CO₂ N₂)

という足跡を辿ってきた。

一方では20 bar前後の高圧が要求され、片やゴムや繊維物性の熱劣化の制約があるという条件下で、なおかつエネルギー効率を考慮した場合、Steam Innert Gas加硫法の右に出るものはない。既に、本加硫方式が普及し始めてから十年余になるが、今日においては次に記すようにInnert Gas Supplierも整備されてきている。

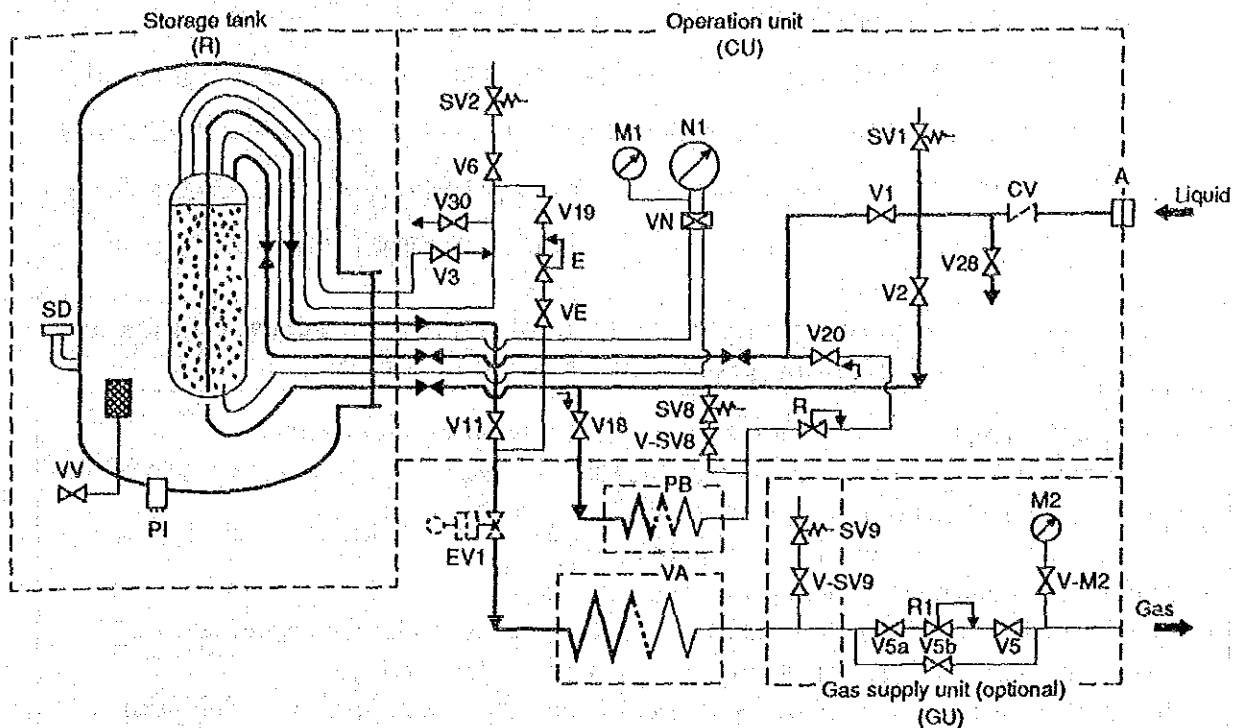
Microwave加硫は一部企業で十年以上にわたって検討されてきているが、まだ試行の域を出ていない。

Innert Gasとしては、当初はプロパンまたはブタンを燃焼させ、残留酸素を除去したガスを主として使用していたが、L' AIR LIQUIDE GROUPその他のInnert Gas Supplierが所要設備も含めて供給体制を整備してきている。タイヤ加硫に使われるN₂Gasの供給方法には次に示すようないろいろの方法があるが、その使用規模に応じて選択すればよい。

— タイヤ加硫 N₂ Gas 供給方法 —

- 1) 液体窒素を購入して使用する
- 2) N₂ Gas Generator を使用する (原料: ブタン)
- 3) PSA (PRESSURE SWING ADSORPTION) Nitrogen Generator を使用する
- 4) N₂ Gas Generator + 液体窒素 (バックアップ用)
- 5) 小型窒素製造装置

Figure 5.7 には 液体窒素による N₂ Gas 供給装置の一例の概略図を示した。



- | | | | | | |
|-----|--|-------|--------------------------------------|------|---|
| A | Charge port | V30 | Storage tank gas discharge valve | V-M2 | Pressure gauge master valve |
| V1 | Upper charge valve | VN | Liquid level gauge master valve | E | Automatic delivery gas valve |
| V2 | Lower charge valve | SV1 | Charge unit safety valve | VA | Evaporator |
| V3 | Liquid level metering valve | SV2 | Storage tank safety valve | PB | Pressurizing evaporator |
| V5 | Gas supply valve | SV8 | Pressurizing evaporator safety valve | PI | Pirani vacuum gauge measuring element |
| V5a | Changeover valve | SV9 | Evaporator safety valve | SD | Safety device |
| V5b | Bypass valve | V-SV8 | Safety valve master valve | VV | Vacuum suction valve |
| V6 | Storage tank safety valve master valve | V-SV9 | Safety valve master valve | V19 | Automatic delivery gas valve master valve |
| V11 | Siphon liquid take-out valve | R | Automatic pressurizing valve | VE | E auxiliary valve |
| V18 | Pressurizer master valve | R1 | Reducer valve | *CV | Check valve |
| V20 | Pressurizing valve | N1 | Liquid level gauge | *EV1 | Emergency shut-off valve |
| V28 | Charge unit drain valve | M1 | Storage tank pressure gauge | | |
| | | M2 | Supply unit pressure gauge | | |

(Those with * marks are provided for the system for oxygen of internal volume 5,000 liters and up.)

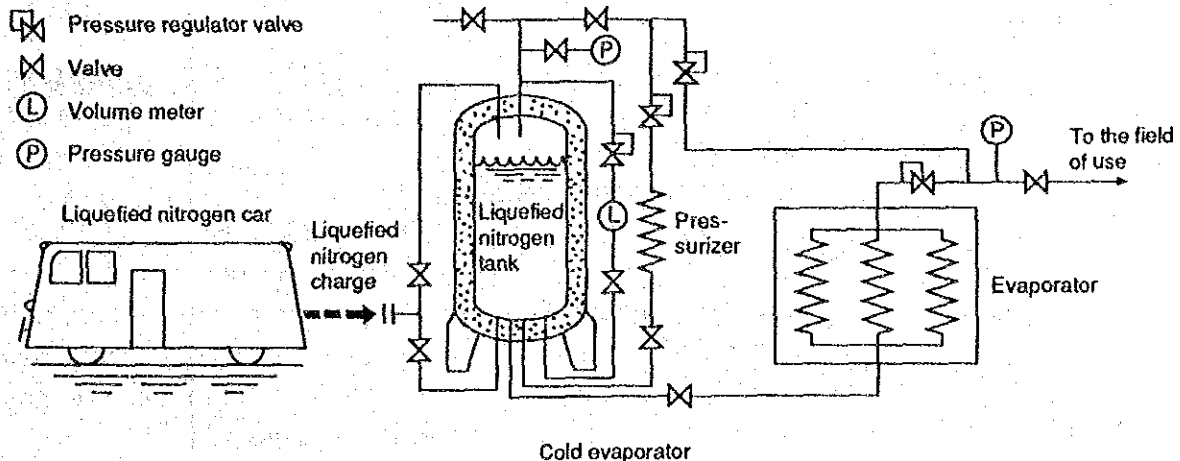


Figure 5.7 Rough plan of N₂ gas supply system

(2) 加硫工程省エネルギー対策実施事項

日本のタイヤ工場の加硫工程において、過去十数年にわたって取り組まれた省エネルギー対策実施事項を列挙してみると、ほぼ Table 5.2 のような内容となっている。

電気エネルギーについてはゴム練り、トレッド部材押し出し、カレンダー工程でほぼ半が消費されるので、これらの工程では電力の省エネルギーが中心課題となっている。

**Table 5.2 Contents of implementation of energy conservation measures
in the curing processes of tyre factories**

- Repair and strengthening of heat insulation for curing press and pipelines
- Check and prevention of steam and air leakage
- Maintenance and inspection of steam traps
- Integration and rearrangement of steam lines
- Shortening of machine open-shelving time
- Recovery and use of waste heat (used for other processes, boiler feed water, etc.)
- Modification to small size curing press (dome type to platen type)
- Reduction of temperature difference between upper and lower molds of curing press
- Reduction of dispersion of proportioning rubber blow point (shortening of curing time)
- Review of heat insulation of molds and uncured tyres
- Review of mold blow method
- Review of water cooling and vacuum suction
- Maintenance and control of the room temperature for the winter season
- Expansion of adaption of N₂ gas curing

以下に、タイヤ工場で実施された省エネルギー活動の発表事例を参考として添付した。

タイヤ加硫工程省エネ実施事例

[実施例 1] DOME 保温による放熱退治への挑戦 (1982ブリヂストン東京工場)

1) 工場の概要

- 生産品目 バイアスタイヤ (トラック用、バス用、小型トラック用、建設機械用、農業機械用)
 スチールラヂアルタイヤ (乗用車用)
- 従業員 2,300名
- 生産能力 730,000本/月 (東洋最大規模)
- 燃料消費量 29,000 kl/y

2) 活動の背景

工場の基本方針として「全員参加の省エネルギー活動推進」が打ち出されたのを機会に、係にも省エネルギー委員会が設置され、「既成概念を打破し、新しい事に挑戦しよう」という

スローガンを掲げて、“温度・圧力・時間・放熱・洩れ”に着目して、どんな小さな事でも取り上げて省エネルギー活動を進めた。ここに紹介する事例はこの活動の一環として実施されたものである。

3) 改善活動実施者

加硫工程運転者21名のグループ活動

4) テーマ選定

加硫工程のスチーム使用量は工場全体の使用量の約70%を占めている。加硫器には従来からも保温はされてあったが、劣化して放熱損失が大きい事が指摘されていた。また、このために室温が夏期には最高45℃にもなり、職場環境もよくなかった。

放熱防止はヤル気と根気さえあれば、自分達の手でもできる最大の省エネルギー活動であるので、活動テーマとして取り上げた。

5) 活動の経過

- a. 放熱状況を赤外線カメラで撮影し、全員に視覚で認識させた。
- b. 機種別コンデンセート発生量調査
- c. モデル加硫器の保温施工（班別アイデアコンクール実施）
- d. 保温材費用、施工工数試算
- e. 赤外線カメラとコンデンセート発生量で効果確認
- f. 全加硫器への拡大実施

6) 保温法の検討 (Table 5.3, Table 5.4, Figure 5.8, Figure 5.9, Figure 5.10)

6-1 Dome

Table 5.3

Subject	Plan	Result	Adopted or not
Shape of insulator	To sew as large cushion.	Gaps are observed narrow portions.	No
	To make large and small cushions of a number of types.	Good.	Yes
Method for fixing insulator	To bind using wires.	Difficult	No
	To tap to existing insulator using an automatic screwdriver.	Working is easy.	Yes

Total required man-hour: 1,192 hours

Table 5.4

Subject	Plan	Result	Adopted or not
Shape of insulator	To make large and small cushions of a number of types.	Sewing is troublesome.	Yes/No
	To put the insulation into the concave portion of the top beam and to cover it up with galvanized sheet iron.	The galvanized sheet iron becomes hot and major heat radiation occurs.	No
	To put the insulation into the concave portion of the top beam and to cover it up with belts.	The quantity of the abandoned conveyor belts is insufficient. It is necessary to weld the lock bolts.	No
	To envelope the insulator with wire nets. Figure 5.7	Fabrication is easy, as no sewing is required. Mounting/dismounting is easy.	Yes
Method for fixing insulator	To make holes in the insulator for pressure gauges and lubricators.	To make holes in the insulator is troublesome.	No
	To weld flat steel plate to the top beam in a horizontal position, to move instruments on the plate and to fix insulator by the flat steel.	Large man-hour is required to move of instruments. Heat radiation is minor if a gap is provided between the top beam and the insulator. Figure 5.8	Yes

Total required man-hour: 588 hours

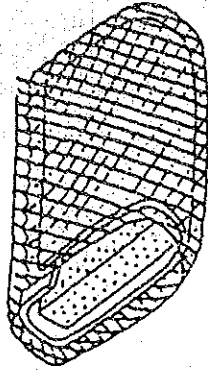
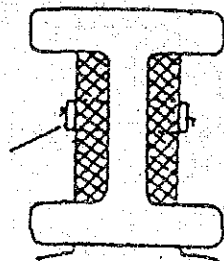
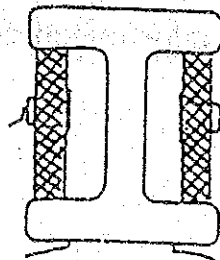


Figure 5.8 Form of Insulator



Large heat radiation



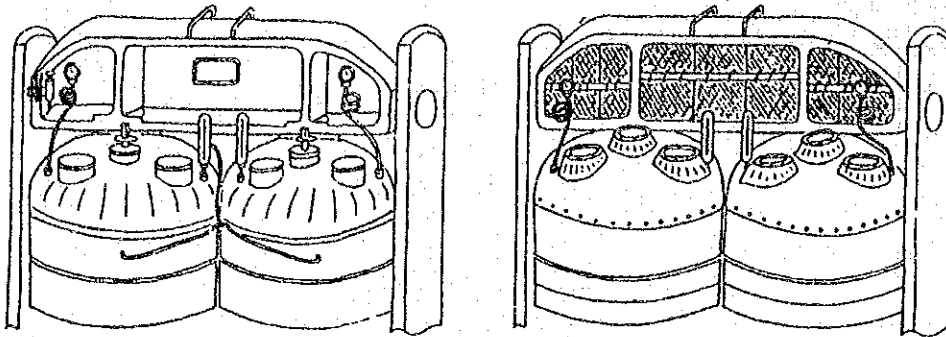
Small heat radiation

Figure 5.9 Mounting of Insulator to top beam

#55 Curing machine

Before heat insulation

Completion of entire heat insulation



#42 Curing machine

Before heat insulation

Completion of entire heat insulation

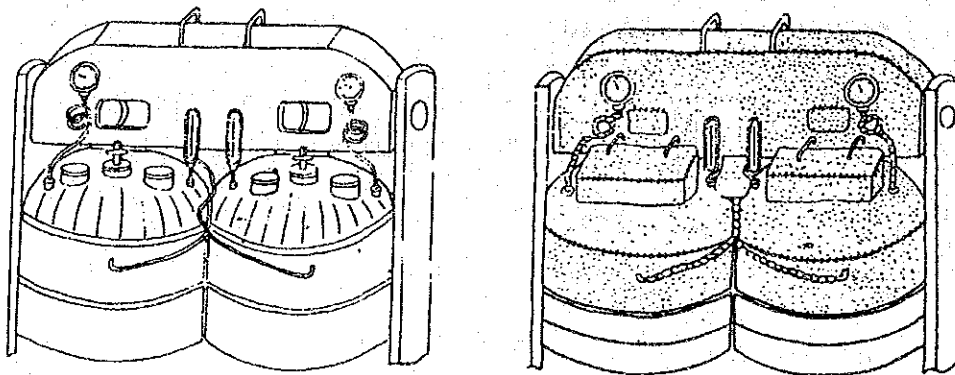


Figure 5.10 Overall heat insulation drawing

7) 実績効果

放熱損失	44% → 30%
コンデンセート排出量	11% 減少
スチーム節減額	31 M¥/y

[実施例 2] 産業車両用タイヤ製造工程における省エネルギー活動
(1990 住友ゴム加古川工場)

1) 工場概要

- ・生產品目 産業車両用タイヤ、テニスボール、海洋製品、印刷用品、ゴム管
床材その他

・従業員数		322
・エネルギー消費量	燃料	2208 kl/y
	電力	6337 MWh/y

2) 活動の背景

当工場では「全員参加による現場・現物重視の省エネルギー活動」を基本方針としている。産業車両用タイヤの大幅な増産が必要となったが、工場長から「限られたスペースの中で、エネルギー原単位を悪化させずに、最小の設備投資で増産計画を達成すること」という指示が出された。

3) 改善活動実施者

タイヤ設備担当者 12名

4) テーマ選定

工場長の指示に応じ、省エネルギーに結びつく生産性の向上をテーマとして取り上げた。混合、圧延、成形、加硫、仕上げ検査の工程別に設備能力を検討したところ、増産のためには加硫工程がネックになることが分かった。しかし、加硫器を増設する事はスペース上の問題があり、大きな設備投資と人員増を必要とし、エネルギー消費量も増加するので困難と判断された。このため、1台の加硫器でタイヤ2本を同時に加硫する「2段加硫の実施」をテーマに取り上げた。

また、加硫器の構造上、保温の施工率が低く、放熱が多い事も分かり、その改善も急務と判断され、同時に取り組む事にした。

5) 問題点と対策

1段型加硫器と2段型加硫器を Figure 5.11 に示す。

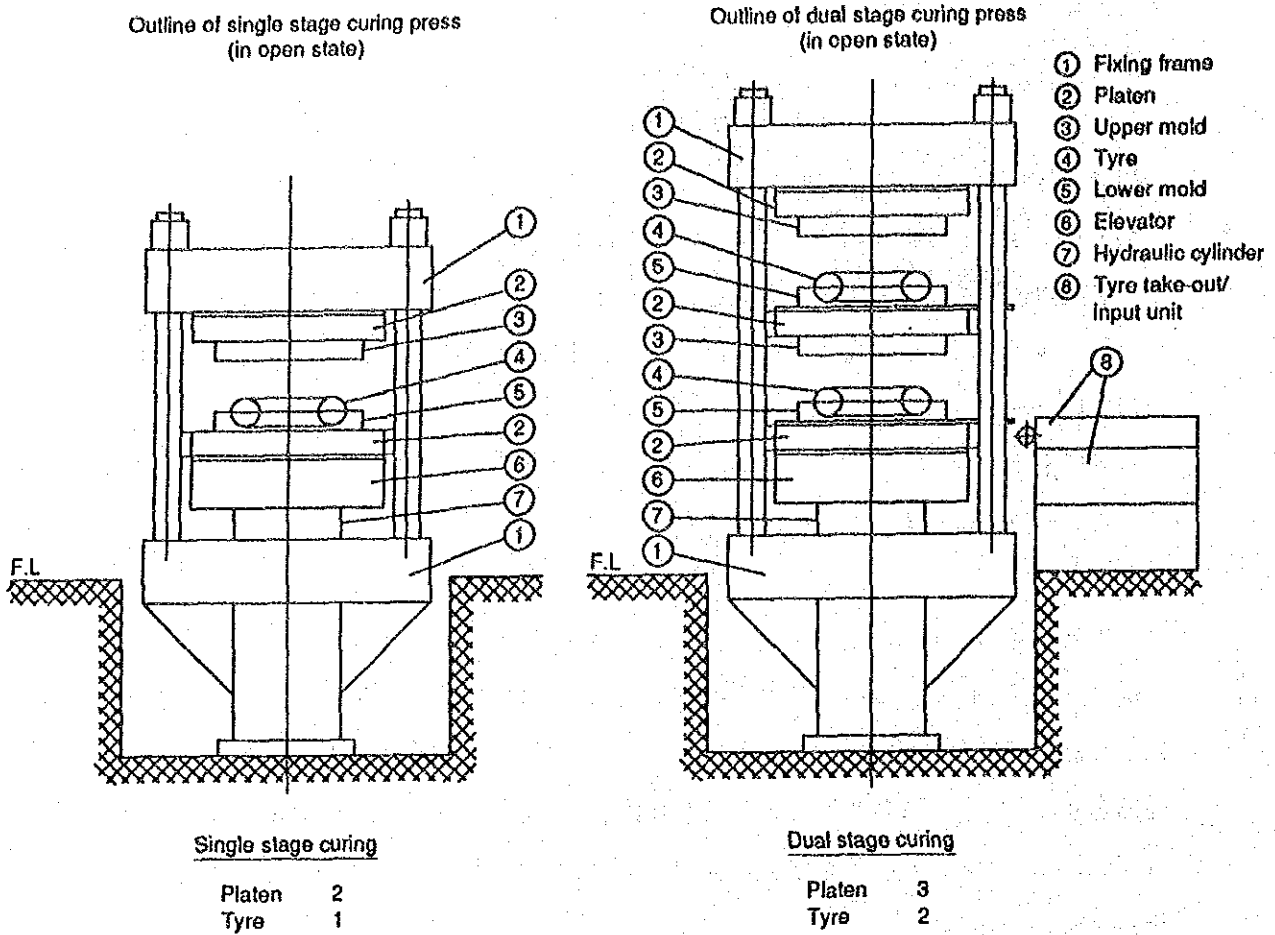


Figure 5.11 Single stage type curing press and a dual stage type curing press

a. 加硫器の改造

加硫器の高さが不足するので、フレームその他の改造を行った。

b. タイヤ取り出し装置の新設

タイヤ取り出し位置が高くなるので、操作が困難になり、時間もかかる。このため、自動運転式の取り出し装置を新設し、サイクルタイムの短縮を図った。このことにより、プレス開放時間も短縮され、金型からの放熱損失も減少した。

また、下金型ごとタイヤを取り出すので、上下金型の芯合わせが必要になるが、芯合わせ用の治具を考案して設置した。

c. 保温の強化

全般的に保温を強化するとともに、本体可動部分に Figure 5.12 のような自動巻き上げ式の断熱カーテンを設置した。

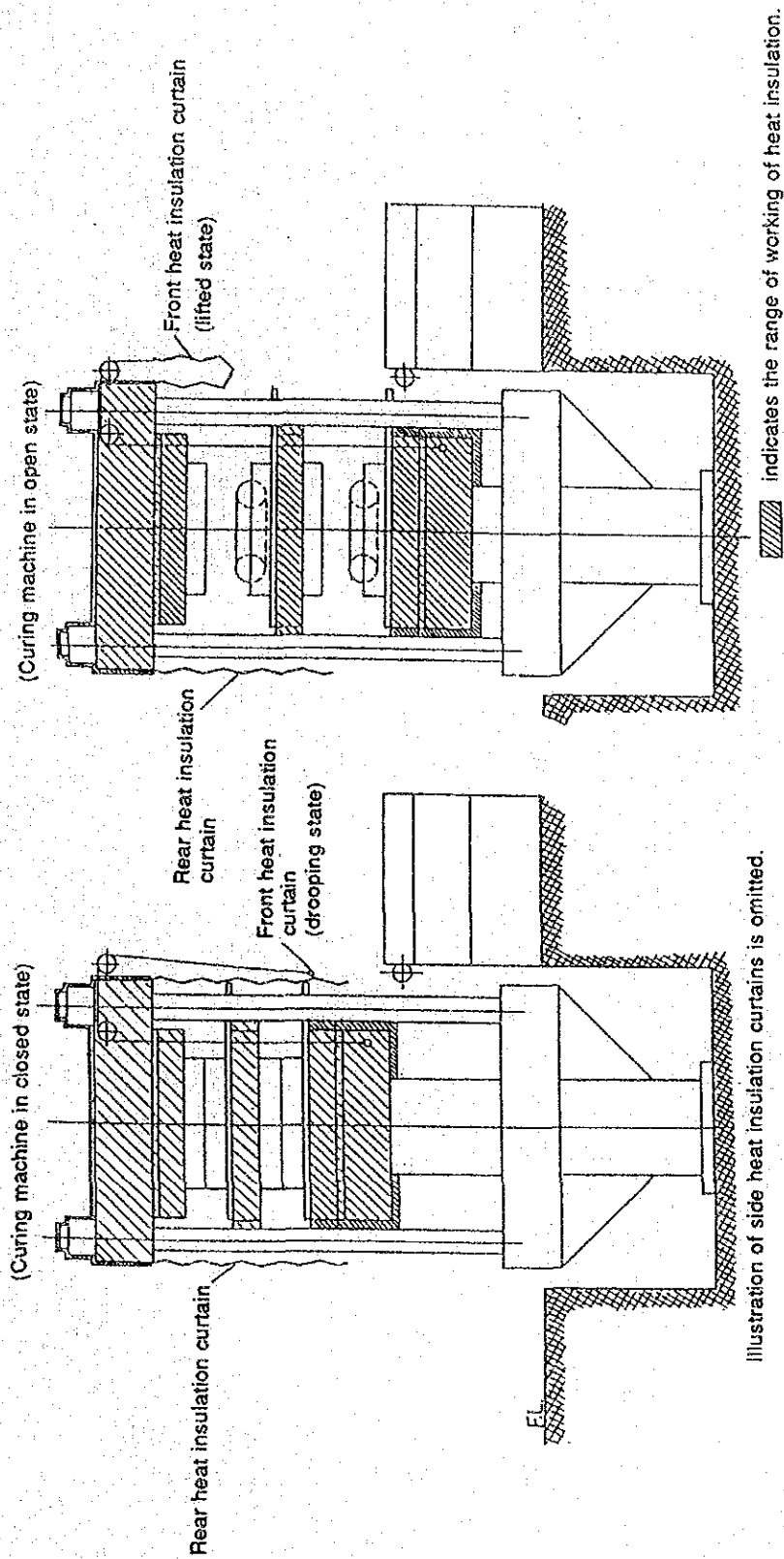


Figure 5.12 Automatic heat insulation curtain

6) 効果

タイヤ生産量	倍増
エネルギー原単位	20% 低減

6. アルミナ工業の省エネルギー

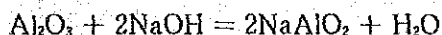
6. アルミナ

6.1 エネルギー使用の特徴

6.1.1 アルミナ製造プロセスの概要

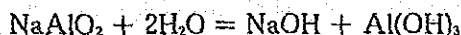
現在世界のアルミナの製造工場のほとんどがバイヤー法を採用しており、ハンガリーでも同様である。バイヤー法は、1881年オーストリアの化学者 Karl Josef Bayer が考案した方法で、以下のようにアルカリ溶液を使用する湿式法である。

- a. ボーキサイト中のアルミナ分をアルカリ溶液に溶解させ、アルミン酸ナトリウム溶液とする。



- b. ボーキサイト中の珪酸もアルカリに溶解し、引き続き溶液中のアルカリ分、アルミナ分と反応して難溶性のソーダライト系化合物 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) となり、酸化鉄、酸化チタンなどの不溶性成分とともに、抽出残渣としてアルミン酸ナトリウム溶液から分離される。

- c. アルミン酸ナトリウムの加水分解により水酸化アルミニウムの結晶を晶出させる。



- d. 水酸化アルミニウムを焼成して結晶水を蒸発させ、アルミナ (Al_2O_3) を得る。

この際、 α アルミナまで焼成するか、または α アルミナより低い温度で焼成する中間アルミナを製造する場合とがある。中間アルミナとは γ アルミナと α アルミナとが混合しているもので、アルミニウム電解炉の塵ガス中のふっ化水素の吸着能が大きい。 γ アルミナとは α アルミナ以外のアルミナのことである。焼成温度は α アルミナでは1200℃で、中間アルミナでは約1050℃である。

アルミニウム電解に使用するアルミナに要求される品質は、化学的に純度が高いこと、氷晶石浴によく溶けること、飛散しにくいこと、ふっ化水素ガスの吸収能が大きいこと、電解炉のアルミナ自動供給装置で使いやすいようにかさ比重が安定し、流動性が良いこと等である。

ボーキサイトは岩石の化学的風化作用によって生成したものであり、その成分はアルミナ、酸化第二鉄、二酸化けい素（シリカ）、二酸化チタン等である。アルミナは一水和物のベーマイト ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) や三水和物のギブサイト ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) を作っている場合が多いが、ハンガリーの鉱石にはダイアスポア ($\text{H} \cdot \text{AlO}_2$) も含まれている。ボーキサイトの成分の中で、経済評価上アルミナに次いで重要なものは、二酸化けい素である。二酸化けい素

はソーダライトを生成し、不溶解の抽出残渣となつて酸化ナトリウムおよびアルミナの損失を招くからである。

当初、バイヤー法はベーマイトを主成分とするヨーロッパのボーキサイトを対象にプロセスが開発された。ヨーロッパでは高濃度のソーダを使用し、単位液量当たり多量の水酸化アルミニウムを晶析させるので、水酸化アルミニウムの粒径が細くなる。このため、アルミナにした時に飛散し易く、それを防ぐため焼成時に少量の鈍化剤（ふっ化物）を添加し、よく焼きしめて α アルミナ80%以上に行っている。これをフラワリー（小麦粉状の）アルミナと称している。

一方ジャマイカ、スリナムなどのギブサイトを主成分とするボーキサイトを使用しているアメリカおよびカナダでは、低濃度のソーダ溶液を使用し、単位液量当たりの水酸化アルミニウム晶析量を比較的少なくし、粒径が粗くて揃った水酸化アルミニウムを得ている。この場合には、よく焼かなくてもダストの飛散が少ないので、 α アルミナの少ない中間アルミナを製造している。このアルミナは砂状で流動性が良いので、サンディアルミナと呼ばれている。電解炉の廃ガス中のふっ化水素を、供給するアルミナに吸着させる方式が普及しつつあるため、ふっ化水素の吸着能の大きいサンディアルミナの使用が増える傾向にある。フラワリーアルミナを製造していた工場が、セミ・サンディアルミナやサンディアルミナの製造に転換した例がある。

アルミニウム電解用アルミナの主要品質特性値を Table 6.1 に示す。

Table 6.1 Principal quality characteristic values of alumina for aluminum electrolysis

Type	Ignition Loss (%)	Particle size		Angle of repose (°)	Specific surface area (m ² /g)	α Al ₂ O ₃ (%)
		(%) - 44 μ	Mean μ			
Sandy Alumina	0.40 - 1.50	5 - 15	60 - 100	30 - 35	30 - 100	1 - 30
Floury Alumina	0.05 - 0.15	20 - 50	45 - 70	30 - 45	0.5 - 7.0	80 - 95

The values of ignition loss are of 300 ~ 1,100°C.

6.1.2 エネルギー・サイクルシステムの状況

バイヤー工程におけるエネルギー・サイクルシステムを Figure 6.1 に示した。アルミン酸ソーダ溶液が工程内を①→②→④→⑤→①と循環し、①でボーキサイト中のアルミナ分

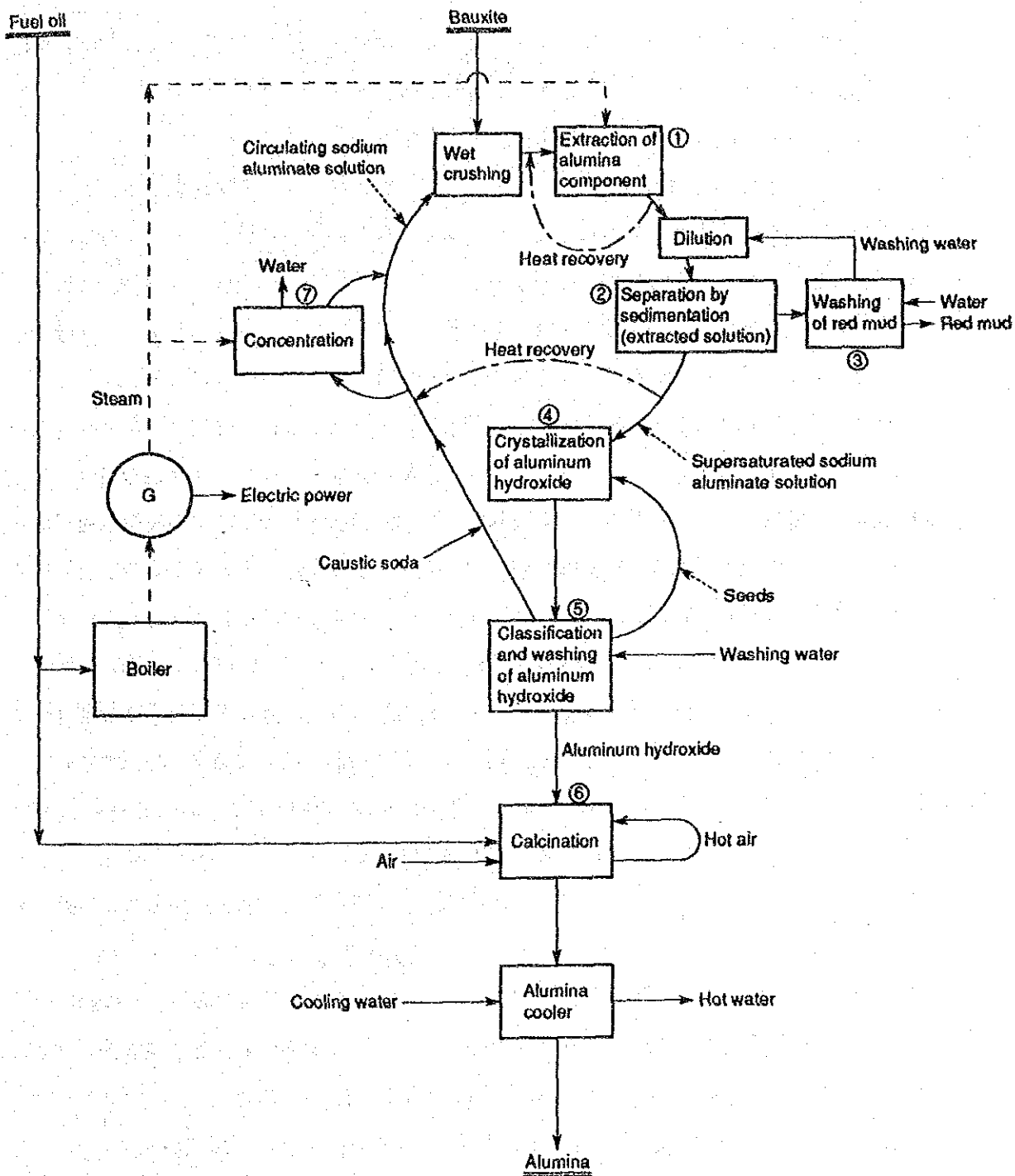


Figure 6.1 Energy cycle system in the Bayer's process

を液中へ抽出し、②で抽出残渣（赤泥）を分離し、アルミン酸ソーダの飽和溶液を得て、④で水酸化アルミニウムの種子を加え、水酸化アルミニウムを晶析（析出）させる。⑤で水酸化アルミニウムを分離したアルミン酸ソーダ液は、再び①へ送られる。⑤で分離された水酸化アルミニウムは分級され、微粒部分は種子として④に戻され、粗粒部分は洗浄後、⑥で焼成されてアルミナとなる。

ボーキサイト中のけい酸分のうち、主に粘土鉱物中のけい酸（反応性シリカ）は、液に溶解してアルミナ分およびソーダ分と反応し、不溶性のソーダライト化合物（ $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 脱けい生成物）を生成する。

赤泥はこの脱けい生成物と、ボーキサイト中の不溶解成分である酸化鉄、酸化チタン、石英などの混合物である。したがって、脱けい生成物中のソーダ分、アルミナ分は赤泥廃棄にともなって損失となる。④で晶析する水酸化アルミニウムの量は、④へ供給されるアルミン酸ソーダ過飽和溶液中のアルミナ分の約40～50%である。⑤を出たアルミン酸ソーダ溶液に①で、④の晶析分に相当するアルミナ分を液中へ加えることになる。

液の循環系に各所から水が加えられる。希釈水、赤泥洗浄水、水酸化アルミニウム洗浄水、ボーキサイトの付着水、および①で抽出のために直接スチームを吹き込む場合のその凝縮水などである。これら系内に加えられた水を系外に出すために、⑦の濃縮工程がある。

液の循環系で最も温度の高いのは①の抽出工程であって、ボーキサイト中のアルミナ分がペーサイトの場合は約250℃、ギブサイトの場合は約150℃である。②は常圧の沸点（約106℃）以下で行われる。⑤から出る液は再び①の温度まで加熱されなければならないので、①→②、②→④の熱を⑤→①の液の予熱に利用している。液の温度を下げる場合には、液から蒸気を発生させて（フラッシュ蒸気）、その蒸気を熱交換器に導き、⑤→①の液を予熱して熱を回収する。また凝縮水は③および⑤の洗浄水に利用することもできる。バイヤー工程はこれらを組み合わせた熱回収型工程になっている。

⑥の焼成工程は水酸化アルミニウムの付着水分および分解生成水を蒸発させる工程である。

バイヤー工程のうち②→④および⑤→⑦→①は液を取り扱う工程である。それ以外の工程はスラリー、泥、塊、粉体を取り扱う工程であり、これらのハンドリングに種々の工夫がなされている。Figure 6.2 にアルミナ製造工程図の一例を示す。

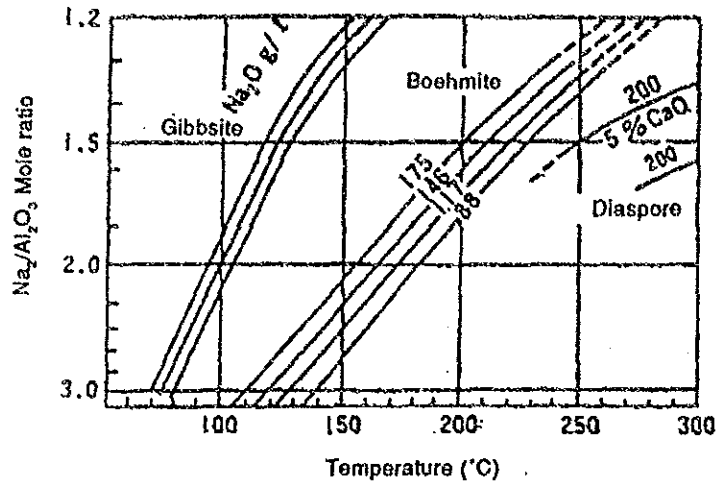


Figure 6.3 Balancing solubility of gibbsite, boehmite and diasporite to the synthetic liquid

が、ベーマイト、ダイアスポアを含むボーキサイトを抽出する場合は高ソーダ濃度、高温を要するので、通常のオートクレーブ型のものの他にチューブ型抽出装置（チューブダイジェスタ）も用いられている。Figure 6.2に示すように、溶液のみを予熱・加熱したあと、湿式粉碎したボーキサイトスラリーと混合してダイジェスタへ導入する方法と、ボーキサイトスラリーと液とを混合してから、予熱・加熱する方法とがある。

抽出温度までの顕熱および反応熱を供給する熱源としては、液循環系の回収熱とボイラで発生したスチームを使用する。スチームを直接スラリーに吹き込んで加熱するのが最も簡便であるが、液循環系に水を投入することになり、濃縮工程で系外へ抜き出す必要があるので、直接スチーム吹き込み方式と間接加熱方式との選択は経済的比較によって行わなければならない。予熱用の熱交換器では、脱けい生成物を主成分とするスケールが熱交換面に生成して伝熱係数の低下を招くので、スケールの効率的な除去による熱交換効率の維持・向上が抽出工程を管理する上で重要である。

(2) 抽出残渣（赤泥）分離・洗浄工程

抽出残渣（赤泥）を含むアルミン酸ソーダの過飽和溶液から赤泥を分離し、清澄溶液を得て晶析（析出）工程へ送る。一方、分離された赤泥からは、同伴するアルミン酸ソーダを回収する。赤泥の分離には、シックナによる重力沈降が一般に用いられている。赤泥の洗浄にはFigure 6.2に示すように、数基のシックナを直列につないで向流多段洗浄を行い、最終段で真空濾過により脱液するのが一般である。この工程では、液が過飽和状態にあるので、水酸化アルミニウムの晶析を防止することが重要である。また、できるだけ少ない洗浄水で効

率的な洗浄を行わなければならない。

シックナでの赤泥の濃縮を促進するには、適切な沈降助剤の選定が必要である。また、最近シックナによる洗浄を2段階程度にして、大型のディスクフィルタにより洗浄濾過し、少量の洗浄水で洗浄効果を上げる方法が開発されている。

赤泥を分離した溶液の中にはまだ微粒の赤泥が存在するので、これを除去するために消石灰をプレコートした濾過器や、サンドフィルタによる清澄濾過を行う。

(3) 晶析（析出）工程

析出槽では、アルミン酸ソーダに種子の水酸化アルミニウムを加えて攪拌し、水酸化アルミニウムを晶析させる。この工程の要点は、

a) 析出槽の型式選定

b) サンディアルミナに適した粗粒で、しかも焼成工程で解砕され難い粒子強度の大きな水酸化アルミニウムの製造

c) 単位液量当たりの晶析量を多くする方式の開発

などである。

a) については、機械攪拌翼を持った混合槽から、空気攪拌（エアリフトポンプ）へ進み、さらに析出槽の内部に円筒状の管（ドラフトチューブ）を設置し、上部の軸流ポンプで析出槽内のスラリーをドラフトチューブ内に下向きに流して攪拌するドラフトチューブ・ミキサが開発され、1槽の容量約3000m³の析出槽を製作することができるようになった。

b) については、析出初期の高温時には結晶成長による粗粒化と微粒子の凝集による粗粒化が多く、低温になるに従い微粒子が発生してくる。粗粒で強度の大きな水酸化アルミニウムを得るためには、温度、種子の粒度と量により凝集反応と結晶成長反応を巧みに調節しなければならない。そのためには、最終段の析出槽から取り出される水酸化アルミニウムスラリーの分級も重要である。

c) については、ヨーロッパ型バイヤー法では循環液のソーダ濃度が高く、析出工程に送られる溶液のアルミナ濃度も高く、さらに析出時間を60～80時間もかけて粒度の細かい水酸化アルミニウムを得ているので、溶液1m³当たり約80kg（Al₂O₃換算）の生産量である。一方、アメリカ型バイヤー法では循環液のソーダ濃度が低く、アルミナ濃度の低い溶液から約30時間の析出時間で、粒度の粗い水酸化アルミニウムを1m³当たり50kg（Al₂O₃換算）得ている。液循環系に必要なエネルギー量は、循環液量に比例する部分が多いので、b)の条件を満足して単位液量当たりの生産量を向上させることは、省エネルギー上大きな効果がある。最近ではヨーロッパ型バイヤー法の条件で、サンディアルミナを製造する方法が開

発されている。

(4) 水酸化アルミニウムの焼成

ロータリキルンが用いられている工場では、ロータリキルンの廃ガスの熱を水酸化アルミニウムの乾燥や一部脱水へ利用し、また焼成アルミナの熱を燃焼空気の予熱に利用して重油原単位を改善している。重油原単位は、以前はアルミナ1トンあたり180ℓであったものが、最近は90ℓ台に下がってきている。

1970年代初期から、新設の場合には流動焼成炉が使われるようになってきた。流動焼成炉はサンディアルミナの製造に適していて、ドイツのLurgi社とVAW社が共同開発したものや、アメリカのAlcoa社が開発したものが稼働している、重油原単位はアルミナ1トンあたり80ℓ以下になっている。

しかし、流動焼成炉はメタル原料用のアルミナのみを焼成するには適しているが、粒子成長制御をするのが難しい。ロータリキルンは焼成度合いを変えて粒子成長制御を行えるのでαアルミナ含有量が異なるアルミナを作り分けることができ、アルミニウムメタル原料用アルミナのみならずある種のケミカルアルミナの製造にも用いられる。

(5) 原単位

Table 6.2は日本におけるアルミナ製造原単位の推移の一例を示したものである。ボーキサイト、苛性ソーダの原単位はボーキササイトの品位により決定されるが、スチーム原単位と、

Table 6.2 Unit consumption for production of alumina (per ton of alumina)

Year		1950	1955	1960	1970	Expected value for a new plant
Bauxite	kg	2,220	2,110	2,080	2,150	Determined by the grade of bauxite
Caustic soda	kg	—	73	63	101	Determined by the grade of bauxite
Fuel oil for calcination	/	196	187	165	125	75
Steam	kg	5,280	2,280	1,580	1,830	1,100
Electric energy	kWh	505	280	220	210	170

焼成用重油原単位は設備や技術のあり方によって決まる。スチーム原単位は1950年代に、工程の連続化と液循環系の熱回収により飛躍的に向上した。さらに、単位液量あたりの生産性の向上、熱回収の徹底的実施、抽出残渣（赤泥）や水酸化アルミニウムの洗浄法の改善による洗浄水の削減などが実施されて、原単位が向上している。

6.2 熱エネルギー使用の合理化

6.2.1 省エネルギー対策の段階

省エネルギーを行うには次の段階で進めると良い。

第1段階は、大きな投資をしないで操業改善を行う。

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行う。この場合、エネルギーが有効に活用されているかどうかを、データで判断することから始める。

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、に係わる工場内のデータの全てが、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。

6.2.2 省エネルギー対策の項目

(1) 抽出工程

ハンガリー産のボーキサイトのアルミナ組成の一例を示す、

Table 6.3 Composition of Hungarian Bauxite

Boehmite	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	27.2%
Gibbsite	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	14.4%
Diaspor	$\text{H} \cdot \text{AlO}_2$	1.6%
Alumogoeite	AlOOH	0.9%
Kaolin		5.7%
TOTAL Al_2O_3		49.8%

このボーキサイトは1水和物の Boehmite を多く含んでいるため、抽出温度は約240℃と Gibbsite系ボーキサイトの抽出温度約150℃よりも高い。そのため、保温を十分に行うことは効果的である。

多管式熱交換器は定期的な洗缶を必要とするので、フランジ部に恒久的な保温を施することは難しいが、裸のまま放熱をさせておかないで、例えば表面にアルミニウムを蒸着した耐熱布をフックに掛けて垂らして、フランジの回りを巻くと良い。完全な保温ではないが、ある程度は効果があり、取り外し取り付けが便利である。上下の蓋には、取り外し可能な成形保温キャップを取り付けるとよい。

ダイジェスタ、フラッシュタンクや配管等の補修時に、もし保温が剥がれたら速やかに修復しておかなければならない。

スチーム配管や弁、フランジ部からのスチームの漏洩は、始めは軽微な漏れでも、音速を超える噴出速度であるために、漏洩部の磨耗が急激に進行して漏洩スチーム量が急増するから、遅滞なく漏洩を止めておかねばならない。そのためには漏洩頻度が多い箇所を調べておき、バイパス配管を作っておくとか、パッキング材料の在庫を欠かさないこととか、漏れたらすぐに誰でも直せるように多能工化教育をしておく等の必要がある。

アルミナ工場には、スチームに限らず高温のアルカリ液やスラリーなど、非常に取り扱い難い物質が多いが、省エネルギー上、安全上、省資源上及び工場美化の点からも、常日頃漏洩のないように心掛けなければならない。また、漏洩があった場合は速やかに補修、清掃をしておく。

ダイジェスタが間接加熱方式である場合は、使用時間の経過に伴い加熱表面にスケールが付着して熱伝達率が次第に低下し、遂には設定温度まで昇温できなくなるので、洗缶のために他系列に切り替えを行う。そのためには、温度測定器の定期点検を実施するとともに、常日頃から操業温度および熱伝達率の推移に注意して、最適なタイミングで掃除するようにしなければならない。フラッシュ蒸気により低温液を加熱している熱交換器についても同様のことが言える。

抽出工程はかつては回分方式が一般的であった。回分方式では一定条件に保つことは容易であるが、一方、運転要員を多く要し、本来の反応に関与しない液の注入、排出の間は装置の能力は有効に使われず、その間に放熱ロスが発生するという欠点がある。

連続方式ではこれらの欠点がなく、省エネルギーにとっても、操業の安定や製品品位の安定にも、非常に優れた方式である。このことは抽出工程だけでなく、希釈工程、晶析工程についても同様なことが言える。

良い品質の製品を、定められた量、定められた時間に、優れたエネルギー原単位で生産するためには、守らなければならない重要な事項を盛り込んだ操業基準を作成し、それを文書化し、管理者・作業者に徹底する必要がある。それには単に操業だけでなく、設備、計測機器の保守管理、使用上の重要な要点をも含めておく。

(2) 焼成工程

前に述べた通り、アルミナプロセスに加えられるエネルギーの内、焼成工程では24%が消費されている。省エネルギー対策としては、原料の脱水、燃焼管理、廃ガスの熱回収、アルミナ熱の回収がある。

a. 原料の水酸化アルミニウムは真空連続濾過器で濾過され、カルサイナに供給される。濾過ケーキの水分が多いと、カルサイナでの重油の消費量が増えるので、できるだけ水分を減らしておく必要がある。濾過ケーキの水分を1%減らせば、焼成重油を0.85%減少させることができる。濾過器の濾布面にケーキが部分的に付着している状態になったり、または一部脱落していると、空気を吸い込んで真空度が上がらなくなり、ケーキの付着水分が増える。このような場合には、水酸化アルミニウムスラリーの固体濃度が高過ぎないかをチェックする。正常であれば、ケーキを全部落とした後、洗浄水により濾布洗浄を行い、再び濾過をやり直す。ケーキを厚くすると真空度は上がるが、あまり厚く付け過ぎると濾過能力が低下するので、最適点を見付ける必要がある。

b. カルサイナの燃焼管理のうち先ず空気比については、空気量が少ない場合には不完全燃焼を起し、煙突からススが発生するようになるためすぐに気が付く。しかし、空気量が多い場合には、分析計がないと見過ごされる場合が多い。空気量が増加すると排ガス量も増加するために排ガスの持ち去る熱量が増加する。したがって、排ガス損失を最小にするには、排ガス損失と未燃損失の合計が最小になるような空気比を選べば良い。未燃分は空気比1付近で急激に増加するため、液体燃料では空気比1.1~1.3が望ましい値である。

次に炉内圧については、高過ぎると炉内ガスが吹き出し、マイナスが強いと外気を吸い込み、熱効率が悪くなる。これらを防ぐには、カルサイナのバーナ側の固定部と回転部との隙間付近で圧力が0 mmAqか、あるいは僅かにマイナスになるように吸引ファンを調節して操業する。

また、カルサイナから煙突までの間で、余分な空気を外部から吸い込まないように、空気が入り込む箇所を徹底的に塞ぎ、系内の温度低下や吸引ファンの動力増加を防ぐ必要がある。

c. 塵ガスの熱回収については、ロータリキルンには多段サイクロン・プレヒータを付けるのが非常に有効で、これはハンガリーでも現に採用されている。

d. 焼成アルミナの熱回収については、遊星クーラの付いたカルサイナでは、各々の遊星クーラにアルミナが均一に入り、冷風も均一に入れば良好な熱回収が行われて、吸い込んだ冷風が充分予熱される。燃焼に必要な空気はバーナ用一次空気の他は、すべて熱回収された温風を使う様にする。

遊星クーラから出たアルミナは、次にフルィダイズ・クーラやロータリ・クーラで冷却される。フルィダイズ・クーラでは中の蛇管に水を通し、温水をつくるのも一方法であるが、温水が利用し切れずに余るようであれば、水の代わりに温度の低いアルミン酸ソーダ液を通して熱回収すればスチームの削減につながる。

- e. カルサイナのバーナ側の固定部と回転部との隙間から漏れて上へ昇る熱風を全くなくすることは難しいので、その上部にフードを付けてファンで引き、一次空気としてカルサイナに吹き込むと良い。
- f. アルミナはアルミナサイロを経て出荷されるまでの間に、数多くの輸送機器すなわちシュート、ニューマティックコンベヤ、ベルトコンベヤ、スクリーコンベヤあるいはエアースライド等を通るが、アルミナは空気に乗って屋内屋外に飛散し易い。折角多くの工程を経て製造されたアルミナが飛散して失われることは、それまでに加えられたエネルギー、原料や副原料が無駄になることであり、損害が大きく、工場的美観も害するので飛散防止につとめなければならない。

(3) 水バランス

アルミナプロセスで循環されている工程液（アルミン酸ソーダ溶液）には次のような水が入ってくる。

- a. 原料のボーキサイトが付着している水分
- b. 副原料の苛性ソーダに付随する水分
- c. 赤泥（ボーキサイトからアルミナを抽出した不溶解抽出残渣）の付着ソーダを取り除くための洗浄水
- d. 水酸化アルミニウム晶析工程で、ダイジェスタから出たアルミン酸ソーダ溶液を必要な濃度に調整するために加えられる稀釈水。
- e. 水酸化アルミニウムの付着ソーダ分を取り除くための洗浄水
- f. その他雑水

これと反対に、工程から赤泥や水酸化アルミニウムに付着して出て行く水がある。一般的には入水量が出水量よりも多いこと、および工程液が循環使用されることから濃縮工程が設けられている。濃縮にはスチーム加熱の多重効用真空蒸発缶が用いられる。したがって、入水量を減らすことは蒸発缶で消費するスチームを減らすことにつながり、大きな省エネルギーとなる。また蒸発缶の蒸発効率を向上させれば、さらに省エネルギーを図ることができる。

入水量を減らすためには、次のような事項を実施する。

- a. 作業場洗浄水はサイクル内に入らないように区別する。
- b. ドライシーリングのポンプを使用し、シール水を無くする。
- c. 雨水を別系統にして、工程液に入らないようにする。
- d. 真空回転ドラムフィルタにおける水酸化アルミニウム洗浄を、滴下方式からスプ

レー式に代える。

6.2.3 省エネルギー対策の実例

1973年、1979年の2次にわたる石油危機により石油価格が著るしく高騰したため、日本のアルミニウム、アルミナ産業はその存立の基盤を揺るがされる様な重大な事態に追い込まれた。このため、各社とも従業員全員参加による省エネルギーに全力を傾注して努力した。以下に一般作業員により進められた幾つかの実施例を示す。

(1) ボーキサイト粉砕工程の省動力化

原料ボーキサイトを粉砕機で湿式粉砕して得られたスラリーは、粗粒部を除去するためにスラリーポンプで電磁振動ふるいへフィードされる。目開き2mmの電磁振動ふるいでふるい分けられたアンダーサイズはスラリー圧送ポンプで抽出工程へ送られる、一方、オーバーサイズは粉砕機へ戻して再粉砕する。

a. 電磁振動篩改善

電磁振動篩にフィードされるスラリーの固体濃度は約50%と高く、スクリーンの目詰まりが早いため、1日6回も掃除を必要とし、篩分効率の低下の大きな原因になっていた。電磁振動篩は大型で重量が大きく、消費電力が13kW h/基と多かった。

この状況を改善するために、小型で軽量の電磁振動篩に替えることとし、必要能力を確保しながらアンダーサイズの平均粒度を変えないよう、スクリーンの傾斜、振動数および目開方向の検討を行った。改善結果をTable 6.4に示す。

電磁振動篩の効率が向上し、スラリーフィードポンプの動力が減少した。

b. スラリー圧送ポンプの省動力

次にスラリーの脱気による圧送ポンプの省動力改善を行った。ボーキサイトスラリーが粉砕機、振動篩を通過する時に多量の空気を巻き込み、その空気がスラリー中に気泡となって存在する。このため圧送ポンプの能力低下を来し、安定操業を維持する上で大きな障害になっている。

従来、クッションタンクのレベルを20%±10%でコントロールしていたのを、レベルを上昇させたらポンプの消費動力が減った。これはポンプのサグションヘッドの増加と、スラリーの滞留時間増加による脱気効果のためと考えられる。しかし、スラリーレベルを70%以上にすると、気泡の多いスラリーの溢流が発生するため、コントロールレベルは50%±10%にしている。

さらに、タンクとポンプの間にFigure 6.4に示す脱気筒を設置し、筒上部を真空系に接

続し、筒内液面上に負圧をかけスラリー中の気泡を除去し、ポンプ消費動力を減らすことが出来た。

Table 6.4 Comparison between conventional electromagnetic vibration sifters and improved small size electromagnetic vibration sifters

	Conventional sifter	Small size sifter	Effect
Vibrator electric energy	12.25 kWh/unit	0.16 kWh/unit	-12.09 kWh/unit
Vibrator vibration frequency	3,600 RPM	1,800 RPM	
Screen area	2.47 m ²	0.88 m ²	-1.59 m ²
Screen aperture direction	Vertical	Horizontal	
Screen inclination	16 degrees	20 degrees	
No. of times of cleaning to eliminate plugging	6 times per unit per day	Once per unit per day	Reduced by 5 times per unit per day
Slurry pump electric energy	22.7 kWh/unit	22.0 kWh/unit	-0.7 kWh/unit

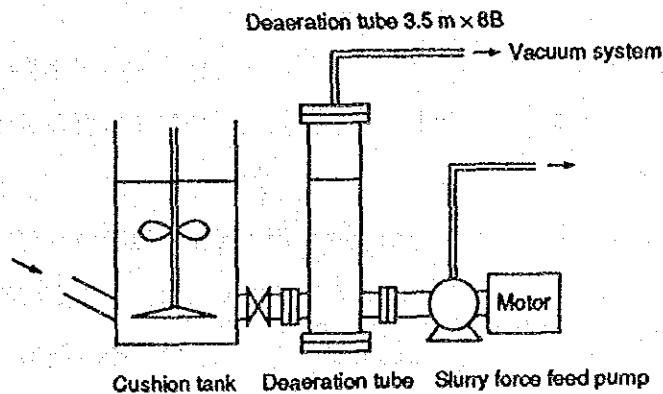


Figure 6.4 Sketch of deaeration tube

スラリーレベル上昇時と、さらに脱気筒を取り付けた場合の動力削減効果を Figure 6.5 に示す。

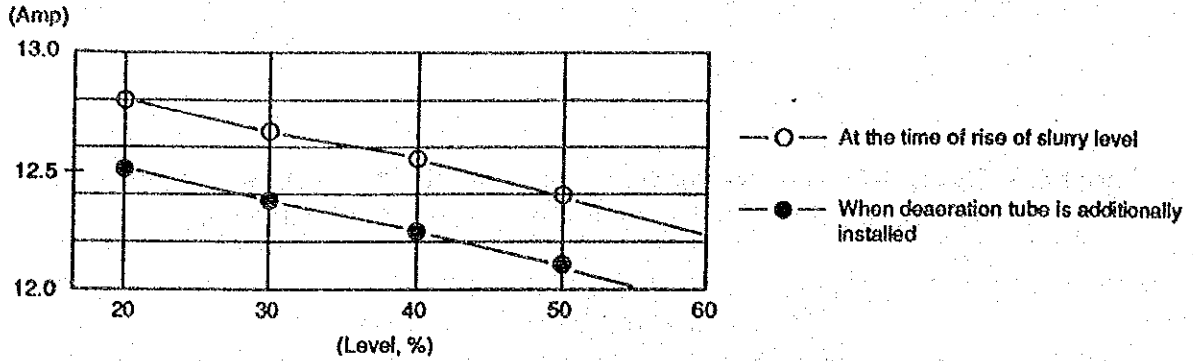


Figure 6.5 Electric energy saving effect of rise of slurry level and of additional installation of deaeration tube

以上の改善対策を実施した結果、次の効果があった。この時のアルミナ生産量は年間37万トンであった。

電磁振動篩の小型軽量化による動力削減	2324千円/年
電磁振動篩の効率向上によるフィードポンプの動力削減	123千円/年
脱気効果によるスラリー圧送ポンプの動力削減	694千円/年
スクリーン面積の減少によるスクリーン購入費減	770千円/年
スクリーン目詰まり掃除の減少による人件費節減	289Man-h/年

(2) 澱粉溶解用水の節約

赤泥の沈降促進と濃縮の目的で、シックナに沈降助剤を使用する。沈降助剤にはポリアクリル酸ソーダ、ポリアクリル酸アミド等の高分子凝集剤を使用するが多いが、価格の安い澱粉を使用する場合もある。

ここに述べるのは澱粉を使用している場合の改善例である。澱粉の溶解には工業用水を使用していたが、この水は澱粉とともにプロセス内に入るために、工業水の使用量を減らして、その代りにシックナのオーバーフロー液を使用するようにした。その結果、工業用水と蒸発缶で使用するスチーム量が削減された。

澱粉を工業用水でスラリー化して、それに温度のある液を加えるのは問題がないが、澱粉に直接温いシックナ・オーバーフロー液を加えると、つぶつぶの小さな塊がたくさん出来て、うまく溶解することが出来ない。このため、澱粉溶解タンクの前に容量50ℓの小さなミキシングタンクを設置し、予め少量の工業用水で澱粉スラリーを作ってから（100 ccの水に澱粉35 g 添加）、溶解タンクでシックナオーバーフロー液と混合するようにした。Figure 6.6に、改善前と改善後の溶解設備を図示した。

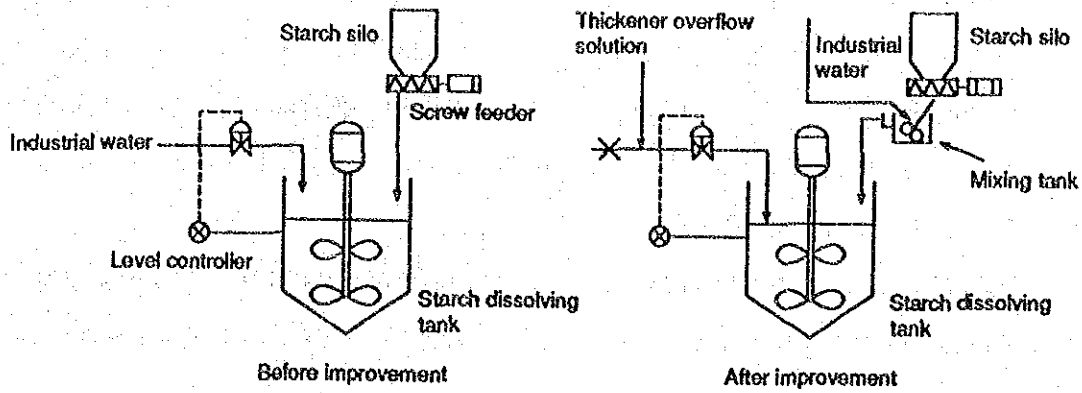


Figure 6.6 Starch dissolving equipment before and after improvement

改造設備は当初は順調に運転されていたが、しばらくして澱粉溶解タンクに澱粉の塊が多量に発生した。これは澱粉の α 化によつて粘度が高まり、空気を巻き込んで泡が発生し、泡の上に澱粉が乗り、固まった澱粉が溶解タンクに落ちて塊りが発生したものと考えられる。

そこで、澱粉スラリーとオーバーフロー液とが早く接触するように、またオーバーフロー液中の空気が早く抜けるように、Figure 6.7 に示した拡散板を溶解タンクの上に取り付けた結果、順調な操業を続けることができるようになった。

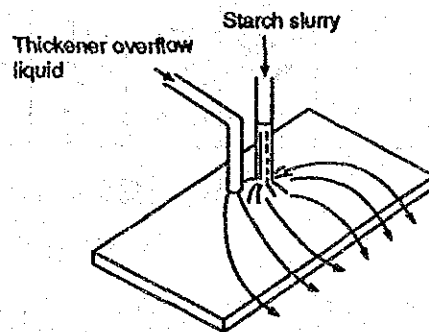


Figure 6.7 Diffusion plate

この澱粉溶解方法の改善対策により、以下の効果が得られた。

(アルミナ生産量年間37万トン時)

工業用水の節減

改善前 $3 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h/d} \times 333 \text{ d/y} = 23,976 \text{ m}^3/\text{y}$

改善後 $400 \text{ t/y (澱粉使用量)} \times 100/35 = 1,143 \text{ m}^3/\text{y}$

節水量 $22,800 \text{ m}^3/\text{y}$

節減金額 652 千円/年

濃縮用スチームの節減

節減量 $22,800\text{m}^3/\text{y} \div 3\text{m}^3/\text{t-steam} = 7,600\text{t}/\text{y}$

節減金額 $39,520\text{千円}/\text{年}$

(3) 石灰乳配管のスケール除去作業の改善

アルミナ製造工程では、工程液中に含まれている $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (蓚酸ソーダ) 等の不純物を Ca 塩として沈降分離するため、および Na_2CO_3 の苛性化のために、工程の希薄液で溶かした石灰乳を $30\text{kg-CaO}/\text{t-Al}_2\text{O}_3$ 程度添加している。

この配管はスケール付着のため、徐々に流量が低下するので 2~3ヶ月毎に水洗、掃除が必要になる。この時使用する工業用水は全量が工程液に入り、濃縮負荷になる。

スケールの成分は蓚酸カルシウム、炭酸カルシウム、アルミン酸カルシウムであり、45%苛性ソーダにより90℃でスケールを溶かせることが分かったので、実施に移した。実配管での苛性ソーダによる洗浄結果を Table 6.5 に示す。

Table 6.5 Results of washing using caustic soda at real pipeline

Time	h	0	1	2	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
Liquid temperature	°C	90	91	96	88	90	88	90	90
Flow rate	m ³ /h	4	6.6	7.8	8.0	8.4	8.6	9.0	9.0
Scale thickness	mm	8	—	—	4	—	—	—	2

対策後の効果

a. 工業用水の節減

苛性ソーダ洗浄により、工業用水は不要になった。

$2125\text{m}^3/\text{y}$ の節減 (内工程への入水 1075m^3)

b. 濃縮用スチームの節減

$1075\text{m}^3/\text{y} \div 3\text{m}^3/\text{t} = 358\text{t-steam}/\text{y}$

c. 工数節減

$3\text{工}/\text{日} \times 15\text{日}/\text{回} \times 5\text{回}/\text{年} = 225\text{工}/\text{年}$ の節減

(4) プレート熱交換器化学洗浄作業の改善

プレート熱交換器により赤泥シクナー・オーバーフローの熱を、晶析が終わった後の工程

液の加熱用に回収利用している。

高温液側では、スケールの組成がソーダライト系であるため硫酸洗浄を行っており、一方低温液側ではスケールの組成が水酸化アルミニウムと蓆酸ソーダであるため苛性ソーダ洗浄を行っている。いずれも頻度は月1回で、洗浄条件は Table 6.6 の通りである。

Table 6.6 Conditions for chemical washing of plate heat exchanger

	Step	Concentration (%)	Temperature (°C)	Flow velocity (m³/h)	Time (h)	Total flow rate (m³)
High temperature liquid side	Sulfuric acid washing	10	Normal temperature	45	4	10
	Hot water washing	—	80	45	2	20
Low temperature liquid side	Caustic soda washing	45	80	45	4	20
	Hot water washing	—	80	45	2	20

Specification for plate heat exchanger

Heat transfer surface area 284 m²/unit
 Number of plates 201 plates/unit
 Plate interval 5 mm
 No. of units installed 8 units

高温液側のスケール付着状況を調査した結果、月1回の硫酸洗浄は過剰頻度であることが判明し、3ヶ月に1回に変更した。

低温液側の温水洗浄排水の Na₂O 濃度は 20 g/l であるが、熱交換器内の残液のために温水洗浄開始直後はソーダ濃度の濃い液が出る。そこで、温水洗浄開始後5分間（ポンプ流量 0.7m³/min）の排出液を工程液に回収し、その後の排水は排水処理工程に送ることとした。回収液は Na₂O 95 g/l、3.5m³/基、排水処理工程に送る排水は Na₂O 4 g/l、液量 16.5m³/基となった。

対策後の効果

低温液側

工程液中に入る温水洗浄排水量の減少による濃縮用スチームの節減

入水量減 16.5 m³/基 × 8 基/回 × 12回/y = 1584 m³/y
 スチーム節減量 1584 m³/年 ÷ 3 m³/t-steam = 528 t/y

高温液側

- a. 洗浄周期延長による工業用水節減量

$$20 \text{ m}^3/\text{基} \times 8 \text{ 基/回} \times (12-4) \text{ 回/年} = 1280 \text{ m}^3/\text{y}$$

- b. 洗浄周期延長による98%硫酸節減量

$$10 \text{ m}^3/\text{基} \times 8 \text{ 基/回} \times (12-4) \text{ 回/年} \times 1.08 \times 10\% \div 98\% = 70 \text{ t/y}$$

中和工程での増加量 Na_2O 62kgを中和するのに必要な98%硫酸量は100kg

$$4 \text{ g/l} \times 16.5 \text{ m}^3/\text{基} \times 8 \text{ 基/回} \times 12 \text{ 回/年} \div 62 \times 100 \div 1000 = 10 \text{ t/y}$$

$$\text{節減量 } 70 - 10 = 60 \text{ t/y}$$

- c. Inhibitorの節減(硫酸洗浄の後0.5 vol %のInhibitorを添加する)

$$10 \text{ m}^3/\text{基} \times 8 \text{ 基/回} \times (12-4) \text{ 回/年} \times 0.005 = 3.2 \text{ t/y}$$

(5) オリバーフィルタにおける水酸化アルミニウム洗浄用水の節減

サンディールアルミナを製造する際に、析出が終った水酸化アルミニウムスラリーをプライマリーシックナ、セカンダリーシックナ、ターシャリーシックナと順に通し、プライマリーシックナで得られた水酸化アルミニウムを製品にするようにしている。

セカンダリーシックナ及びターシャリーシックナで得られた水酸化アルミニウムは析出槽の初槽に、種子として添加する。ターシャリーシックナからの水酸化アルミニウムの表面には、蓆酸ソーダ ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) が付着しており、これが水酸化アルミニウムの晶析を妨げるので予め除去しなければならない。

蓆酸ソーダは温水に溶けやすいので、種子洗浄工程でオリバーフィルタの濾過ケーキを温水でリバルブして蓆酸ソーダを温水に溶かし出し、もう1度濾過してケーキを種子として析出槽に送る。

蓆酸ソーダを多量に含有した濾液は蓆酸除去工程に送られ、消石灰と反応させて蓆酸カルシウムとして、シックナで除去する。シックナのオーバーフローには CaO を加え、蓆酸除去工程に戻す。その工程略図を Figure 6.8 に示す。

リバルブ温水量の節減を図るため、蓆酸ソーダ除去率との関係を調査した。温水量を20%減少すると除去率は90~95%から80~95%に低下するが、この程度なら問題はない。温水量をこれ以上減らすと液中の Na_2O 濃度が上昇し、蓆酸ソーダと消石灰の反応率が急激に落ちるので、温水量の減少は20%に止めることにした。

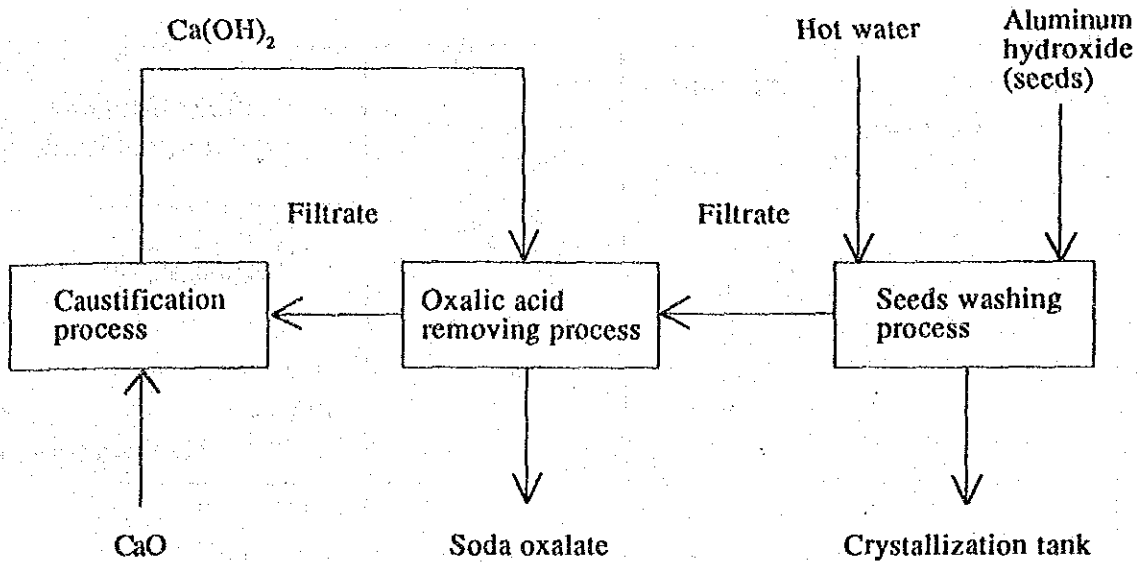


Figure 6.8 Rough flow of seeds washing process and oxalic acid removing process

対策後の効果

濃縮用スチーム節減量 9500 t/y (50.4 M¥/y)

(6) 赤泥ケーリーフィルタ洗浄水の節減

この工場では赤泥リカー・シクナのオーバフロー液を、8基の加圧葉状濾過器（ケーリーフィルタ）で濾過して、濾液を晶出工程に送っている。

フィルタは約20時間使用したら停止・開放して、濾布面の濾過助剤や赤泥微粒等を水洗する。この際使用する工業用水は1基当たり7.2 m³あり、1日の洗浄基数は10基である。この洗浄排水はNa₂O 40 g/l、固形物質180 g/lを含み、工程液に入る。この水量を削減するため幾つかの改善を試みたが、結局、水洗ノズルの口径改善が効果的であることが分かり、これを実施した。

水洗ノズルは12本あるが、その口径を調べたところ、8～9.5mmとバラツキていることが分かった。そこでテストを行い、口径と水量及び洗浄効果の関係を調べた。

その結果を Table 6.7 に示す。

Table 6.7 Results of nozzle tests

Bore (mm)	Water flow rate (m ³ /h)	Washing time (minute)	Water consumption (m ³ /unit)	Feeling of water washing operator
9.5	10.5	45	7.9	—
9.0	9.2	48	7.4	—
8.0	7.8	50	6.5	—
7.0	6.8	53	6.0	No change at all.
6.0	3.9	70	4.6	Little change only.
5.0	2.5	—	—	Washing cannot be performed.

テストの結果から、洗浄時間は少し長くなるが、総合的には全部のノズルを口径 6 mm にするのが良いと判断して実施に移した。

対策後の効果

a. 工業用水の節減

改善前 $7.2\text{m}^3/\text{台} \times 10\text{台}/\text{d} \times 333\text{d}/\text{y} = 23980\text{m}^3/\text{y}$

改善後 $4.6\text{m}^3/\text{台} \times 10\text{台}/\text{d} \times 333\text{d}/\text{y} = 15320\text{m}^3/\text{y}$

節水量 $8660\text{ m}^3/\text{y}$

b. 濃縮用スチームの節減

$8660\text{ m}^3/\text{y} \div 3\text{ m}^3/\text{t-steam} = 2890\text{ t}/\text{y}$

(7) その他の実施項目例

a. スラリー調節弁をバタフライ弁からボール弁に交換

バタフライ弁で、弁の作動を円滑にするために使用しているスチームが不要になる。

b. 析出槽の化学洗浄温度の見直し。

苛性ソーダによる化学洗浄の温度を適正にし、スチーム量を節減した。

c. 装置、タンク、配管、弁、等の保温の劣化箇所、はがれ箇所の補修。

点検を強化して、放熱の多い箇所から補修することにした。また最適保温厚みの基準を見直して、現状のエネルギー単価に見合う新たな基準に改訂した。

d. 工程液の連続比重測定器の改善。

現場設置の連続比重測定器を水パージ式から隔膜式に替えて、工程への入水を防ぎ、その分の濃縮用スチームを節減した。

e. タイマー設置による攪拌機の間欠運転。

赤泥微粒子のスラリーは、固体濃度が高い時は砂が混ざっていなければ、攪拌機を止めても直ちには沈降しない。固体濃度の薄いスラリーでも、攪拌機をしばらく止めてもトラブルはない。赤泥スラリータンク、石灰乳タンク、雑水タンク等に、タイマーを取り付けて間欠運転にし、攪拌動力を削減した。

f. 抵抗式表示灯を変圧式表示灯に変更。

表示灯用に18ボルトまで抵抗器で電圧を下げていたが、変圧器に替えて消費電力の節減を図った。

g. 屋外大型析出槽に上部蓋設置。

屋外大型析出槽に蓋を設置し、放熱防止、雨水混入防止、ミスト飛散防止を図った。

h. カルサイナの焼成能力アップによる、重油原単位の向上改善。

操業条件の安定化や空気侵入防止により1基当たりの焼成能力を上げ、集中生産をすることにより、重油原単位を改善した。

i. カルサイナ・リークエアーの削減。

カルサイナから煙突までの間のエアーリーク箇所を徹底的に補修し、燃焼効率の向上と吸引ファンの動力削減を図った。

j. 電気集塵機吹き込みスチーム削減。

集塵効果を高めるために、電気集塵機に適量のスチーム吹き込みを行っていたが、マルチノズルによる水噴霧に替えた。ガスの熱によって水が蒸発し、所定の集塵効率を維持しながら、スチームの使用量をゼロにすることが出来た。

k. ボールミル粉碎効率の向上。

実機試験で最適なボールサイズ組み合わせを求め、動力節減を図った。小径、耐磨耗ボールを使用した。

l. 重油受入れ配管の加熱の改善。

常時加熱方式を止めて、必要の時だけ加熱するようにした。

m. 工場内照明の見直し。

適正な照度になるように照明を見直した。また夜間パトロールの時だけ必要な照明については、通行箇所のみ順次点灯し、通過後消灯できるよう照明スイッチの位置を付け替えた。

7. セメント工業の省エネルギー

7. セメント

7.1 エネルギー使用の特徴

7.1.1 セメント製造工程

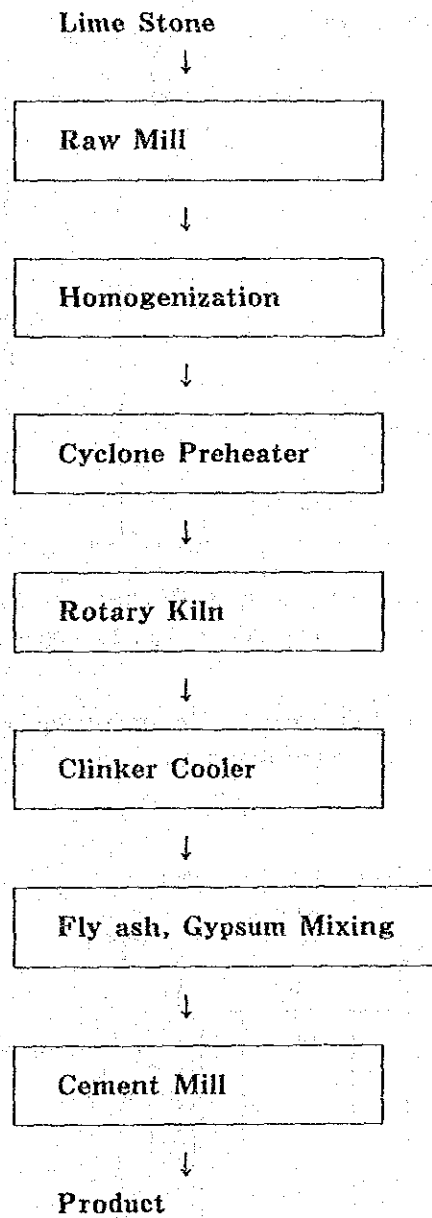


Figure 7.1 Production Process of Cement

7.1.2 エネルギー使用状況

(1) Heat Flow

Table 7.1 と Figure 7.2 に、熱の消費量を 3,767 kJ/kg-cl と仮定した場合の、セメント製造における概略の熱の流れを示した。

Table 7.1 Heat Input/output

Heat input	(kJ/kg-cl)
Fuel oil heating value	3,767
Latent heat of feedstock	126
Latent heat of fuel	63
Heat output *	
Reaction heat of clinker	1,712 **
Latent heat of exhaust gases	963
Latent heat of clinker	126
Latent heat of exhaust air	460
Heat radiation from furnace walls	837

Notes *: The heat exchanged between combustion gas and feedstock and the heat exchanged between clinker and cooling air is apparently internally recirculated heat.

** : The reaction heat is composed of decarbonizing heat absorption and clinker-forming heat generation of limestone.

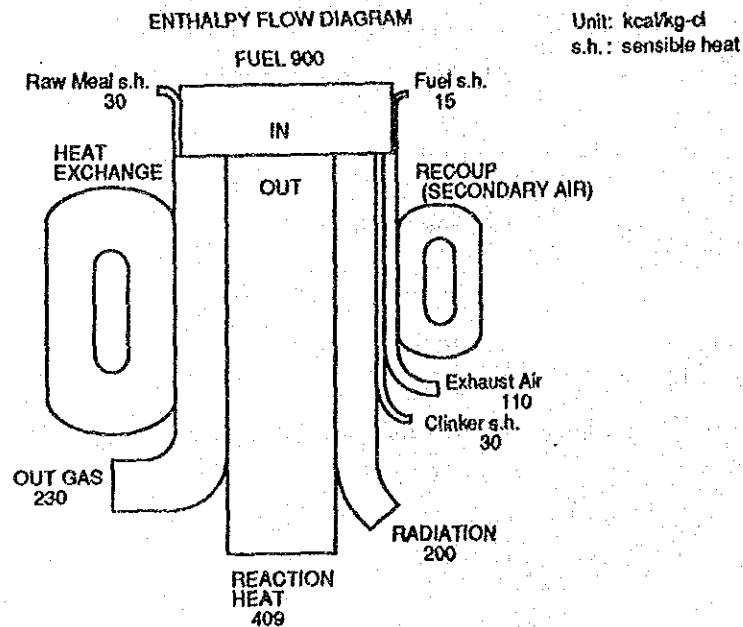


Figure 7.2 Heat flow diagram

Figure 7.3 に、プリヒーター、キルン及びクーラーを含むシステムの温度プロフィールを示す。

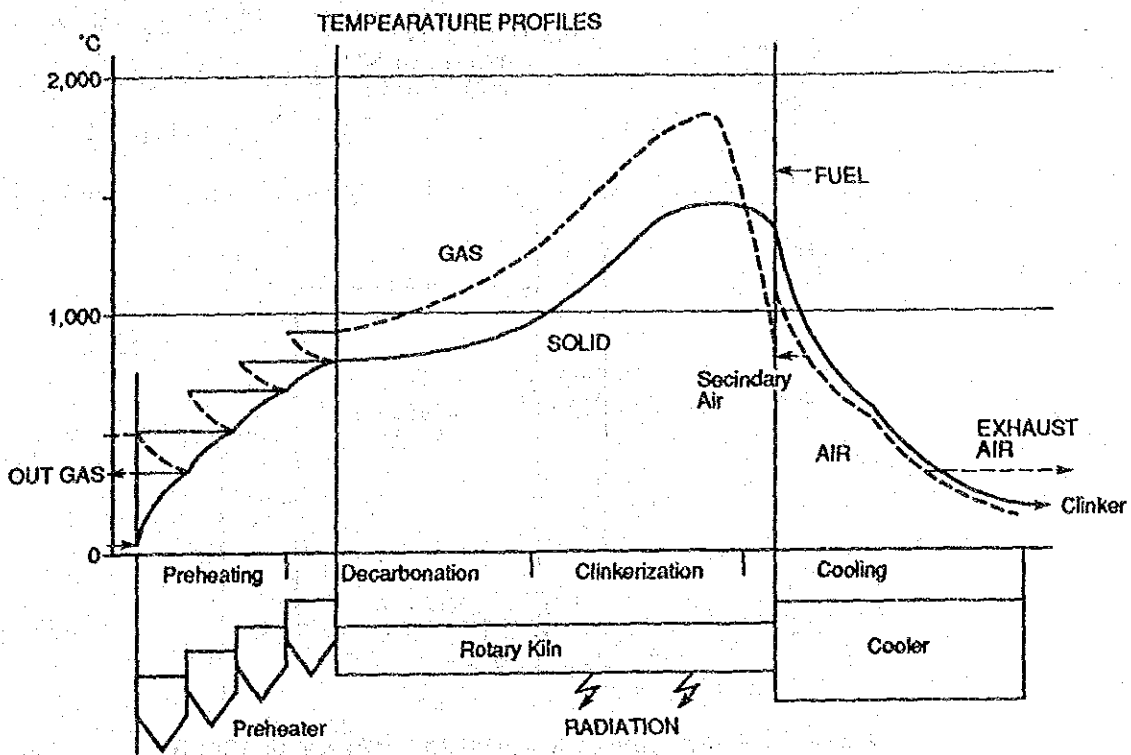


Figure 7.3 Temperature profile

(2) プロセス及び規模の影響

Figure 7.4、Figure 7.5はアメリカのデータであるが、プロセス及び規模の違いによるエネルギー消費原単位の差を示している。

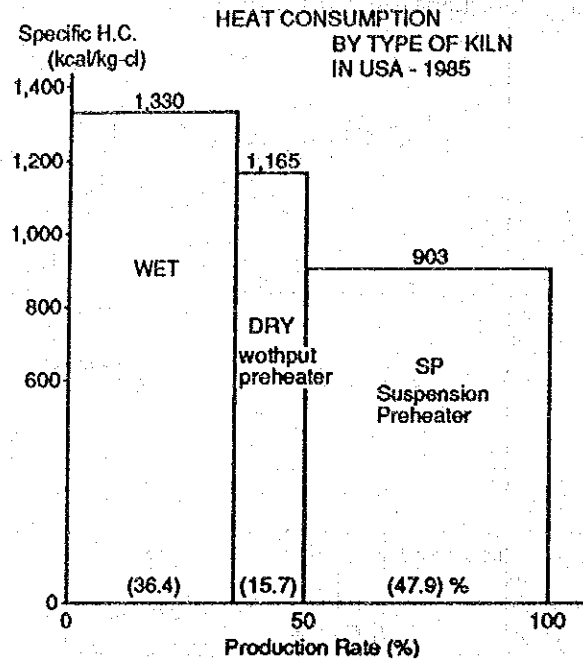


Figure 7.4 Energy unit consumption by process in the cement industry in U.S.A.

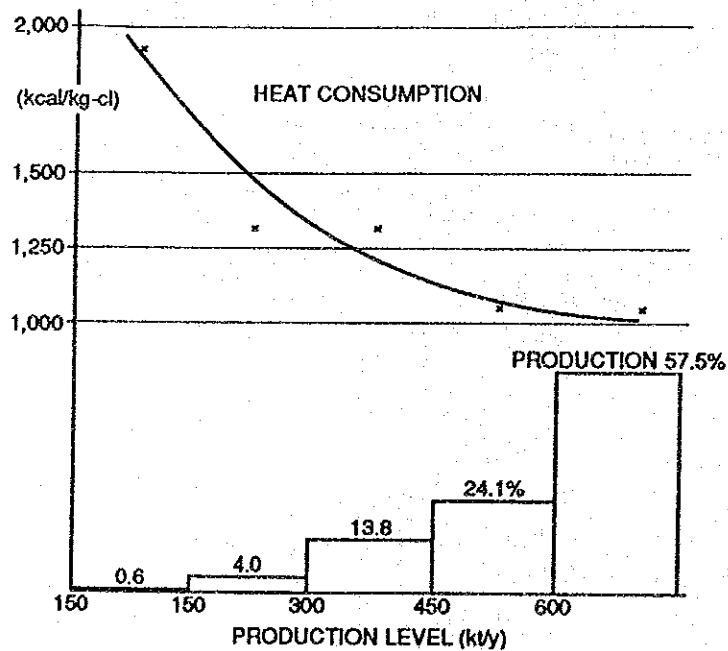


Figure 7.5 Energy unit consumption by scale in the cement industry in U.S.A.

セメント産業において最も進んだ国である日本の例は以下の通りである。

Figure 7.6に見られるように、1973年の同時期に3基のNSP (Precalciner ; Precalculator) が開発・建設されて以来、この型のキルンが急速に多数建設された。もちろん、プロセス変換には多額の投資が必要となるが、「費用」に対する「利益」が大きく期待できるために、日本の企業家は争って改造に踏み切った。期待利益の中には、この型の炉が環境問題、特にNO_x排出削減の役にたつという点も含まれている。

さらに、廃棄物燃料の利用にも好都合で、エネルギー節減及びコストダウンに直接効果がある。

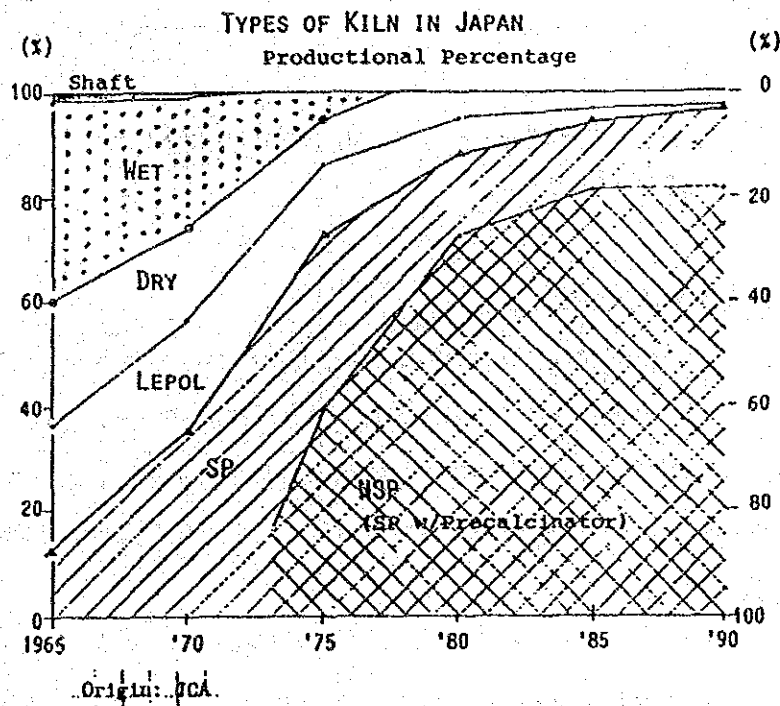


Figure 7.6 Types of Kiln In Japan

ハンガリーの場合でも、Vacにおいて3基のLepol炉を1基のPrecalcinerに改造しようとしている。改造はサイクロン熱交換器の一部に、燃料の10-30%を燃焼できる装置を組み込むことにより容易に行える。キルンの焼成能力は大幅に増えるが、上流または下流の機器の能力がネックにならないよう改造を要する場合がある。

Figure 7.7に示す通り、1970年代後半には、「キルン生産性」は5年という短期間に3倍にも急上昇しているが、これはPrecalcinerの採用時期に一致している。