

Ⅲ エネルギー使用合理化ガイドライン

4. 金 属

目 次

1. ガイドラインの性格	Ⅲ-4-1
2. エネルギーの使用の特徴	Ⅲ-4-3
2.1 製造工程と主要設備	Ⅲ-4-3
2.1.1 製造工程	Ⅲ-4-3
2.1.2 主要設備	Ⅲ-4-4
2.2 エネルギーの使用の状況	Ⅲ-4-13
3. エネルギー管理の進め方	Ⅲ-4-18
3.1 経営方針の明確化	Ⅲ-4-18
3.2 推進のための組織整備	Ⅲ-4-19
3.3 科学的・組織的な活動	Ⅲ-4-19
3.4 教育、情報の提供	Ⅲ-4-21
4. 熱エネルギー使用の合理化	Ⅲ-4-22
4.1 燃料の燃焼の合理化	Ⅲ-4-23
4.1.1 空気比	Ⅲ-4-23
4.1.2 バーナ	Ⅲ-4-25
4.1.3 炉内圧と煙突と通風力	Ⅲ-4-42
4.1.4 重油予熱	Ⅲ-4-45
4.2 加熱及び冷却並びに伝熱の合理化	Ⅲ-4-46
4.3 放射・伝熱等による熱の損失の防止	Ⅲ-4-49
4.4 排熱回収	Ⅲ-4-56
4.5 電気の熱等への変換の合理化	Ⅲ-4-73

1. ガイドラインの性格

このガイドラインは、金属工業の工場における省エネルギーを推進するため、特に重要と思われる技術的事項について、下記の点に留意してまとめたものである。

- (1) ①工場の技術者が自工場のエネルギーの使用の合理化を図る場合の技術的な参考として、②診断指導用マニュアルとして、③合理化の進捗度の判断資料として、④セミナーのテキストとして用いることができるものであること。
- (2) 記述事項の水準は、大学卒業後4～5年程度の技術者で、当該業種に従事していない者でも十分理解できること。
- (3) 記述事項の範囲は、タイ王国の工業の現状に即したものとするため、我々が診断した工場でのプロセスに関する事項に限定し、基本的な事項や数値、省エネルギーのための手法等及び参考となる事例や実績を記載すること。

今回のこの報告を骨格として、今後NEA独自での工場診断、その他の方法等によって得られた情報を組み込み、このガイドラインが増補、拡充されることを期待したい。

なお参考として、日本政府（通商産業省）が告示により事業者が省エネルギーを進めるに当たっての判断の基準として公表している基準値を記載している個所がある。

- (1) この基準値は、多数の事例の統計的な分布を調べ、その最頻値（Fig III-4-1参照）を取ったものであり、事業者に困難を強いることなく技術的、経済的に十分実施できる現実的な水準となっている。

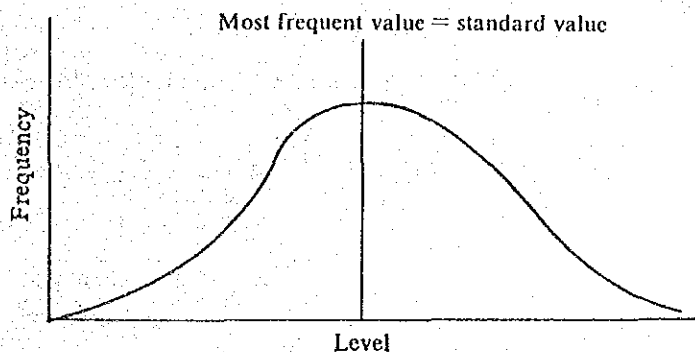


Fig. III-4-1

(2) この基準値は、達成すれば終わりというものではなく、また絶対達成しなくてはならない最低値を示すものでもない。むしろ、平均的な水準に向って、それより劣るものの改善を進め全体の分布をより良い方向に移すための数値である。従って、ある期間を経た後、最頻値を求め直し、新たな基準値を設定することになる。

今回の報告書では、この値を参考とし、タイ王国の工業の現状を勘案して基準値の設定案を記載してある。

この基準値は、タイ王国における合理化の判断の基準値設定の出発点となるものであり、今後はタイ王国自ら実施する工場診断のデータを積み上げ、かつ定期的に見直しを行い改訂あるいは新たな設定を進めるようにされたい。

2. エネルギーの使用の特徴

2.1 製造工程と主要設備

2.1.1 製造工程

金属工業における主要な製品は棒鋼、型钢、铸件、ワイヤ等であり、その製造工程を次に示す。

- (1) 棒鋼(電炉)(Fig III-4-2 参照)
- (2) 棒鋼・型钢(リロール)(Fig III-4-3 参照)
- (3) 铸件(Fig III-4-4 参照)
- (4) ワイヤ(Fig III-4-5 参照)

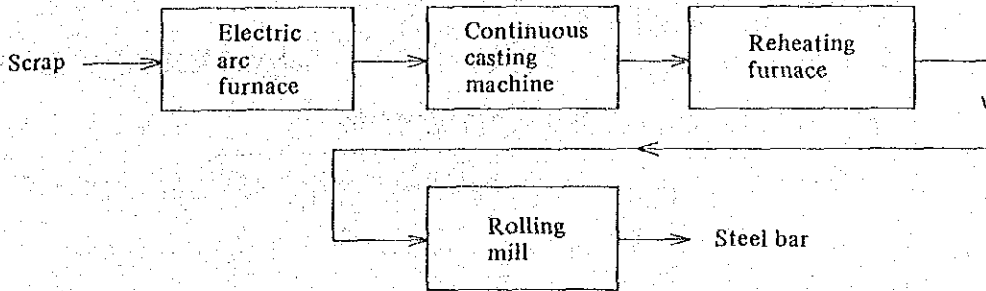


Fig. III-4-2 Manufacturing process chart for steel bar (electric arc furnace)

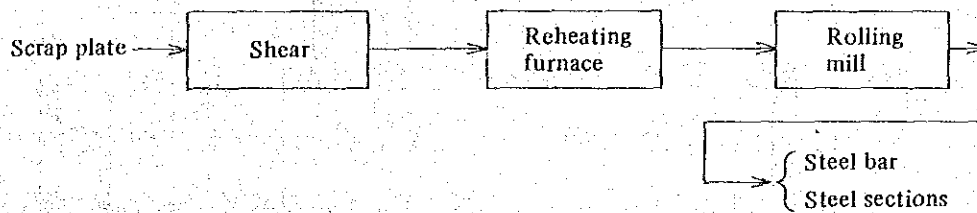


Fig. III-4-3 Manufacturing process chart for steel bar and steel sections (rerolled)

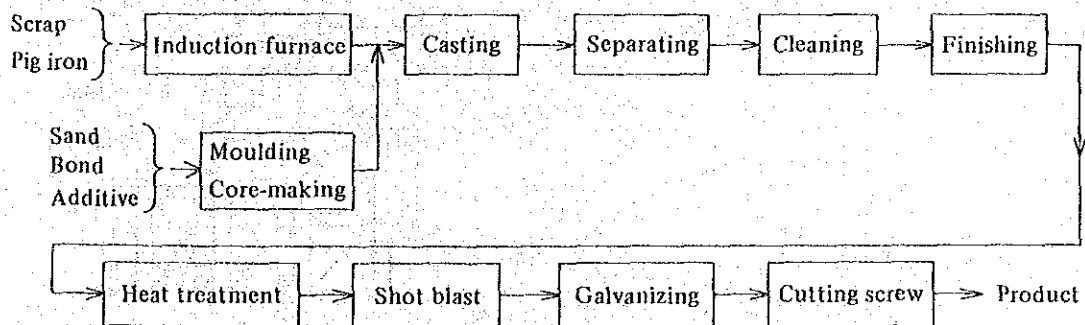


Fig. III-4-4 Manufacturing process chart for casting

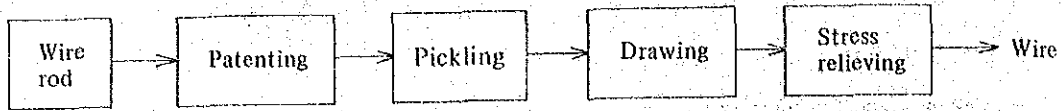


Fig. III-4-5 Manufacturing process chart for wire

2.1.2 主要設備

(1) 鋼片加熱炉

棒鋼や型钢の製造工程での主要設備の一つとして鋼片加熱炉がある。この加熱炉は金属工業では燃焼炉としての主要設備であり、多種にわたる形式がある。この加熱炉は、鋼材を棒鋼、型钢に熱間で圧延加工するために、1,300℃前後の目的温度まで再加熱する設備である。

加熱炉にはバッチ式と連続式があるが、バッチ式は主に特殊な形式のものを再加熱する補助的な設備であり、連続式が主流である。

連続式加熱炉にはプッシャ形、ウォーキング・ビーム形、ウォーキング・ハース形、ロータリ・ハース形等がある。

最も古く、かつ初歩的な形式の炉としてはFig III-4-6のプッシャ形1帯式加熱

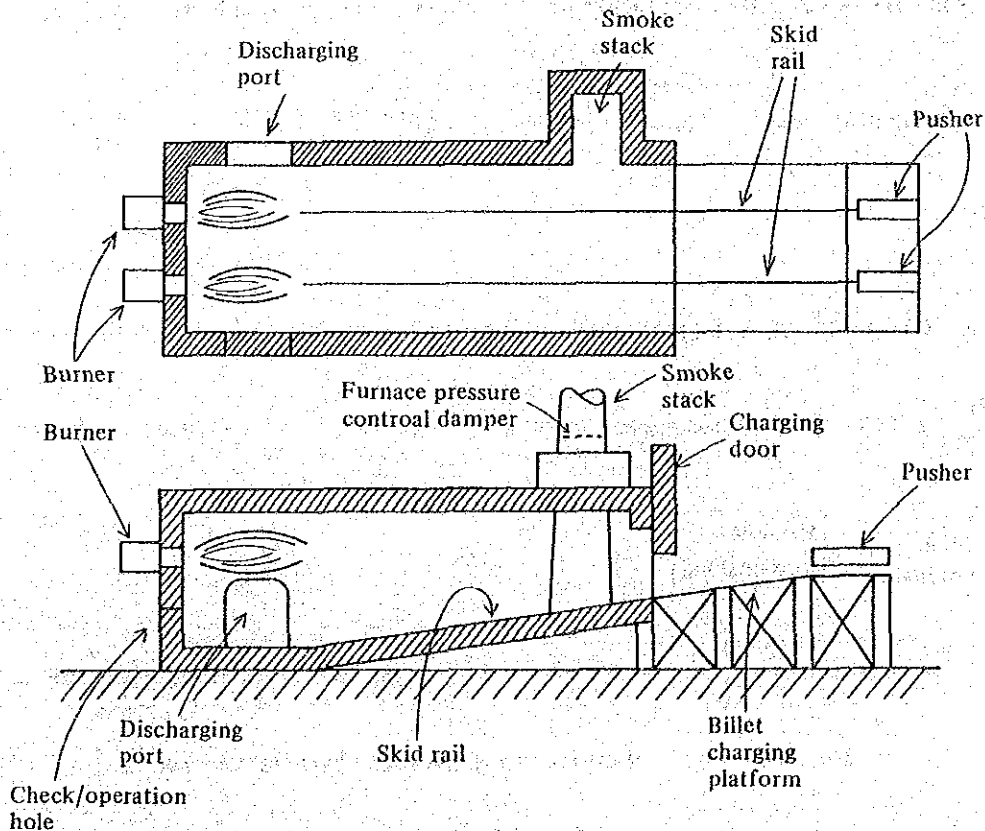


Fig. III-4-6 Pusher-type single zone reheating furnace

炉があり、これは 50 t/h 程度までの加熱能力である。鋼片は炉全長にわたって上面だけから加熱されているので、上下面の温度差が大きく、炉温が 1 ゾーンコントロールであるため、操業にフレキシビリティがない。炉長の長いものや、大容量の炉には適さない。

加熱容量 60 ~ 120 t/h の能力のある炉としては、Fig III-4-7 のような、プッシュヤ形 3 帯式加熱炉がある。この炉は加熱帯と均熱帯が明確に区分され、加熱帯では鋼片を上下両面から圧延温度まで加熱し、均熱帯ではスキッドマークを減少し、鋼片の温度を均一にすることを目的とした炉である。3 ゾーンのそれぞれの炉温を制御することができ、ある程度加熱速度を変えることができる。すなわち、操業にフレキシビリティを有している。

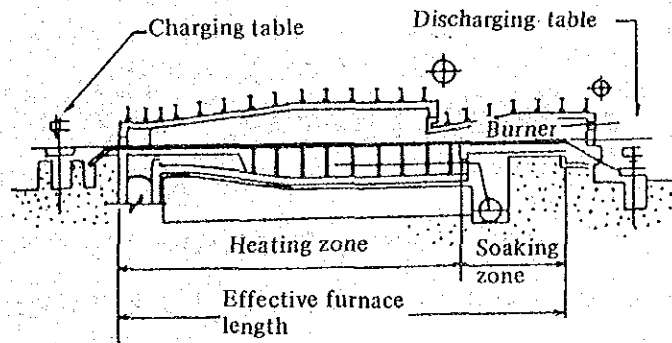


Fig. III-4-7 Pusher-type 3-Zone reheating furnace

更に、加熱容量の大きな炉として 200 ~ 250 t/h のプッシュヤ形 5 帯式加熱炉がある (Fig III-4-8 参照)。これは 3 帯式加熱炉を発展させたものであり、予熱帯、加熱帯、均熱帯が明確に区分されている。

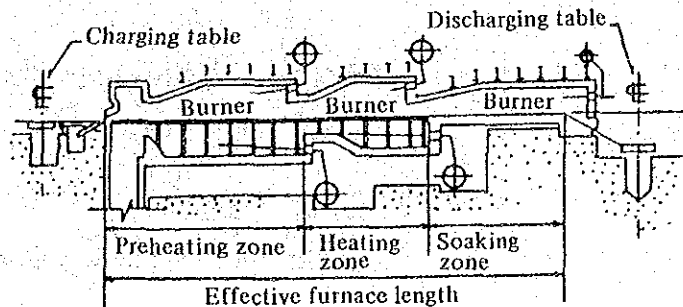


Fig. III-4-8 Pusher-type 5-Zone reheating furnace

プッシュヤ形の欠点としては、スキッドマークの発生や、鋼片の裏面の搬送きずの発生、等がある。更に、大容量の加熱能力を有する炉では、これらの欠点を解消するためのものとしてウォーキング・ビーム形加熱炉がある (Fig III-4-9 参照)。

この形式の炉の加熱能力は200～400 t/hと大きく、最近は大容量の加熱炉においては主流となっている。

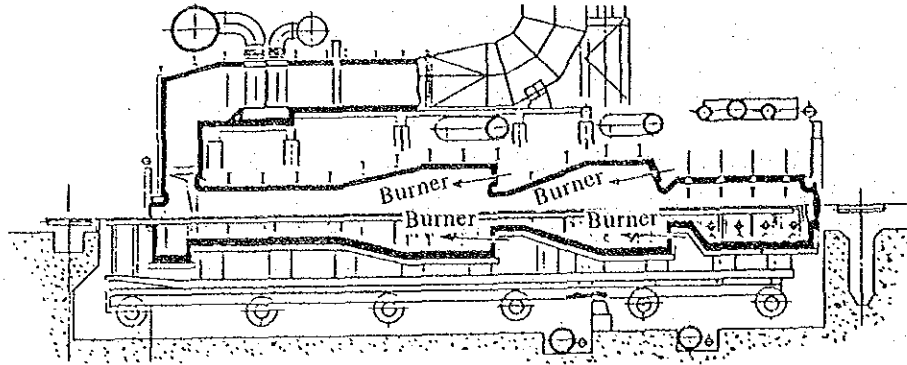


Fig. III-4-9 Walking beam-type reheating furnace

(2) パテンティング炉

次に、ワイヤ等の製造工程での設備主要の一つとしてワイヤパテンティング炉がある。

ワイヤロープ、スプリング、ネジ、PC線、ビードワイヤなどに代表される硬鋼線及びピアノ線は、線材圧延工場で熱間圧延された線材が2次加工工場で、ダイスやロールによって冷間加工されて製品となる。

これらの製品は、高度の機械的特性と疲労特性が要求されるので、材質の成分純度はもとより熱処理と冷間加工方法の選定が、重要なポイントとなる。

伸線は通常何回にも分けて行われ、加工度が増えると共に抗張力と硬度が増加する。この伸線を行うに当たって、線に冷間加工性を与えるためにパテンティング処理を行う。

「パテンティング」と呼ばれる熱処理は、線を均一なソルバイト組織、又は微細パーライト組織にすることであって、この組織は靱性が大きく、伸線に都合がよい。

鋼はオーステナイト状態に加熱した後、冷却すると、その冷却速度に応じて種々の組織が得られる。パテンティングの場合、450～550℃の温度に急冷保持すると良質のソルバイト組織が得られる。

急冷の方法としては鉛焼入れ、あるいは空気焼入れがあり、鉛パテンティング、空気パテンティングと称される。

また、ソルトバス焼入れも使用されている。その他に焼入れ、焼戻しなどの熱処理で、パテンティング処理と同様の性質を得る方法もある。

実用されているパテンティング炉を大別すると、次のとおりである。

A) ストランド形

ストランド形は、コイル状の線束をリールで巻き戻して直線上にして熱処理を行うもので、熱処理完了後、テークアップで再びコイルに巻き取る形式の炉である。

- a. 直火式加熱炉+鉛浴槽冷却(鉛パテンティング炉)(Fig III-4-10 参照)

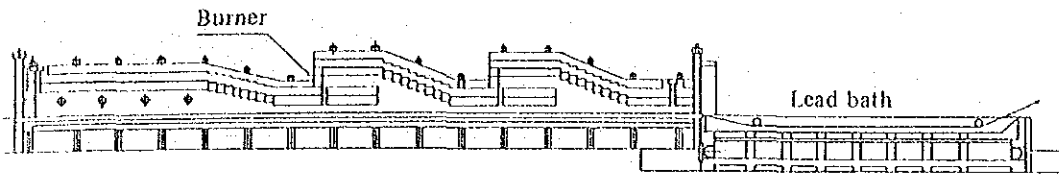


Fig. III-4-10 Lead bath-type patenting furnace (Direct firing method)

- b. 直火式加熱炉 + { 大気中放冷(静止空気)
衝風冷却(ノズル吹き付け) } (空気パテンティング炉)
- c. 直火式加熱炉 + 流動層冷却
- d. 間接式加熱炉 + 鉛浴槽冷却(無酸化パテンティング炉)
- e. 流動層加熱 + 流動層冷却
- f. 鉛浴槽加熱 + 鉛浴槽冷却(ダブル鉛パテンティング炉)

B) ループロ形

ループロ法といわれ、線材をループ状のまま、コンベヤあるいはローラハースで連続搬送して熱処理を行うものである。

この方法によると、短い炉長で十分な能率をあげることができ、更に、パテンティングに連続して酸洗、潤滑剤コーティング等の処理がオンラインでできる (Fig III-4-11 参照)。

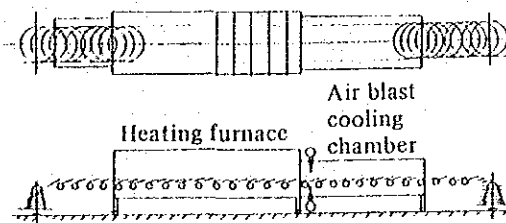


Fig. III-4-11 Loop row-type patenting furnace

このループロ法による線材の冷却は、従来の鉛浴式でなく、衝風冷却か流動層冷却をとる必要がある。

- a. 直火式加熱炉+衝風冷却
- b. 直火式加熱炉+流動層冷却
- c. 間接式加熱炉+流動層冷却

次にパテンティング加熱後の冷却方法を示す。

A) 鉛浴槽冷却

鉛浴は鋼線を加熱後、450～550℃の溶融鉛中で冷却するもので、均一な冷却が得られると共に酸化、脱炭の少ない高品質の鋼線が得られる。

しかし、鉛蒸気の作業環境への影響が必配され、また、鉛の高価格、低能率などの見地からも新しい処理方法の開発が切望されている。

現状は、太い線材や高品質の線材に対しては大部分がまだこの鉛浴式のパテンティング炉で処理されている。

B) 流動層冷却

パテンティングの冷却に、鉛浴の代わりに流動粉を用いる方式である。これは適当な温度に加熱されたアルミナ、砂、炭化珪素、珪素鉄などの固体粒子を、下方から高圧空気を送って流動させ、この中に加熱した鋼線を通して冷却する方法である。

これは溶融金属を使用した冷却方法と同程度の冷却効果が得られ、鉛を用いない無公害熱処理炉への転換が迫られる今日、急速に進歩するものと考えられる。

(2) 電気炉

製鋼用アーク炉は装入鉄屑（通称スクラップ）又は還元鉄を、電極（3本の人造黒鉛電極）との間に発生する三相交流のアークによって溶解し、引き続きアーク加熱下で精錬作業を行って1,600～1,650℃の溶鋼とするものであり、できた溶鋼は取鍋に注入される。

出鋼後には、アーク炉体の耐火物損傷部の補修が行なわれ、引き続き鉄原料の装入、溶解の順に作業が繰り返される。

出鋼から次の出鋼までを1チャージ（又は1ヒート）という。

アーク炉は、1899年フランスのPaul Héroult が電極と装入原料との間に直接アークを発生させ、このアークによって原料を溶解する炉を発明し、実用的な製鋼炉を完成して今日の製鋼炉の基礎を築いたことから、別名エルー炉とも呼ばれる。

アーク炉の操業上の特徴は、次のとおりである。

- A) 高温が得られると共に、投入電力の制御が容易である。
- B) 酸化、還元のいずれの精錬も容易に行える。
- C) 鉄原料に対する制約が少ない。
- D) 特殊鋼、普通鋼のいずれも製造できる。
- E) 休炉による熱損失が比較的少ない。

炉設備上の最近における画期的進歩は、1964年アメリカのW.E. Schwabeらの提唱に始まった超大電力（Ultra-High-Power、略してUHP）炉の出現であり、その高生産性と経済性により世界中に急速に普及した。

炉の能力は炉の溶解量、変圧器容量、炉殻内径で表わされる。小形は50 kg、0.1 MVA、炉殻内径0.88 mの試験炉から、大形は400 t、163 MVA、炉殻内径11.59 mまであり、広範囲にわたっている。

Fig III-4-12 にトップチャージ式製鋼用アーク炉の構造概要を示す。

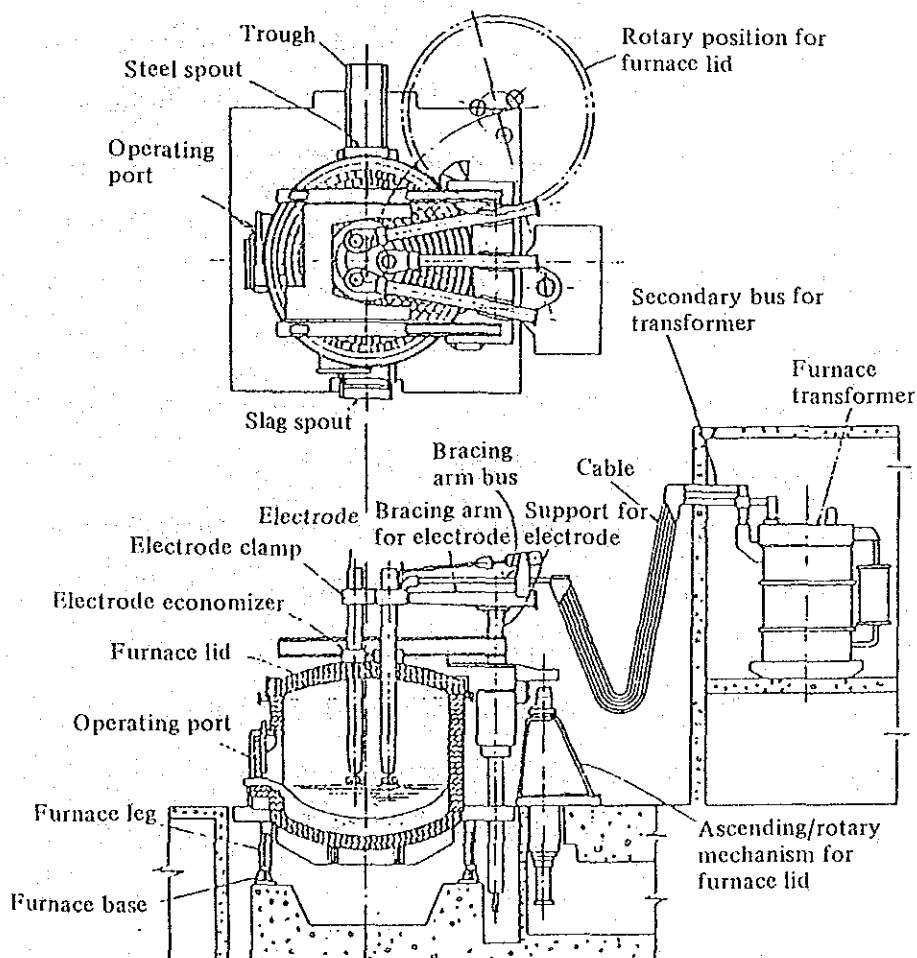


Fig. III-4-12 Structural outline of top charge-type arc furnace for steel manufacture

炉室は鋼板製炉殻を耐火物で内張りした炉床及び炉壁と、枠にレンガ積みした炉蓋とで構成されている。

炉殻側面にはスラグの除去、耐火物の補修、副原料投入、溶鋼のサンプリングなどのための出滓口と溶鋼を取り出すための出鋼口及び樋がある。炉殻下部には炉体傾動用の炉脚、炉台及び傾動機構がある。電極は、電極支腕に取り付けられた電極クランプで支持され、電極制御装置によって電流、すなわち電力が一定となるように自動的に昇降するようになっている。

スクラップはバケットに詰められ、炉蓋を開いた炉頂から装入される。

アーク電流は、炉用変圧器から変圧器2次母線→ケーブル→支腕母線→電極クランプ→電極の経路で流れる。

電極エコノマイザは、操業中に炉蓋の電極貫通穴の電極と耐火物の隙間から高温ガスが噴出するのを押えて、電極の過熱による酸化消耗を防ぐものである。

溶解期には設備の許しうる最大電力、精錬期にはそれより小さい鋼種に応じた電力が投入される。電力投入上特に注意を要するのは、スクラップが溶解し炉壁がアークにさらされるようになってからである。スクラップがある間は、炉壁は直接アークの放射を受けないので溶損は生じないが、スクラップ溶解後高い電力を投入すると、炉壁は激しく溶損する。これを防ぐには、大電流・低電圧による低力率（0.65～0.7）で、ショート・アーク操業が望ましい。この操業法は溶鋼の温度上昇にも効果的である。還元鉄溶解の場合は炉壁が常に露出しているので、溶解中も大電流によるショート・アーク操業が通常行われている。

1チャージは溶解期と精錬期とに区別することができる。溶解時間は鋼種にほとんど関係なく、変圧器容量の大小と助燃あるいは酸素吹き込みの有無に大きく影響され、そのほかスクラップ装入回数等にも関係する。精錬時間は鋼種によってかなりの違いがあり、特殊鋼より長くなる。炉壁補修時間は10～30分程度で大形炉になるほど長くなる。スクラップの装入時間は、炉の大きさにはほとんど関係なく5分程度である。出鋼に要する時間は3～10分程度で大形炉ほど長くなる。

電力消費量（kWh/t）は1チャージ当たりの時間が短いほど少なくなる。時間短縮要因のうち大電力化、助燃又は酸素吹き込みは特に電力消費に大きく影響する。また、大形炉ほどt当たりの炉体表面積が小さいので、t当たり放散熱量が少なくなり、電力消費量は減少する。

(4) 誘導炉

誘導炉は、誘導加熱の原理を利用して、特殊鋼や鋳鉄、銅その他の高級金属、合金の溶解を行う装置で、また溶湯の保持、昇温、成分調整などにも用いられる。

溶解条件などの制御性が極めて高く、優れた品質の製品が得られることから、鋳造工業には不可欠の装置として広く利用されている。

この誘導炉の特徴は、次のとおりである。

- A) 装入材が直接発熱するので熱効率が高く、高温溶解に適している。
- B) 加熱のために酸素を必要としないので、密封して真空溶解もできる。
- C) 溶湯が電磁力により自動的に攪拌されるので成分や温度の調整が容易で、優れた品質が得られ、歩留も良好である。
- D) 装入材のみが発熱するので、周囲で熱の発生がなく、排煙量も少ないので作業環境、地域環境保護が容易である。

誘導炉は、構造面及び電源周波数から次の3種類に分類できる。

- a. 高周波炉 …… りつぼ形, 150 ~ 10,000 Hz
- b. 低周波炉 …… りつぼ形, 50, 60 Hz
- c. 低周波炉 …… みぞ形, 50, 60 Hz

高周波炉とるつぼ形低周波炉を比較すると、高周波炉は周波数変換装置が必要なために、電源損失がやや大きくなるが、熱損失が少ないので、全体的には、高周波炉の方が良く、保持電力及び早朝冷炉時の起動を含めた週間、あるいは月間の電力消費も高周波炉の方が低い。これらを比較した例を Table III-4-1 に示す。

るつぼ形低周波炉とみぞ形炉を比較すると、みぞ形炉は閉路鉄心を用いているので、力率、電気効率が高く、上部溶解室の耐火材構成は電氣的制約を受けないので十分な断熱ができるので熱効率も良くなる。みぞ形炉は、操業休止時にもみぞ部に溶湯を常時保持しておかなければならないという欠点があるが、電力密度が小さいので、溶解よりも昇温や保持に適している。

Fig III-4-13 にるつぼ形低周波炉の構造を示す。

高導電率の銅管をソレノイド状に巻いて誘導コイルとし、電流が流れるため銅管内に冷却水を通して冷却する。誘導コイルは耐圧、耐水、電磁力による耐振、耐熱耐湿性等が考慮されている。

大容量炉、電力密度の高い炉には誘導コイル外周に鉄心を配置して、漏れ磁束を防止しているが、中小容量炉や電力密度の低い炉などには鉄心を使用していない。

Table III-4-1 Compare energy saving-type high-frequency furnace with crucible-type low-frequency furnace

Equipment	Electric power (kW) - capacity (t) Frequency (Hz)	Low-frequency furnace	High-frequency furnace	Remark
		800-3 50	800-1 500	
Materials for melting Molten metal discharging temperature (°C) Operation		Ordinary cast iron 1,500 8 h/day, 22 days/month	same as left	
Initial Batch	Electric power consumption rate (kWh/t)	650	620	
	Melting time (min)	209	58	
	Number of batch	1	1	
Normal Operation	Electric power consumption rate (kWh/t)	580	565	
	Melting time (min)	73 min/1.5 t	45	
	Number of batch	3	8	
Holding	Holding electric power (kW)	120	85	
	Holding time (min)	10	6	
	Electric power consumption rate (kWh/t)	12.3	8.5	
	Times	4	9	
Operating time (min)		468(7.8h)	472(7.86h)	
Total electric energy consumption (kWh)		4,640	5,216.5	
Production (t/day)		6.5*	9	
Total melting capacity (t/h)		0.84	1.14	
Unit electric power consumption rate for total melting (kWh/t)		714	579.6	
Installation space (X, Y, Z) (m)		6 x 7.5 x 4h	6 x 5.2 x 2.5h	
Total quantity of refractories used (kg)		approx. 1,100	approx. 500	
Tonnage of expected passage (t)		700	430	
Consumption (kg) of refractories per ton of molten metal		1.57	1.16	

*Deduct 1/2 of residual molten metal quantity and 1 ton for Starting Block for low-frequency furnace.

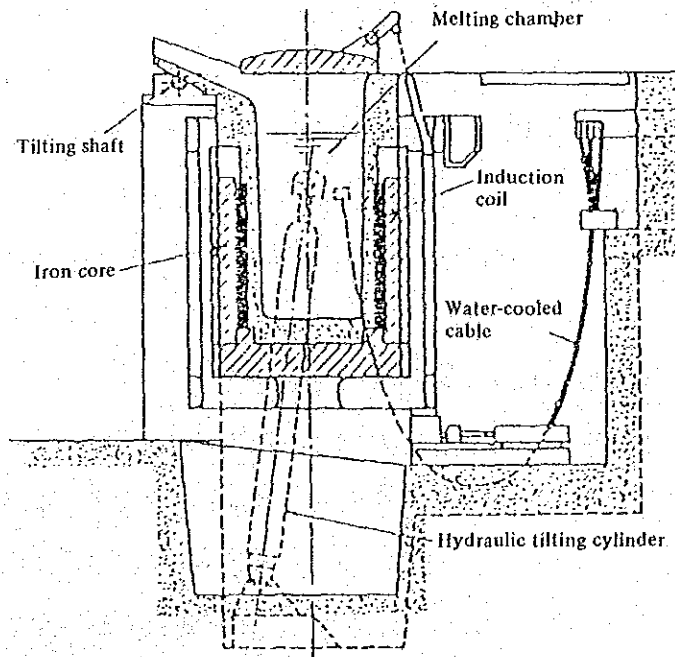


Fig. III-4-13 Cross-section chart for crucible-type low-frequency furnace

炉体傾動方式には油圧式、電動式、手動式などがあり、炉蓋操作も油圧式と手動式とがある。

Fig III-4-14 にみぞ形炉の構造を示す。

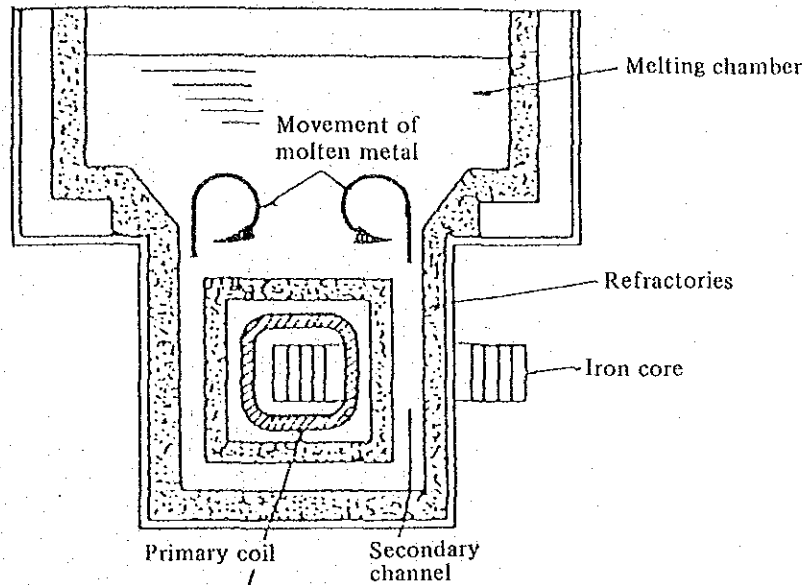


Fig. III-4-14 Cross-section chart for channel-type furnace

溶湯を保持する溶解室と溶湯に熱エネルギーを供給する2次溝（発熱室）から構成されていて、2次溝は耐火材、閉路鉄心、1次コイル等から構成される。

コイル、鉄心は、炉材からの熱伝導や自身の発熱などによって熱的に損傷されないように水冷又は風冷により強制冷却されている。

出湯は湯口傾動式又は炉体回転式が採用され、傾動方式は油圧式が一般であるが電動式が使用されることもある。

2.2 エネルギーの使用の状況

金属工業においては製造工程や設備が多様であり、エネルギー消費形態も自ら異なるが、例を示すと Table III-4-2 のようである。

カロリーでなくコストで見れば、リロールを除いて電力の方が大きな割合を占めている。棒鋼用ピレット加熱炉の燃料原単位をみると、レキュペレータ付きの新しい炉の場合で 53 l/t になっているのに対し、燥業状況の不良な旧式炉では 100~120 l/t と高値を示している。これらはすべて1直操業であり、夜間は保熱状態となることも燃料原単位を悪化させる原因になっている。

スクラップ溶解の電力原単位は24時間燥業のアーキ炉で 600 kWh/t、1直燥業の誘導炉で 700~750 kWh/t であり、いずれもまずまずの水準にある。

なお、参考として日本の加熱炉燃料原単位の優秀事例を Table III-4-3 に示す。

Table III-4-2 Actual condition of energy consumption of metal industries

Produce	Manufacturing method	Ratio of energy consumption (calory based)		Major energy consumption equipment
		Fuel	Power	
Bar steel	Electric arc	42%	58%	Reheating furnace Electric arc furnace Rolling mill
Bar steel Section steel	Rerolled	86%	14%	Reheating furnace Rolling mill, Shear
Casting	Electric arc induction	59%	41%	Induction furnace Electric arc furnace, Heat treatment furnace
Wire	Drawing	68%	32%	Heat treatment furnace Drawing machine
Parts of car screw, nail	by machine	—	100%	Electric heater Machine tool

Note: Unit of power is 860 kcal/kWh

Table III-4-3 Energy consumption rate of reheating furnaces in Japan

		Standard output	Standard energy consumption rate
Plate	Fuel (total)	120 kt/month	273 x 10 ³ kcal/t
	Continuous furnace – cold charging	(70%) 77 "	280 x 10 ³ kcal/t
	Continuous furnace – Hot Charge	(30%) 36 "	219 "
	Batch furnace	7 "	299 "
	Heat retaining and heat boosting	120 "	10 "
	Electric power	115 "	90 kWh/t
Strip	Fuel (total)	38 kt/month	219 x 10 ³ kcal/t
	Cold charging	(50%) 19 "	227 "
	Hot Charge	(50%) 19 "	191 "
	Heat retaining and heat boosting	38 "	10 "
	Electric power	36 "	80 kWh/t

そして日本でのアーク炉の電力原単位の推移を Fig III-4-15に、また普通鋼の平均電力量原単位を Table III-4-4に、アーク炉熱バランスを Table III-4-5に参考として示す。

次に日本での誘導炉の炉容量と溶解電力量の関係を低周波炉及び高周波炉について、Fig III-4-16と Fig III-4-17に参考として示す。

Table III-4-4 Average electric power consumption rate for mild steel

Furnace capacity	10 t	15 t	30 t	60 t	80 t
Electric power consumption rate kWh/ton of good-quality ingot	550	520	480	440	410

Table III-4-5 Heat balance of arc furnace

Item		Kind of steel				Furnace capacity				Total	
		Mild steel (N = 7)		Special steel (N = 11)		30~50 t furnace (N = 7)		50t or more furnace (N = 11)			
		10 ³ kcal/steel discharge t	%	10 ³ kcal/steel discharge t	%	10 ³ kcal/steel discharge t	%	10 ³ kcal/steel discharge t	%	10 ³ kcal/steel discharge t	%
Heat input	Heat quantity of electric power	373.0	59.1	438.3	61.5	437.6	62.2	398.2	59.8	412.9	60.6
	Calorific value of fuel	24.9	3.9	16.7	2.3	6.7	1.0	29.4	4.4	20.7	3.0
	Oxidation heat of electrode	25.7	4.1	34.3	4.8	35.9	5.1	28.9	4.3	32.1	4.7
	Oxidation heat of charged raw materials	192.4	30.5	208.4	29.2	204.5	29.0	199.5	30.0	201.5	29.6
	Heat of slag formation	11.2	1.8	12.6	1.8	15.0	2.1	10.2	1.5	12.1	1.8
	Others	3.6	0.6	2.7	0.4	4.4	0.6	—	—	1.7	0.3
	Total heat input	630.8	100	713.0	100	704.1	100	666.2	100	681.0	100
Heat output	Potential heat of molten steel	339.6	53.8	347.5	48.7	342.9	48.7	344.7	51.8	344.0	50.5
	Potential heat of slag	46.5	7.4	55.0	7.7	63.4	9.0	44.2	6.6	51.7	7.6
	Heat loss on transformer and secondary conductor	28.1	4.4	37.9	5.3	46.4	6.6	26.7	4.0	34.5	5.1
	Sensible heat of exhaust gas	111.0	17.6	115.9	16.3	115.1	16.3	112.2	16.8	112.4	16.5
	Heat carried out by cooling water	30.3	4.9	72.3	10.1	49.7	7.1	59.9	9.0	56.1	8.2
	Others (heat release from furnace body, radiant heat at time of additional charging, etc.)	75.3	11.9	84.4	11.8	86.6	12.3	78.5	11.8	82.3	12.1
	Total heat output	630.8	100	713.0	100	704.1	100	666.2	100	681.0	100

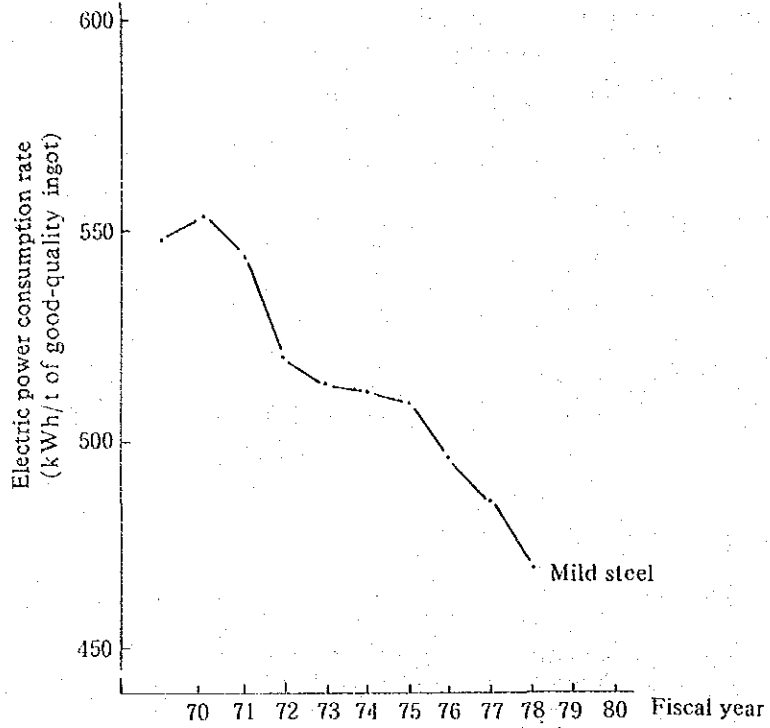


Fig. III-4-15 Changes of electric power consumption rate for arc furnace

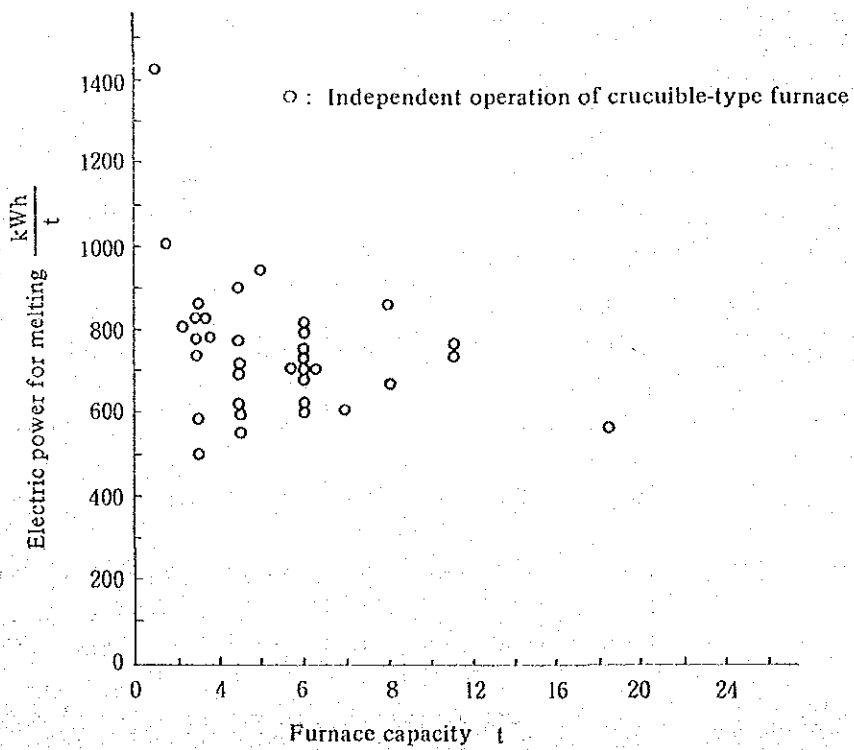


Fig. III-4-16 Relationship between furnace capacity and electric power for melting (Low-frequency furnace)

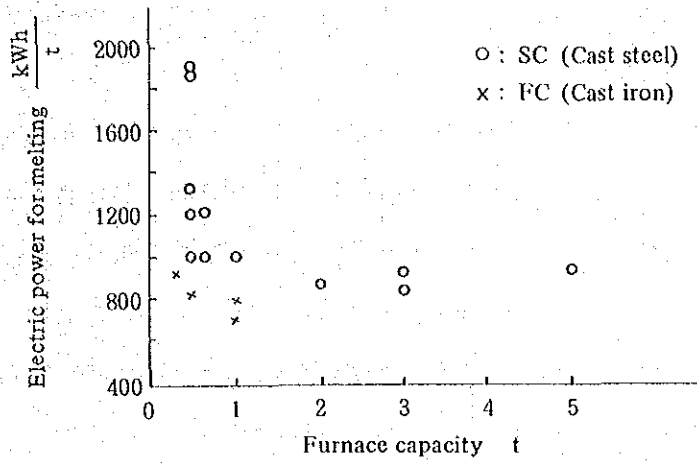


Fig. III-4-17 Relationship between furnace capacity and electric power for melting (High-frequency furnace)

3. エネルギー管理の進め方

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、これらの効率化、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、より良い方向を追求して行く姿勢が求められる。

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言っても過言ではなく、それを引き出すような工場管理のレベルアップ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。

3.1 経営方針の明確化

エネルギー価格の値上りに伴って、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志を明確に示さなければならない。具体的には、いつまでに、製品1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得る事項について、余り長期間を要しない、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たっては、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。

3.2 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、この部署はトップのスタッフとして、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果たすところである。

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、予算配分、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、各部門の間での意志の疎通を図り、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、作業者が十分その意味を理解し、現実の作業に活用するものでなければ成果は期待できない。このような場合、品質管理に効果のあるQCサークル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、職務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あらわれる現象を最も敏感に把握できるのは第1線の作業者である。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、省エネルギーに対して極めて有効である。

3.3 科学的・組織的な活動

省エネルギーを進める上で、エネルギー消費の実態を正確に把握することは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こそ、改善のヒントを考える種が無数に潜んでいるとい

って過言でない、問題意識を持ってデータを調べれば、この種を見付けることができるものである。従って、必要個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。

次に、改善計画を実施した場合は必ず結果をフォローしなければならない。デミング博士の推唱する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、Fig III-4-18のように、あるテーマについて目的を決め、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。

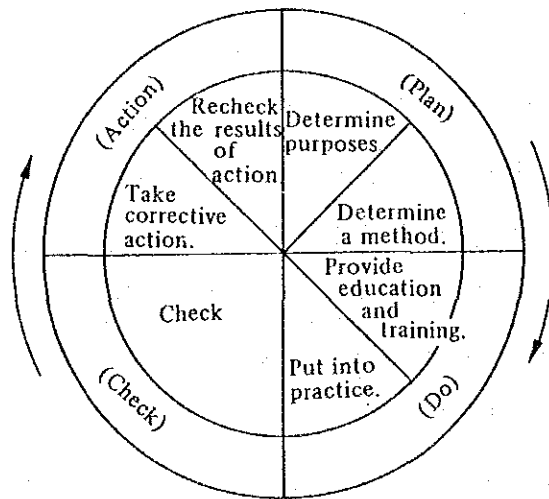


Fig. III-4-18 Deming circle

Planに関する部分では、最初は目につきやすいような点も多いので、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、スタッフのいずれから出してもよいようにし、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褒美を与え、更に、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、改善の意図を末端までよく説明し、その方向に向って努力するよう

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。

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するとともに、必要な設備対策を施して、運転者に余分な負担がかからないように処置することが、永続きさせるための条件である。

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とする。

3.4 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、手引書配布などの方法がとられる。タイ王国の場合、教育に熱心な企業も多く、スタッフを外部研修に出している例も多い。しかし、残念なことに、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作業者にまで普及していない。外部研修を受けた者が、社内教育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。

次に、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が望まれる。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。

4. 熱エネルギー使用の合理化

金属工業における熱エネルギー使用の合理化は、ほとんどが燃焼炉に関するものである。加熱炉や熱処理炉に対する省エネルギーのための特性要因図は Fig III-4-19 のとおりである。この主要項目を図示したものが Fig III-4-20 である。

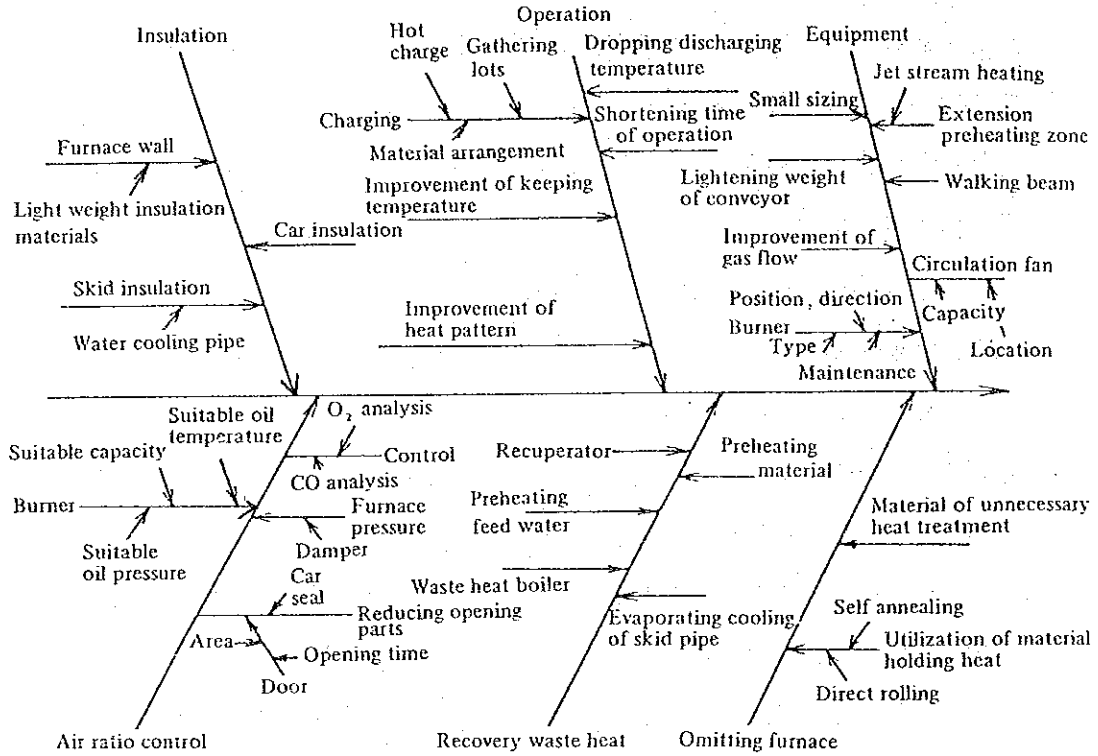


Fig. III-4-19 Characteristic diagram of energy conservation for reheating furnace and heat treatment furnace

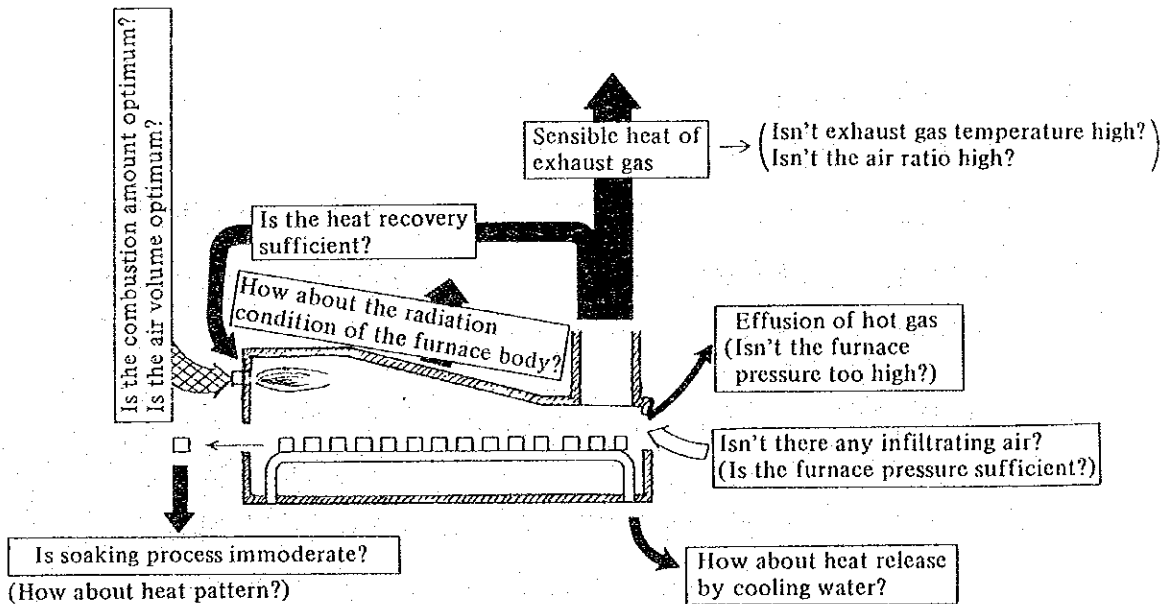


Fig. III-4-20 Reduction point for fuel consumption rate

また金属溶解炉としての電気炉、誘導炉の省エネルギーのための特性要因図は Fig III-4-21 及び Fig III-4-22 のとおりである。

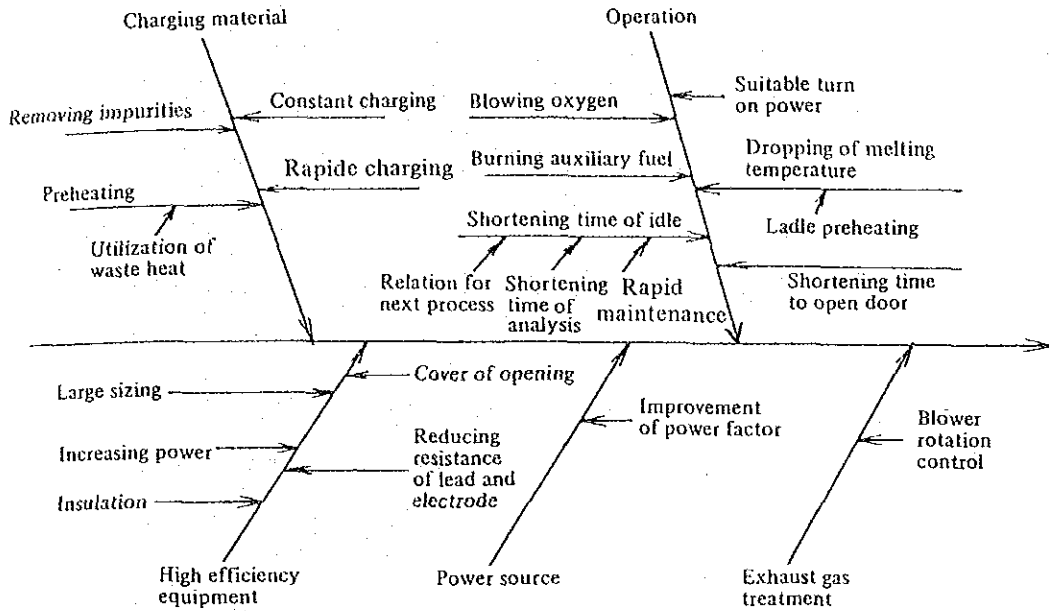


Fig. III-4-21 Characteristic diagram of electric arc furnace

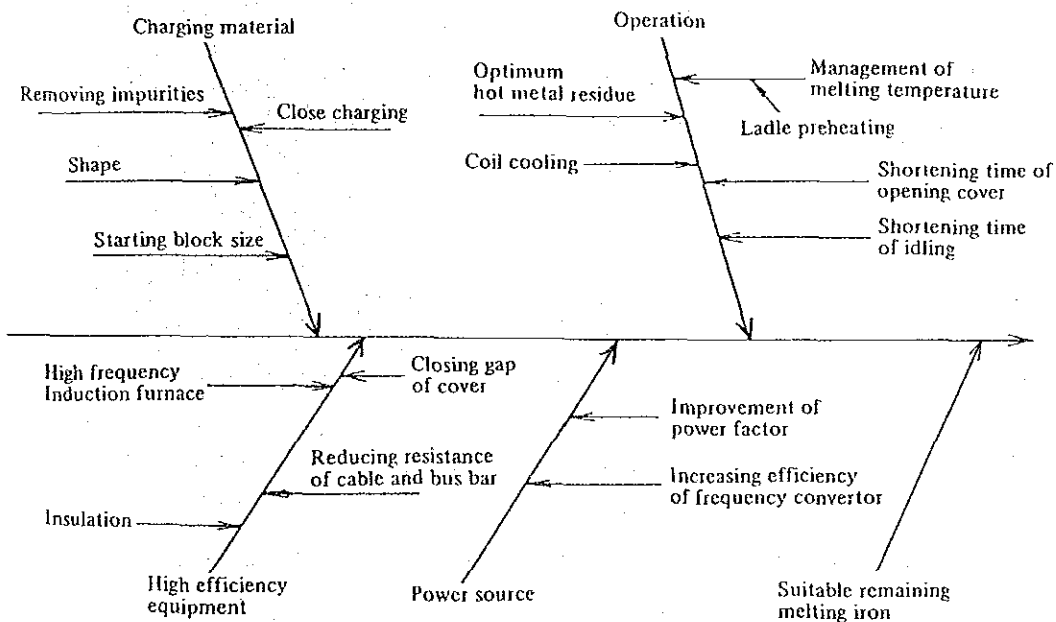


Fig. III-4-22 Characteristic diagram of induction melting furnace

4.1 燃料の燃焼の合理化

4.1.1 空気比

燃料の持つ化学エネルギーを、熱エネルギーに変換する過程としての燃焼を行う場合、燃料を未燃分を残さずに燃焼しつくすと同時に、燃焼に要する空気の量を計算上必要とされる理論的な空気量に可能な限り近づけるよう低減させることによって、熱

効率を可能な限り向上させることが必要であり、その重要な課題として空気比の低減がある。

Fig III-4-23のように、燃料が不完全燃焼をしている場合は、燃料の未燃分が残ることによる熱損失があり、一方、完全燃焼に必要な量以上に燃焼用空気を送入すると、過剰な空気に熱を与えることによる損失が生ずる。

従って、理論空気量よりも少しだけ過剰な空気を送入する状態を維持しつつ、完全燃焼させることが合理的な燃焼である。

この空気の過剰の程度は、燃焼計算上必要とされる理論空気量に対する実際の燃焼空気量の比、すなわち空気比で表わされる。

Fig III-4-24は、空気比による燃料原単位の変化を示すが、排ガス温度が1,000℃の場合、空気比を1.8から1.2に下げると、燃料原単位は180から100に下がり、もとの原単位と比較して、約45%の省エネルギーとなる。

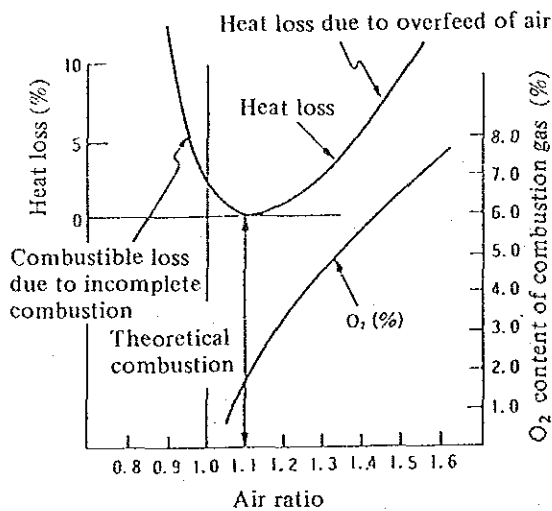


Fig. III-4-23 Rational combustion status

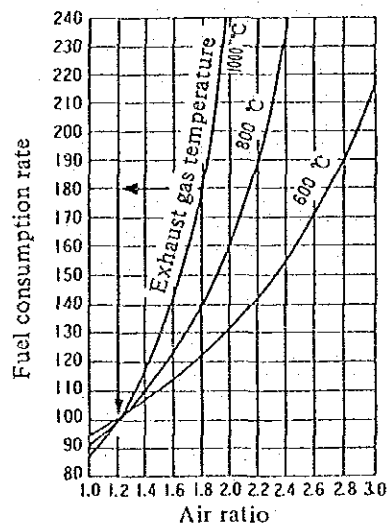


Fig. III-4-24 Energy saving effect under air ratio control

このように空気比は、熱エネルギー使用の合理化の重要な指標であるので、燃料の燃焼を行う設備及び使用する燃料の種類に応じて、空気比についての標準を定め、管理して行く必要がある。

1983年1月に実施した金属工業9社の工場診断の結果から、タイ王国における連続鋼片加熱炉標準空気比の推奨する目標は、次のとおりである。

区 分	標準空気比
連続鋼片加熱炉	1.3

また、参考として日本での工業炉の標準空気比を Table III-4-6 に示す。

Table III-4-6 Standard air ratio of industrial furnaces

Classification	Standard air ratio
Melting furnace for metal casting	1.3
Continuous reheating furnace for bloom	1.25
Metal reheating furnace other than continuous reheating furnace for bloom	1.3
Continuous heat treatment furnace	1.3
Gas producer and gas heating furnace	1.4
Petroleum heating furnace	1.4
Thermal cracking furnace and reformer	1.3
Cement kiln	1.3
Alumina kiln and lime kiln	1.4
Continuous glass melting furnace	1.3

(Remark)

1. The values of the standard air ratio listed in this Table are determined regarding the air ratio measured at the outlet of the furnace, when the burning is carried out at a load in the neighborhood of a rating after inspection and repair.
2. The values of the standard air ratio listed in this Table will not apply to the air ratio of the under-mentioned industrial furnaces as a standard:
 - (1) Those using a solid fuel.
 - (2) Those having a rated capacity of not more than 200,000 kcal/hour.
 - (3) Those requiring a special atmosphere for oxidation or reduction.
 - (4) Those requiring a frequent operation of furnace cover or frequent ignition and fire extinguishment.
 - (5) Those requiring a diluted air for maintaining a heat pattern or equalization of intrafurnace temperature.
 - (6) Those requiring an opening because of the structure of burning equipment and through which a large amount of external air flows in.
 - (7) Those operated annually with the maximum operating time limited to 1,000 hours.

4.1.2 バーナ

燃焼炉では燃焼熱エネルギーが最大の入熱であり、熱の生成、利用の過程における効率が炉全体の効率に大きく影響する。従って、バーナの選定に当たっては炉の形式、燃料の種類、使用条件、炉の目的など、あらゆる角度から検討し、最も合理的なものを選定しなければならない。バーナ形式は燃料によって Fig III-4-25 のように分類される。なお、Fig III-4-26 に各種バーナの容量範囲、Table III-4-7 にオイルバーナの特性を示す。

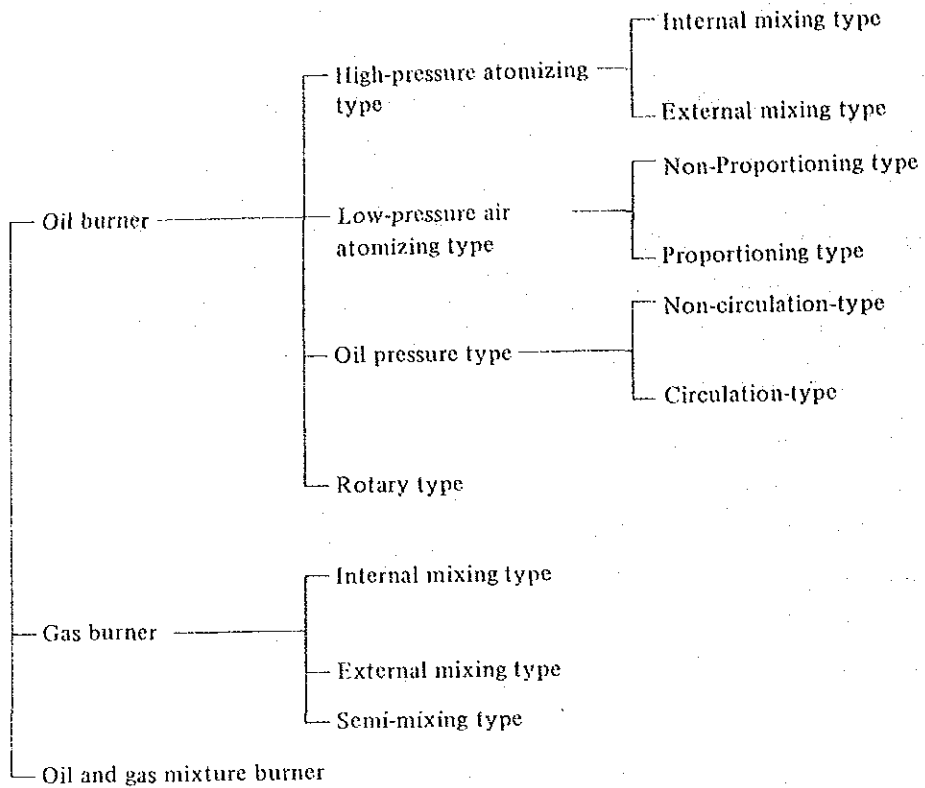


Fig. III-4-25 Classification of burners

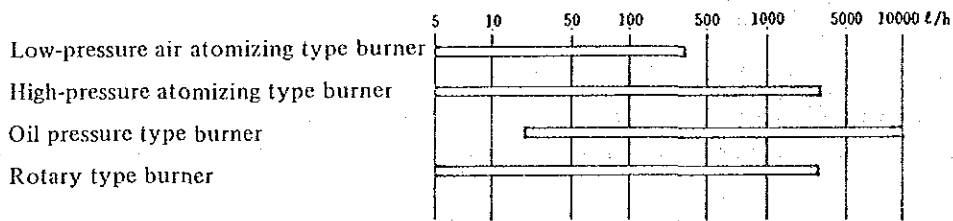


Fig. III-4-26 Capacity range of various burners

(1) 高圧気流式油バーナ

油バーナの形式の中で、高圧気流式は通常 $2\text{kg/cm}^2\text{G}$ から $10\text{kg/cm}^2\text{G}$ 程度の圧縮空気又は蒸気を噴霧媒体として用い、油をせん断霧化するものである。

高圧気流式油バーナの組立図は Fig III-4-27 に示すとおりで、バーナ本体の他に燃焼用空気を供給・制御するためのエアーレジスタが必要である。高圧気流式油バーナは、油と霧化媒体との混合位置によって、内部混合形と外部混合形との2種類に大別される。

Fig III-4-28 に示したバーナは内部混合形の一例で、油と霧化媒体が噴出孔の手前で混合するものである。

Table III-4-7 Characteristics of oil burner

	Low-pressure air type		High-pressure atomizing type		Oil pressure type		Rotary type		
	Proportioning type	Nonproportioning type	Internal mixing type	External mixing type	Return oil type	Non-return oil type			
Quantity of fuel oil	1.5~150t/h	4~180t/h	10~5,000t/h	10~600t/h	50~10,000t/h	5~10,000t/h	10~1,000t/h		
Oil pressure	1~3.5kg/cm ² G	1~2kg/cm ² G	3~10kg/cm ² G	0.2~1kg/cm ² G	5~40kg/cm ² G	5~70kg/cm ² G	1~3kg/cm ² G		
Atomization medium	Classification	Air	Air	Air or vapor	Air or vapor	-	-	Rotation of air and cup	
	Pressure	Air	400~2,000mmAq	400~2,000mmAq	3~10kg/cm ² G	2~8kg/cm ² G	-	-	200~500mmAq
		Steam	-	-	3~10kg/cm ² G	2~8kg/cm ² G	-	-	-
	Re-quired volume	Air	7~10Nm ³ /kg	1~3Nm ³ /kg	0.15~0.3Nm ³ /kg	0.2~0.4Nm ³ /kg	-	-	1~3Nm ³ /kg
Steam		-	-	0.1~0.3kg/kg	0.15~0.33kg/kg	-	-	-	
Air for burning	Pressure	400~2,000mmAq	50~500mmAq	0~300mmAq	0~200mmAq	100~400mmAq	100~300mmAq	0~300mmAq	
	Temperature	Constant temp. ~350°C	Constant temp. ~350°C	Constant temp. ~700°C	Constant temp. ~700°C	Constant temp. ~700°C	Constant temp. ~700°C	Constant temp. ~350°C	
Appropriate viscosity of oil	15~25 cst	15~25 cst	20~50 cst	20~50 cst	15~30 cst	15~30 cst	15~30 cst		
Combustion adjusting range	4~6:1	4~8:1	4~10:1	4~6:1	3~6:1	1.5~3.5:1	2~6:1		
Type of flame	Generally long flame	Generally long flame	Short flame and long flame	Generally long flame	Generally short flame	Generally short flame	Generally short flame		
Advantage	Proportional adjustment by one lever operation is possible. Low equipment operating cost.	Easy handling and low equipment operating cost.	Optional selection of flame form. Satisfactory atomization.	Clogging won't occur easily, so even inferior quality oil can be burned.	Low burning sound, and low operating cost.	Low burning sound, and low operating cost.	Easy handling and low equipment operating cost.		
Short coming	Air blower having high discharging pressure is required. Air temp. is restricted structurally.	Air blower having high discharging pressure is required. Air temp. is restricted structurally.	High burning sound. Air compressor or boiler is required as a gas source for atomization.	High burning sound. Air compressor or boiler is required as a gas source for atomization.	Insufficient response against load fluctuation. High-pressure pump for oil is required.	It is impossible to respond to load fluctuation. High pressure pump for oil is required.	Generally, adjusting range is narrow.		

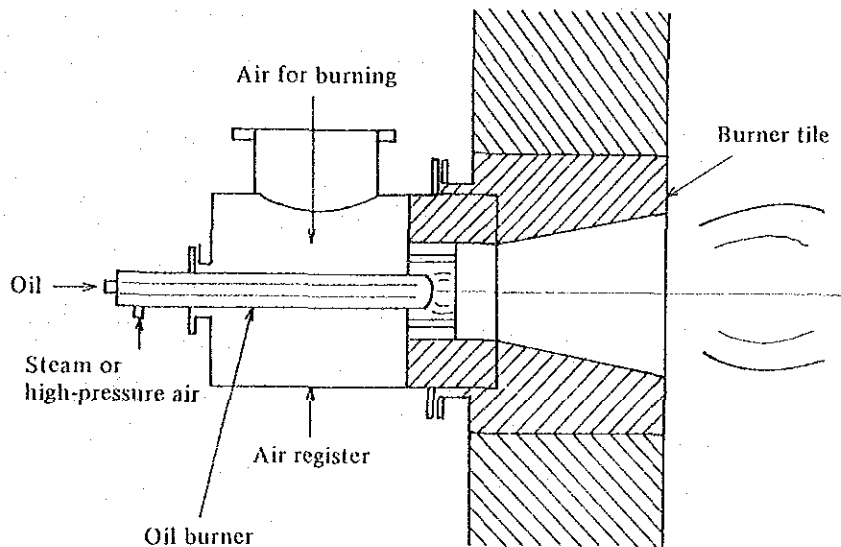


Fig. III-4-27 Installation chart for high-pressure atomizing type oil burner

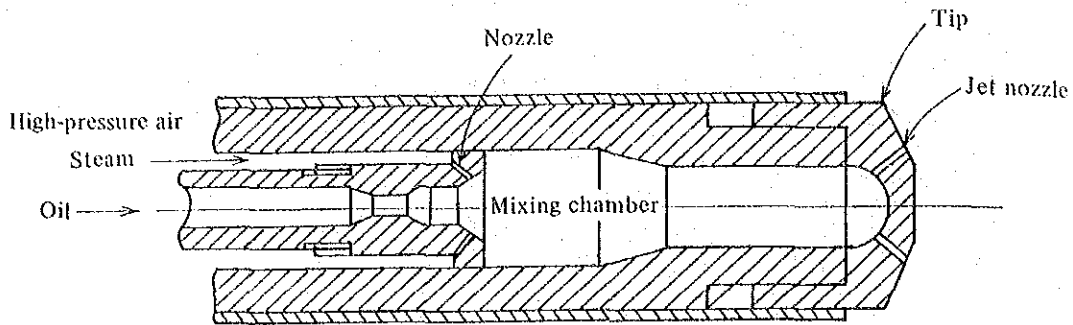


Fig. III-4-28 Structure of high-pressure atomizing type oil burner (Internal mixing type)

この例では比較的大きな混合室を有し、軸方向から油が、その周囲から霧化媒体が入り、混合室で油と霧化媒体とが混合された後、噴出膨張する方式である。一般に、混合物の噴出用として数個の噴出孔を有し、噴出孔の配置、形状を変えることによって短炎、長炎、扁平炎など、任意の火炎形状が得られる。燃焼用空気との接触混合が良好で燃焼速度も早く、安定した火炎が形成される。霧化媒体の圧力よりも油圧は $0.5 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$ 低く保つのが普通であり、自動運転の場合には霧化媒体の配管に差圧調節弁を設け、バーナ入口の圧力と霧化媒体圧力との差圧を、一定に保持する定差圧制御を行うことが多い。

Fig III-4-29 に示したバーナは、外部混合形の一例で油と霧化媒体が噴出孔の外部で混合するもので、油は噴出孔から噴出され、霧化媒体は油噴出孔の周囲に設けられたノズルから、ある角度をもって噴出された油を微粒化して霧化する方式である。このバーナは燃焼量が小容量の場合には、霧化媒体による霧化作用が有効に利用され、極めて高い霧化効果が得られるが、容量が増した場合には、特殊な工夫をしないと完全に霧化するのは難しい。火炎形状は霧化機構上どうしても長炎になりやすい。

また、油の噴出孔径が比較的大きいことから、粗悪油を使用しても閉塞の心配がないこと、油の供給圧が低くてすむなどの利点がある。

(2) 低圧空気式油バーナ

低圧空気式油バーナは、油の霧化媒体として $600 \sim 1000 \text{ mm H}_2\text{O}$ の低圧空気をを用いる。霧化原理は高圧気流式と同様で、空気の噴出エネルギーを利用して油を微粒化する方式のバーナーである。この形式のバーナは、油の霧化に必要な空気量のみをバーナ本体に供給する非連動形と、燃焼に必要な全空気量をバーナ本体に供給する連動形に大別される。

Fig III-4-30 に非連動形低圧空気式油バーナの自然通風の場合の取り付け例、
Fig III-4-31 に構造を示す。

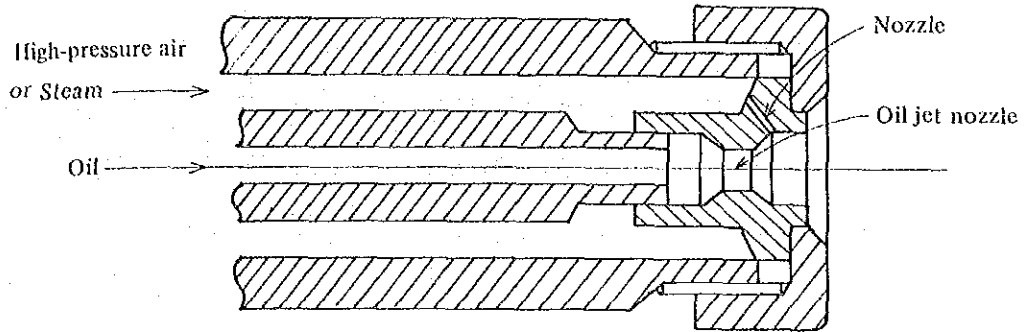


Fig. III-4-29 Structure of high-pressure atomizing type oil burner (External mixing type)

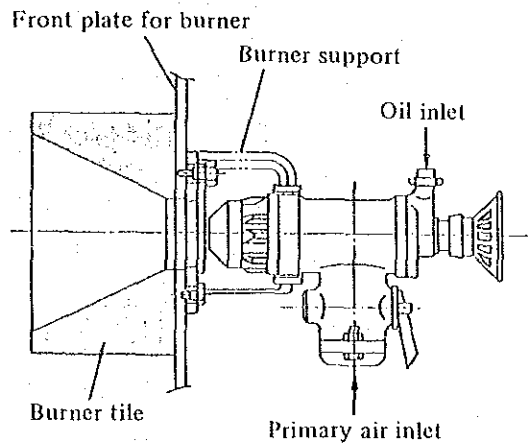


Fig. III-4-30 Installation of low-pressure air type oil burner (Non-Proportioning type)

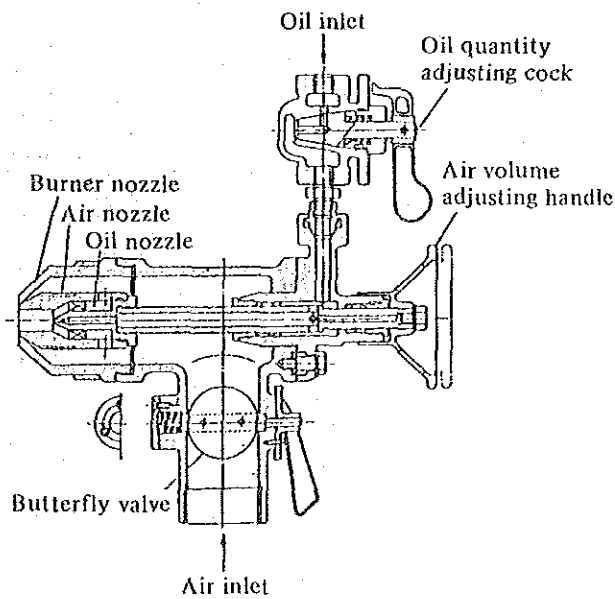


Fig. III-4-31 Structure of low-pressure air type oil burner (Non-Proportioning type)

非連動形低圧空気式油バーナは、燃焼に必要な理論空気量の約20～30%の空気を霧化用としてバーナに供給するものが多い。従って、完全燃焼をするためには、残り70～80%の空気量を自然通風、又は押し込み通風のいずれかによって別途に供給する必要がある。

Fig III-4-31の構造例において、油は油量調節弁を経て油ノズルに供給される。一方、霧化用空気はバタフライ弁を経てバーナノズルに供給され、その一部は空気ノズルの内側に入り、油ノズルから吐出した油の第一段衝撃用として作用し、残りの空気は空気ノズルとバーナノズルとの隙間から吐出し、第2段の衝撃を油に与えて霧化を行う。空気量の調節は、空気量調節ハンドルにより空気ノズルとバーナノズルとの隙間の面積を変化させて行う。空気入口部のバタフライ弁は、正常運転中は全開で使用するが、点火時などには絞って使用する。

油量と空気量がそれぞれ別個に調節されるので非連動形と称される。

Fig III-4-32に連動形低圧空気式油バーナの取り付け例、Fig III-4-33に構造を示す。

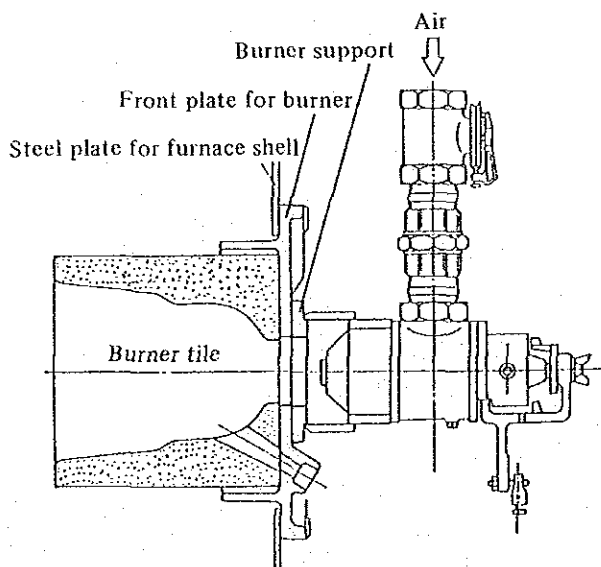


Fig. III-4-32 Installation of low-pressure air type oil burner (Proportioning type)

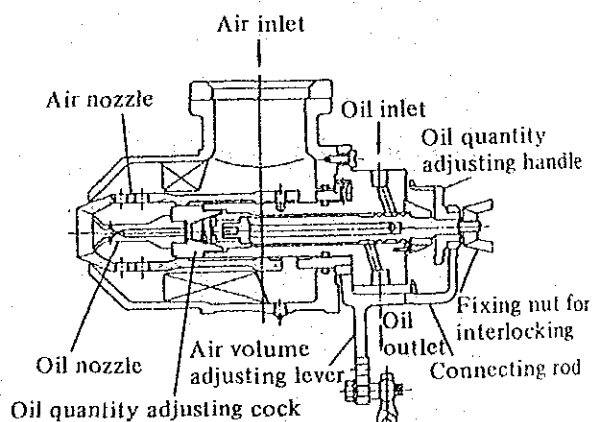


Fig. III-4-33 Structure of low-pressure air type oil burner (Proportioning type)

この形式のバーナは、一般にプロポーショニングバーナと呼ばれるもので、噴霧用空気を含む燃焼用空気の全量をバーナに供給し、油量調節と空気量調節を連動させている。

燃焼に必要な全空気量がバーナから供給されるので、炉圧の影響を受けることが少なく、また、空気比を比較的正確に保持することができる。Fig III-4-33にお

いてバーナに供給された油は、油量調節ハンドルにより所定流量に調節され、油ノズルから吐出する。油の粘度が変化すると吐出量に変化が生ずるので、粘度を一定にして供給するのが望ましい。油を予熱してバーナに供給する場合には、粘度をできるだけ一定に保つために、バーナ内で油を戻すことができる構造となっている。

一方、空気は空気調節レバーを操作することにより、空気ノズルが前進・後退して空気吐出面積が変化し、流量の調節が行われる。

連動動作は、連動用固定ナットを締め付けることにより、連結桿を介して、油量と空気量の調節が同時に行える。

(3) 油圧式油バーナ

油圧式油バーナは、油圧エネルギーのみで油を霧化する方法のバーナである。

油は比較的高圧で供給し、霧化用の空気や蒸気は不要である。

霧化のための油圧は、通常 $5 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ とされているが、近時、バーナの大形化に伴って最高圧力 100 kg/cm^2 あるいはそれ以上のものもある。

油圧式バーナの霧化特性として、油圧を低くしたり、噴霧角度をせまくしたりすると、噴霧粒径が粗くなり、燃焼状態が悪くなるので、その調整範囲及び火炎特性には制約があり、一般には、広角短炎特性で調節範囲が狭いとされている。しかし霧化のための空気や蒸気が不要なので、設備が単純化され、また運転費も安価であるという利点がある。

Fig III-4-34 に、非戻り油形油圧式油バーナの構造を示す。

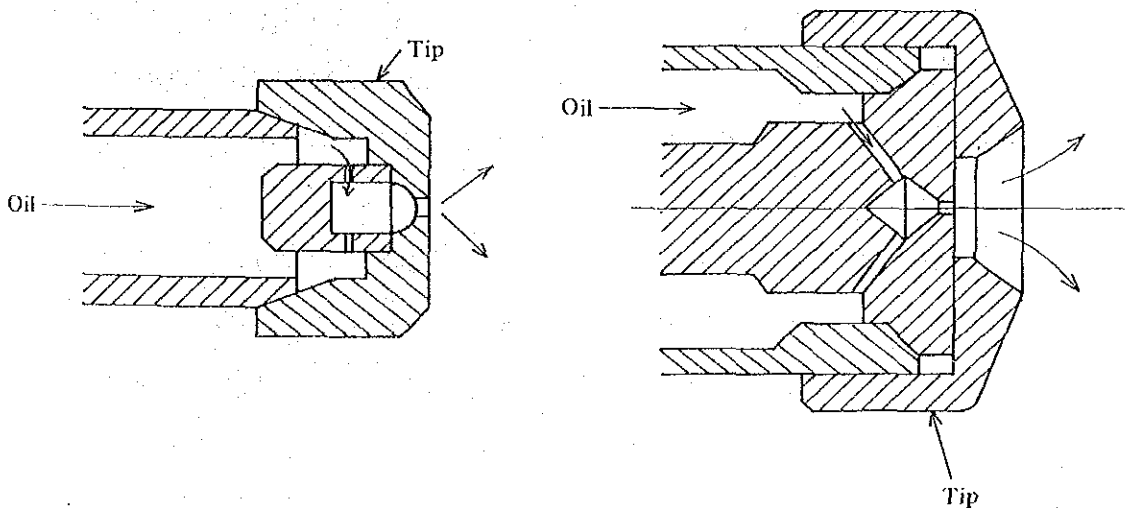


Fig. III-4-34 Structure of non-return oil type oil-pressure burner

この形式のバーナは、バーナ本体に送り込んだ油を戻すことができない油圧式油バーナで、供給された油は、強力な旋回流となってチップから噴出し霧化される。

このバーナは設備が最も単純で、運転操作も容易であるが、調節範囲が狭いため、一定流量で燃焼させるのに適しており、普通の場合、その制御方式はオン・オフ制御が用いられる。あるいは数本のバーナを使用して、順次間引いていく制御をとる場合もある。油吐出流量は、油圧の平方根にほぼ比例するので、調節範囲を変更したい場合には、供給油圧を変更するか、又は異なった穴径のチップに交換することにより行う。ただし、極端に油圧を下げると霧化特性が悪くなるので、注意が必要である。

Fig III-4-35 に戻り油形油圧式油バーナの構造を示す。

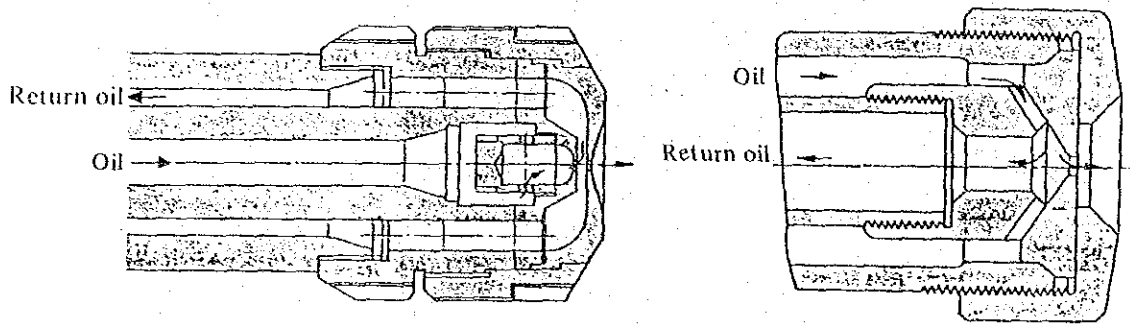


Fig. III-4-35 Structure of return oil type oil-pressure burner

この形式のバーナは、バーナ本体に送り込んだ油を戻すことができる油圧式バーナで、供給された油は、強力な旋回流となってチップから噴出し霧化される。

このバーナは、非戻り油形油圧式バーナの欠点である流量を減少させた場合に噴霧粒径が粗くなる点を補うために、戻り油の回路を設けて低流量時のチップにおける油の旋回力を確保して、霧化特性を維持しようとするもので、広い調節範囲を持つ。

油流量の調節は、戻り油側に設けられた流量調節弁の操作により行われる。この場合、戻り油側の戻し量により吐出量を調節することになるので、他の形式のバーナと異なり流量調節弁全開で最低流量、流量調節弁全閉で最高流量となるので、注意が必要である。

(4) 回転式油バーナ

回転式油バーナは、回転板による油の微粒化を利用して霧化するもので、Fig III-4-36 にその構造を示す。

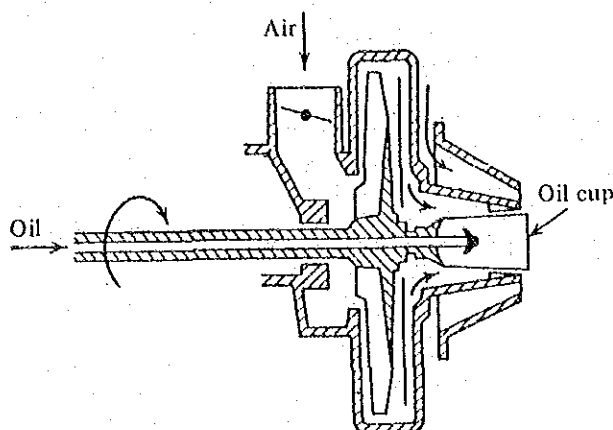


Fig. III-4-36 Structure of rotary type oil burner

このバーナの霧化機構は、回転するカップ（霧化筒）の内面のテーパに沿って流出した油が、その先端で遠心力によって振り出され、霧化筒の先端で、その切線方向に薄い膜状になった状態となり、それを霧化筒の外側から吹き出す一次空気によって霧化するもので、低圧空気噴霧バーナの発展したものと見える。

霧化筒の回転数は、普通形の3,000～3,600 rpmと高速形の6,000～8,000 rpmのものがあり、高速形のは流量調節範囲が飛躍的に大きくなり、25:1というものも製作されるようになった。霧化方法が霧化筒の回転エネルギーと一次空気のエネルギーを利用するものであるので、油そのものには圧力は必要としない。

むしろ、高圧で送油されると注油口の先端での油の噴出速度が大きくなりすぎて、霧化筒内で油がはねかえり、霧化がうまくいかない場合がある。そのため、油を重力のみで落とし込む方法が取られることもあるが、送油ポンプを使用する場合は、霧化筒内で油がはねかえらないように、低圧で送油するのがよい。

このバーナは、粘度による粒径変化が比較的少ないので、軽油、灯油からC重油までの油を使用できる。

このバーナで注意すべき点は、バーナ主軸に取り付けられているファンは一次空気用のみであり、二次空気は別のファンや自然吸引により供給されなければならないことである。

(5) ガスバーナ

ガス燃料は空気との混合が容易であり、混合方法によって長い輝炎、無輝炎又はその中間の半輝炎が自由に得られると共に、混合比率を調節することで酸化性、還元性の炉内雰囲気を作り出すことができる。

ガスバーナは、大容量のものから極めて小容量のものまであり、しかも広範囲にわたって燃焼量調節ができる。

ガスバーナは、ガスと空気の混合機構によって内部混合式、外部混合式、半混合式の3種類に分類される。

Fig III-4-37 に内部混合式ガスバーナの構造を示す。

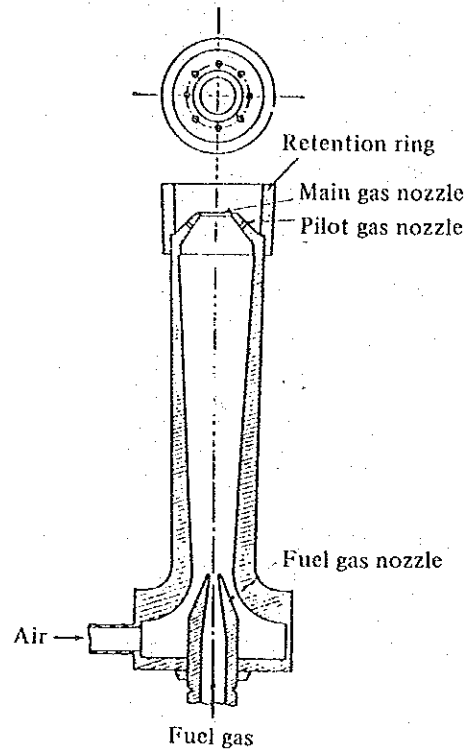


Fig. III-4-37 Structure of internal mixing type gas burner

内部混合式ガスバーナは、ガスの燃焼に必要な空気の全量が予混合された混合気を噴出燃焼させるもので、燃焼用二次空気を必要とせず、無輝炎による急速燃焼が可能なバーナである。ガスと空気の混合比率を設定すれば、所望の炉内雰囲気を作り出すことができる。

急速な燃焼が行われるから、燃焼室を小形とすることができ、高温が得られるのと、混合比率を正確に調整することができる。

内部混合式ガスバーナで、注意をしなければならない点は逆火である。

ガスと空気の混合気は、その混合割合がある範囲内にある場合にだけ、燃焼や爆発が起こりうる。これを可燃範囲とって、ガスの種類によってこの範囲は異なる。可燃範囲は、ガスの圧力と温度によって僅かに変化するが、空気との混合割合によ

って炎の伝ば速度が変化する。

バーナの逆火は、先端での混合気の噴出速度が炎の伝ば速度より小さくなった場合に起こり、逆火した炎は、バーナ内部から配管中をさかのぼり、混合部まで後退することになる。

このため、混合気の噴出速度は燃焼量を最低に減じた際にも炎の伝ば速度より十分大きい速度であることが必要である。従って、高い圧力を持つ混合気の場合には燃焼調節範囲を広くとることができる。

混合気の噴出速度が極めて大きい場合には、炎の吹き飛び現象を伴う恐れがあるので、多数の小穴から噴出させ、個々の噴出孔付近に生ずる渦によって減速を図ったり、耐火物表面に衝突させて減速し、燃焼を安定させる方法が普通とられている。

Fig III-4-38, Fig III-4-39に外部混合式ガスバーナの構造を示す。

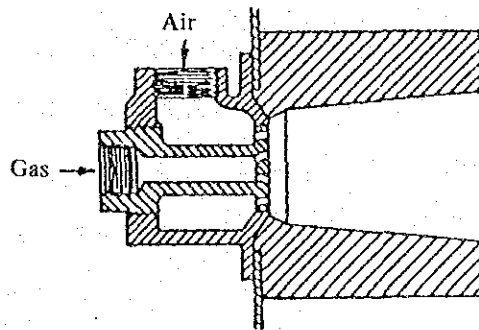


Fig. III-4-38 Compact external mixing type gas burner

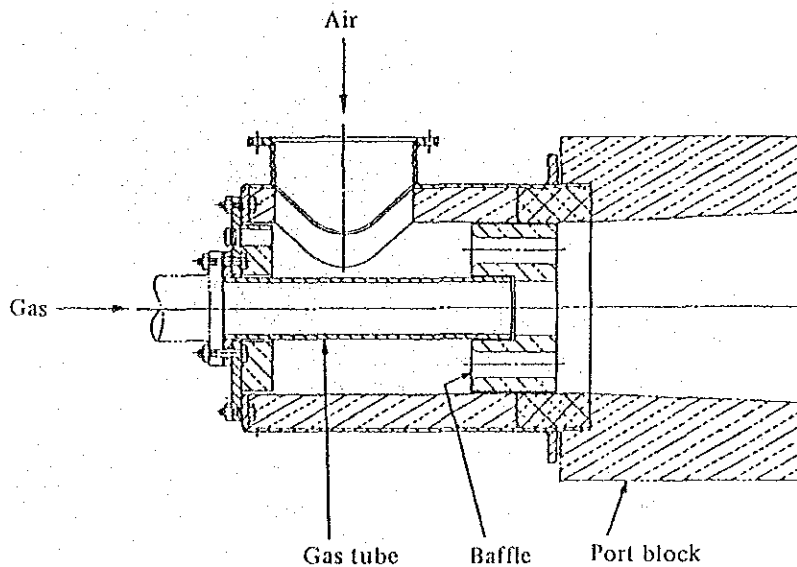


Fig. III-4-39 Structure of external mixing type gas burner

外部混合式ガスバーナは、ガスと燃焼用空気とをバーナ外部で拡散混合させて燃焼させるもので、ノズル混合式とも呼ばれる。この形式では、バーナの内部で可燃性混合気が作られないから、逆火の危険なしに広範な燃焼量の調節ができ、高温に予熱した空気を燃焼用として使用したり、ガスを予熱して使用することができるので、工業炉用のガスバーナとして、大容量のものから小容量のものまで広く用いられている。

噴出部の構造やガス・空気の噴出速度を適当に選定することによって、いろいろの輝度、長さ及び温度特性を備えた炎が得られることも本形式のバーナの大きな特徴の一つである。バーナの形式にはポート形などがあるが、典型的な外部混合式バーナは Fig III-4-38, Fig III-4-39 に示すとおりである。

Fig III-4-38 は比較的小容量のバーナとして用いられるもので、ガスは中心にあるノズルから供給され、空気はその周囲からバーナタイル内に均一な噴流を作り、効果的な拡散混合を行わせるよう供給されるものである。空気とガスが低速で噴出する場合には、比較的溫度の低いソフトな長い炎が得られるので、局所的な過熱を防止しなければならないラジアントチューブ用バーナなどには適している。

Fig III-4-39 は均熱炉、再熱炉などに使用されているバーナで、出口部に耐火物製バップルを備えたものや、耐火物のベンチュリを用いて出口を適当に絞ったものなどがあり、普通高温の予熱空気が使用されるので、ケーシング内面には、適当な厚さの断熱ライニングがされている。

Fig III-4-40 半混合式ガスバーナの構造を示す。

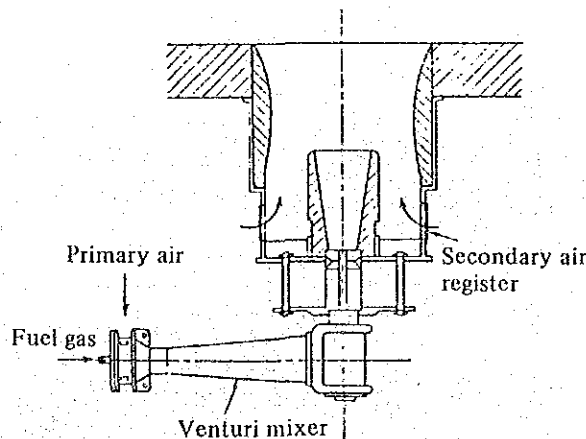


Fig. III-4-40 Structure of semi-mixing type gas burner

半混合式ガスバーナは、燃焼用空気の一部とガスを予め混合してバーナに供給し、噴出部で必要量の二次空気を補足して燃焼を行わせる形式のバーナで、大気圧バー

ナとも呼ばれる。空気の予混合には普通ベンチュリ管が使用され、空気はガスの持つ動圧エネルギーによって大気中から吸引混合される。

予混合される空気量は、全燃焼空気量の30～70%程度で、この一次空気量の調節によって炎の長さや輝度を変えることができる。

簡単な設備の小形バーナ用としては、50～250 mmH₂O程度の低いガス圧力で使用されるが、燃焼量の大きい工業用バーナでは、ガスの種類、予混合される空気量の割合、更には要求される燃焼量の調節範囲などから、適当な混合気圧力を得るため、より高いガス圧力が必要とされる。

燃焼用空気の予混合であっても、予混合であるので、ほとんどの場合、可燃焼範囲内の混合気となることから、逆火に対する考慮が払われなければならない。

(6) 油・ガス混焼バーナ

単一のバーナで、油及びガスをそれぞれ専焼もしくは両者を同時に混焼可能としたバーナであって、通常、油バーナガンはバーナの中心に配置され、いろいろの形式の外部混合式ガスバーナと組み合わせて使用される。

油バーナとしては、一般的には高圧気流式が使用されるが、大形ボイラやロータリキルンなどの混焼用としては油圧式バーナも使用され、また、小形の混焼バーナには、低圧空気式バーナが組み込まれているものもある。

Fig III-4-41は多くの均熱炉や再熱炉で使用されている混焼バーナの形式である。

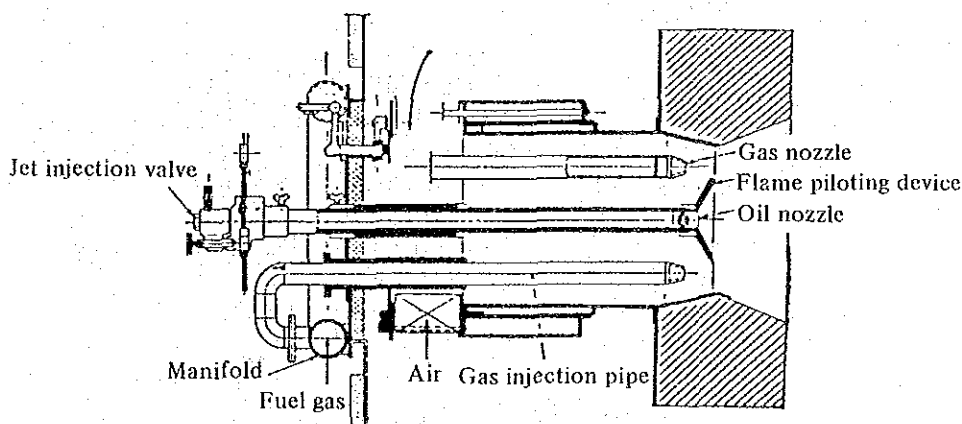


Fig. III-4-41 Structure of oil and gas mixture burner

混焼バーナでガス専焼とする場合、油バーナガンは取り外して使用するべきであるが、油バーナを常に待機の状態にしておく必要があるれば、内部に残留する油を蒸気や圧縮空気を用いて炉内に排出して炭化を防ぐと共に、ガスバーナを燃焼中、これらの気体を若干量噴出し続けてチップの焼損を防ぐ考慮が必要である。

Table III-4-8に燃焼装置のチェックポイントを示す。

Table III-4-8 Points of check and maintenance services for burning equipment

Check spot	Points of check	Procedures (Maintenance)
Fuel piping (oil and gas)	<ul style="list-style-type: none"> • Check leaking spots and tightened parts. • Check if there are any foreign matter or accumulated materials in piping. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retighten defective spots. • Blow the air into piping.
Attached equipment with piping	<ul style="list-style-type: none"> • Disassemble and check the oil pump 	<ul style="list-style-type: none"> • Check worn-out parts, specially bearing, and if defective, replace them. • If the whole pump is defective replace it with a spare pump. • Check V-belt and coupling, and replace them, if necessary.
	<ul style="list-style-type: none"> • Disassemble and check oil strainer 	<ul style="list-style-type: none"> • Check the interior of strainer. • Clean the clogged strainer. • If broken, replace the strainer or repair by partial welding and padding.
	<ul style="list-style-type: none"> • Disassemble and check oil heater 	<ul style="list-style-type: none"> • Check and clean the heater. • If defective, replace it.
	<ul style="list-style-type: none"> • Check valves such as pressure adjusting, stop and relief. 	<ul style="list-style-type: none"> • If any function is found, disassemble and check, and replace the whole set of valves. • For the relief valve and safety valve, check and adjust their working pressure.
Interior of furnace	<ul style="list-style-type: none"> • Check burner tiles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Check if there is any carbon attaching to the burner tile <i>scrape it off while it is hot as far as circumstances allow.</i> • Check if there are any cracks.
	<ul style="list-style-type: none"> • Check refractories. 	<ul style="list-style-type: none"> • Check if there are cracks or a large break. • Check the joints of refractories. • Check the alignment of refractories.
	<ul style="list-style-type: none"> • Check the castable or furnace body. 	<ul style="list-style-type: none"> • In addition to the castable, check the furnace body. • Check the peep hole and the explosion door.
Instruments	<ul style="list-style-type: none"> • Check the flow meter. • Check the thermometer. • Check the manometer. • Check, the fuel safety device. 	<ul style="list-style-type: none"> • Check the accuracy of indication. (check the zero point) • Check a leakage and breakage of the connections. • Test the flame suppression action. It is necessary to disassemble and clean the flame detector (e.g. ultra-violet detector).

Table III-4-9 (a) Causes for trouble with heavy oil burner and trouble-shooting

Trouble	Cause	Trouble-shooting
Ignition is impossible.	Oil is empty.	First check an oil outflow at the time of ignition and then operate.
	Water and sludge are contained in piping, high viscosity.	Be sure to install an oil strainer. Drain the tank and piping periodically.
	Flash point is too high.	Proper flame for ignition is required. Prepare an ignition burner, if necessary.
	Clogging of burner nozzle.	Clean the burner at the time of fire extinguishment. Confirm the outflow of oil at the time of ignition.
	Insufficient heating of fuel.	Heat oil until atomized particles are extremely fine. Increase an atomizing pressure.
	Air does not exist.	Confirm the draft force, and also the opening of a damper when forced draft.
	The flue is closed.	Clean the intake port, flue and exhaust port periodically.
	Excess pressure and volume of primary air.	Appropriate oil concentration in the atomized air current is necessary.
The flame flickers and is not stable.	Sludge, water and other foreign matter in oil.	Be sure to provide an oil strainer. Drain tank and piping periodically.
	Viscosity is too high.	Increase a heating temperature and also an atomizing pressure.
	Burner hole is too large.	Provide an appropriate burner tile and use radiant heat.
	Unstable pressure of air and oil.	Provide a decompression valve, relief valve, etc. to keep a constant pressure.
	Insufficient pump-sucked oil.	Provide a pump of larger capacity.
	Excess pressure and volume of primary air.	Adjust to an appropriate pressure and volume.
	Air in the oil pipe.	Provide an air vent on the pipe.
	Oil heating temperature is too high.	Prevent the generation of bubbles and provide an air vent on the pipe.
Unsatisfactory injection or combustion.	Viscosity is too high.	Increase heating temperature and also the pressure of primary air.
	Insufficient fuel preheating temperature.	Make sure that atomized particles are extremely fine.
	Over or insufficient injection or oil pressure.	Follow burner nozzle specification.
	Air shortage.	Provide an appropriate air intake hole according to draft force.
	Insufficient exhaust port area.	Study an exhaust gas quantity and draft force for an amount of combustion.

Table III-4-9 (b) Causes for trouble with heavy oil burner and trouble-shooting

Trouble	Cause	Trouble-shooting
Excess fuel consumption.	Oil is too light.	Maintain an appropriate heating temperature because the quantity of heat tends to be short despite a sufficient capacity.
	Low calorific value of oil.	Use a proper oil.
	Water, foreign matter and excess or shortage of air.	Provide an oil heater, a strainer, etc. and adjust the air volume all the time.
	Flue hole is too large.	Prevent the inflow of excess air.
	Oil heating temperature is too high.	Determine a heating temperature after recognizing oil quality sufficiently.
Back fire.	Flash point is too low.	Select a proper burner and also change the injection specification.
	Water and foreign matter.	Provide a strainer, a drainage, an air vent etc.
	Excess oil pressure.	Be careful about the size of oil particles and particle injection velocity.
	Insufficient pressure of primary air.	
	Closing of an exhaust port.	Check the opening of a damper and draft force.
	Air in the oil pipe.	Provide an air vent.
Accumulation of carbon in the burner nozzle.	Viscosity is too high.	Make sure that atomized particles are extremely fine.
	Unsatisfactory injection.	Use an appropriate primary air.
	Excess oil pressure.	Use a pressure suitable to the atomizing mechanism.
	Extremely high heating temperature.	Adjust oil and vapor quantities.
	Unstable oil supply.	Keep a constant pressure by the relief valve. Heat up to a fixed viscosity. Be careful about pump failure.
	Air shortage.	Increase the primary air volume and prevent the vortex of the secondary air in the burner tile.
	Leakage of the burner valve after fire extinguishment.	Blow off residual oil in the burner to the maximum allowable degree.
	Excess carbon amount in oil.	If it is possible to increase the primary air pressure and volume, change to forced draft.
	Non-uniform injection.	Be careful about the clogging or scar of nozzle.
	Improper mounting of nozzle.	Make sure that the nozzle is mounted in the center.
Accumulation of carbon on the furnace wall.	Direct impact of atomized particles.	Narrow the injection angle of burner or widen the combustion chamber.
	Viscosity is too high.	Increase a heating temperature and also the primary air volume.

Table III-4-9 (c) Causes for trouble with heavy oil burner and trouble-shooting

Trouble	Cause	Trouble-shooting
	Viscosity is too low.	Reduce the injection velocity.
	Excess oil pressure.	If the pressure and volume of the primary air do not match the oil quantity, the oil is unburned.
	Excess primary air.	If the injection velocity is high, the ignition distance is long.
	Low intrafurnace temperature.	Avoid a rapid combustion of a large quantity of oil.
	Narrow furnace width.	Design after making sure that the amount of combustion matches the injection angle of burner.
Clogging of burner nozzle	Sludge and foreign matter.	Provide perfectly working strainer and heater.
	Accumulation of carbon in the nozzle.	Make sure that the burner is cleaned at the time of fire extinguishment and is not exposed to intrafurnace radiation for a long time.
Soot and dust	Excess ash content	Oil burned at high temperature by forced draft.
	Unsatisfactory burning.	Carry out perfect atomization.
	Heavy oil components.	Induce the secondary air to burn them at high temperature.
	Air shortage.	Increase the air volume so that the flame length is short.
	Excess combustion load	Be careful about the relationship between the size of combustion chamber and oil quantity.
	Insufficient blast.	Increase the exhaust port area, and also draft force.
Clogging of strainer.	Sludge, wax, other foreign matter, extremely high viscosity and extremely low oil temperature.	Provide a strainer suitable to oil quality.
Clogging of piping.	Coagulation of sludge, wax and oil, extremely high viscosity rag, wooden chip, iron rust and other foreign matter.	Provide piping of larger size. Minimize resistance. Apply insulation. Install a strainer.
Pump suction is impossible.	Low oil temperature, extremely high viscosity, clogging of pipe filter, sludge, leakage of suction pipe, slipping of pump and extremely high oil temperature.	
Mixing of water.	Separation of water from oil, condensation of moisture in air, leakage of heating pipe, rain water leakage due to breakage of tank roof and other causes.	
Corrosion.	Components of ash, sulphur and salt in oil.	
Discoloration of brick	Sulphur, iron and ash.	
Odor.	Extremely high preheating temperature, sulphur and other foreign matter.	

燃焼に必要な通風力は、バーナの形式と燃焼量によって決まる。通風力はバーナを空気が通過するときのレジスタ抵抗、及び煙道を燃焼ガスが通過するときの煙道抵抗の合計より大きくなければならない。

煙道断面が一定で真直ぐのとき煙道通風抵抗は、長さ1 m当たりの圧力降下で示すと0.2 ~ 0.3 mm水柱であるが、途中に曲りや断面変化があったり、また煙突までの間に過熱器、エコノマイザ、空気予熱器等があるとき、それぞれ通風抵抗を生ずるので、必要通風力は大きくなる。

煙道中の通風抵抗の1例をTable III-4-10に示す。

Table III-4-10 Example of draft resistance (Water column mm) in flue

Heat transfer area	Flue tube boiler	4 ~ 7
	Smoke tube boiler	7 ~ 10
	Horizontal multitubular boiler	3 ~ 6
	Water tube boiler	2 ~ 5
Superheater		2 ~ 3
Economizer		3 ~ 5
Air preheater		3 ~ 5
Dust collector		2 ~ 3
Damper		1 ~ 3
Horizontal flue per 1 m		0.2 ~ 0.3
Flue 90° bend		3

煙道中に空気予熱器などを新設した場合には、通風抵抗が増加するだけでなく、排ガス温度が低下するので、通風力も低下する。

燃料ガス中に硫黄分がある場合は、燃焼によって硫酸化合物が生成される。この硫酸化合物は、空気予熱器、エコノマイザ、鋼板製煙突を腐食させるので、排ガス温度は露点以下にしてはならない。通常は250℃以上の排ガス温度にするのがよい。

通風力が不足する主な原因は、次のとおりである。

- a. 煙突高さ及び煙突断面積の不足
- b. スス及びばいじんによる煙道の詰まり
- c. バーナの2次空気入口部の閉塞
- d. 炉体、煙道のレンガ壁等からの空気の侵入
- e. ダンプの開度不足
- f. 送風機の容量又は圧力不足

煙突の通風力は、煙突内のガス密度と大気密度との差により生ずるものであり、その強さは煙突内のガス温度及び煙突の高さによって決まる。

煙突の通風力を求める簡単な計算式を次に示す。

$$h = 355 \times H \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

h : 煙突の生ずる理論通風力 (mm水柱)

H : 煙突高さ (m)

T_1 : 大気温度 (°C) + 273

T_2 : 煙突内ガス平均温度 (°C) + 273

煙突内の一般的なガス流速は、4～5 m/s であり、煙突の径が小さいとガス流速が速くなり抵抗が増えるので、十分な流通面積を持った煙突径とする必要がある。

炉内圧設定値は、炉床上の圧力で 0.2～0.4 mm H₂O にするのがよい。

ダンパー等炉内圧調節機による圧力設定は Fig. III-4-43 に示すように炉内ガスの浮力と炉内圧測定口の位置との影響を考慮して次のように設定する。

$$P = (0.2 \sim 0.4) + L \quad (\text{mm H}_2\text{O})$$

ここで

P : 炉内圧設定値 (mm H₂O)

L : 炉床からの測定口の高さ (m)

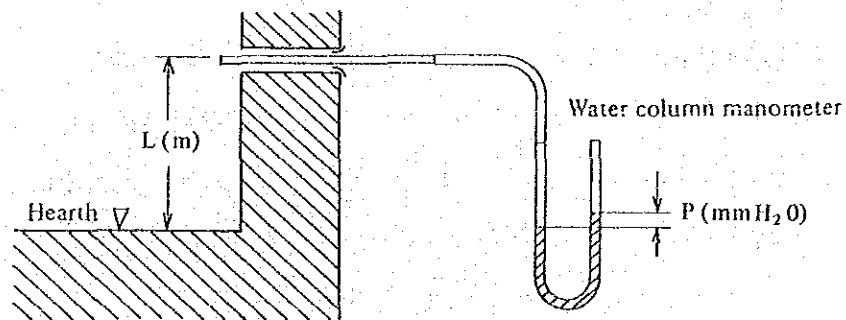


Fig. III-4-43 Furnace pressure measurement port and pressure setting

4.1.4 重油予熱

油バーナを使用する場合に霧化を正常に行うためには、バーナ入口での油粘度が Table III-4-11 に示す値を満足する必要がある。

Table III-4-11 Required viscosity of oil at burner inlet

Type of burner	Required viscosity of oil at burner inlet	
	RW. No. 1	Kinematic viscosity
High-pressure atomizing type	230 sec. max.	59 cst max.
Low-pressure air type	230 sec. max.	59 cst max.
Oil pressure type	150 sec. max.	32 cst max.
Rotary type	150 sec. max.	32 cst max.

軽油、灯油、A重油では予熱の必要はないが、B重油、C重油では予熱して使用する必要がある。

Fig III-4-44 に燃料油の粘度-温度関係線図を参考として示す。

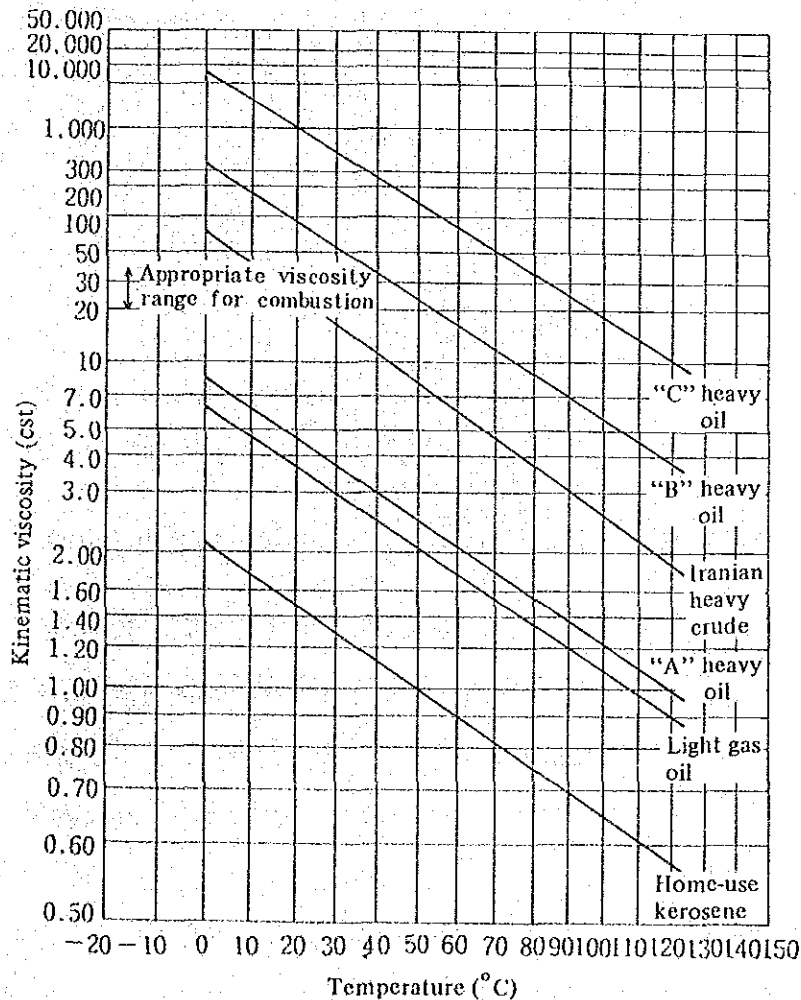


Fig. III-4-44 Viscosity-temperature-related linear chart for fuel oil

4.2 加熱及び冷却並びに伝熱の合理化

加熱炉内において熱は材料に次のように伝えられる。

(1) 伝導による伝熱

低温の材料が高温の炉床上に置かれたとき、伝導により熱が伝わる。

2個の固体が接触すると、接触面は瞬間的に両接触面の中間のある温度になる。

実際に伝導によって材料に熱が伝えられる量は比較的少ない。

(2) 対流による伝熱

Fig III-4-45に示すように、固体の表面に平行にガス状流体が流れている場合には、固体の表面には分子間の吸引力によって流体の層がついていて、熱はこの静止層（境界層）を通り伝導によって伝えられる。600℃以下の炉温では対流による伝熱が最も重要なものとなる。

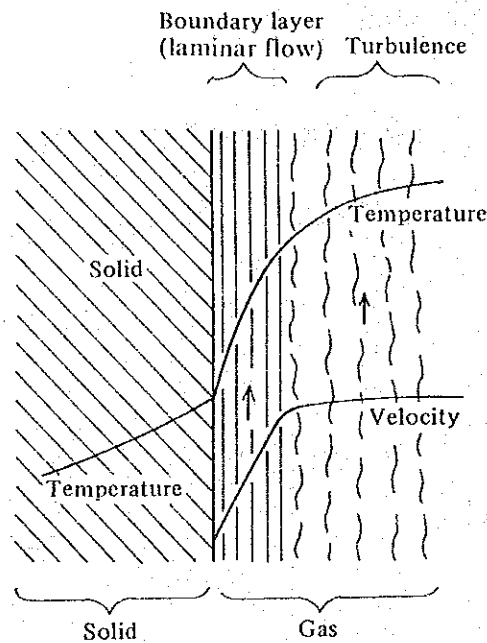


Fig. III-4-45 Heat transfer to surface by convection

実験によれば、平面に沿うガスの流れに対する単位面積、単位時間当たりの伝熱量はガスの質量と速度及び温度差の関数である。伝熱量を高める目的でガス速度を上げ、熱伝達係数を $30 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 又はこれ以上にしている例がある。

低温の加熱炉では、炉内ガスの速度をあげるのが伝達係数をあげる唯一の方法である。

実際の炉内では、ガスの温度も速度も場所によって異なり、ガスの流れが天井に沿って流れ、加熱材料に接触しないこともある。また加熱材料が小さくて、まとめてば

んの上に載せて加熱する炉も多いが、この場合には、各材料は平らな面を持っているわけでない。この面にガス流が衝突するときの伝熱は、前述のものとは違ったものとなる。

(3) 固体間の放射による伝熱

固体からは熱を放射していて、高温になればその放射量が増大する。

高温の固体から低温の固体へ放射によって伝えられる熱量は、高温の固体から低温の固体に放射される熱量と、低温の固体から高温の固体に放射される熱量の差である。

固体からの放射熱量は、その固体面の絶対温度の4乗に比例すると共に、固体の放射率にも比例する。

この放射率は吸収率と等しく、完全放射率を黒体放射率ともいう。

Fig III-4-46に、各種金属表面の温度による放射率を示す。

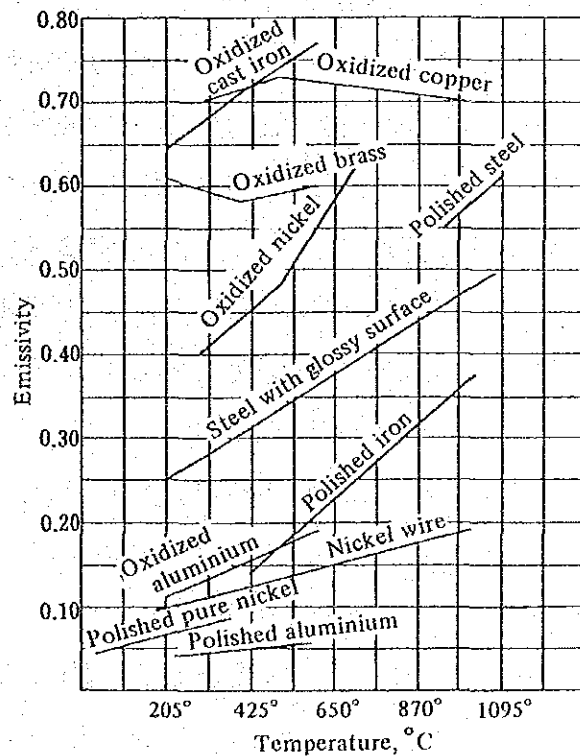


Fig. III-4-46 Emissivity of metal

(4) 透明なガスから固体への放射による伝熱

燃焼ガスから固体への放射のうち、透明なガスからの放射といわゆる輝炎からの放射とは区別しなければならない。

透明なガスからの放射は4乗則に従わない。透明なガスの中のCO₂, H₂O, SO₂だけがかなりの熱放射を行う。他のガスすなわちO₂, N₂, H₂等は無視できる程度の熱放射しかない。

そしてガスの中でも CO_2 、 H_2O からの熱放射が一般的に重要であり、その強さはそれぞれのガス分圧及びガス層の厚みとの相乗積、及びその温度によって支配される。

(5) 輝炎からの放射による伝熱

液体燃料を燃焼させた場合、気体燃料を空気不足で燃焼させた場合、あるいは微粉炭などを燃焼させた場合に見られる黄橙色を呈した炎のことを輝炎という。

輝炎の放射は、 CO_2 、 H_2O 等のガス放射と、炎中に含まれる高温の炭素微粒子群による固体放射とが、合成されたものと考えられる。

この輝炎による放射は、一般に不輝炎のガス放射よりもはるかに高い。

(6) ホットチャージによる前工程の予熱利用

連鑄工場と圧延工場加熱炉装入機が近接してホットチャージに非常に有利なレイアウトになっている場合にはホットチャージを採用して燃料原単位の低減を図る方法がある。

ホットチャージはカットされた高温の連鑄ビレットが直接加熱炉に装入されることが望ましいが、連鑄機と圧延ラインとの生産能力の差により全量処理することは非常に難しい。従って、通常はバッファ機能として高温連鑄ビレットを一時的に貯蔵する保温ボックスが設けられている。保温ボックスは、断熱材でライニングした鋼板構造の箱で、ビレットの出入のための移動可能なカバーを有している。

保温ボックスの収容量及びボックス数等は連鑄機能力、ビレット貯蔵計画量等により決定される。

ホットチャージによる省エネルギー量は、装入温度 100°C 当たり $20 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ (C重油換算で 2.2 l/t) である。

(7) 材料装入方法の改善による炉内伝熱の効率化

材料の装入方法を改善することによって炉内伝熱を良くすることができる。

鋼片(例として、長さ 1.5 m 、幅 5 cm 、厚さ 1.5 cm) を $6 \sim 9$ 段の山積み状で装入している例を見掛けたが、こういう装入方法では、下積みの鋼片が加熱されにくい。これは炉内の放射伝熱と対流伝熱が山積みとなった鋼片の上部にのみ作用し、熱伝導による伝熱も各鋼片の接触度合が少ないので、有効に働かないからである。

鋼片の装入方法を $1 \sim 2$ 段の積み重ねのみとして、炉内での伝熱を効率化するのが望ましい。この場合は、鋼片搬送方法の改善も同時に必要となる。

炉内での伝熱の効率化により加熱能力が $2 \sim 3$ 倍に向上する。

以上のように燃焼炉における炉内の伝熱は、基本的には燃焼ガスの熱放射の能力に

よるが、この能力を大きくするためには、被熱物の大きさに比べて、炉内容量をかなり大きくして、いわゆる「有効ガス厚み」を厚くする必要がある。しかし、炉内容量を大きくすると、炉壁蓄熱や放熱による熱損失や設備建設費用も高くなることから、熱放射能力そのものを高めて、燃焼ガスから被加熱物への伝熱効率を向上する工夫が必要となる。

固体熱放射能力が、気体熱放射能力よりはるかに高いことに注目して、通気性固体を加熱炉内に装着することによって、気体熱放射を固体熱放射に変換し、結果的に熱放射能力を高めて、省エネルギーを実施している例もある。

4.3 放射・伝熱等による熱の損失の防止

(1) 炉体表面からの熱損失の防止

炉体表面からの放射熱損失、炉体の蓄熱損失を改善する対策としては、炉壁、天井等の熱伝導率を低下させると共に、熱容量を低減する必要がある。

炉壁はその強度や耐火性などについて一定の性能が求められ、それに応じて炉壁の材料の種類、組み合わせ方、厚さ等の構成の仕方が異なる。

また工業炉は一度建設されると、その炉壁構成を大幅に変更することは容易ではない。天井は側壁に比べ、炉の強度等の理由から相対的に厚みが少なくなっているのが一般的である。また、側壁には覗き窓、扉、バーナ取り付け部等がありその構造上から、特に厚みが厚い場合や薄い場合がある。

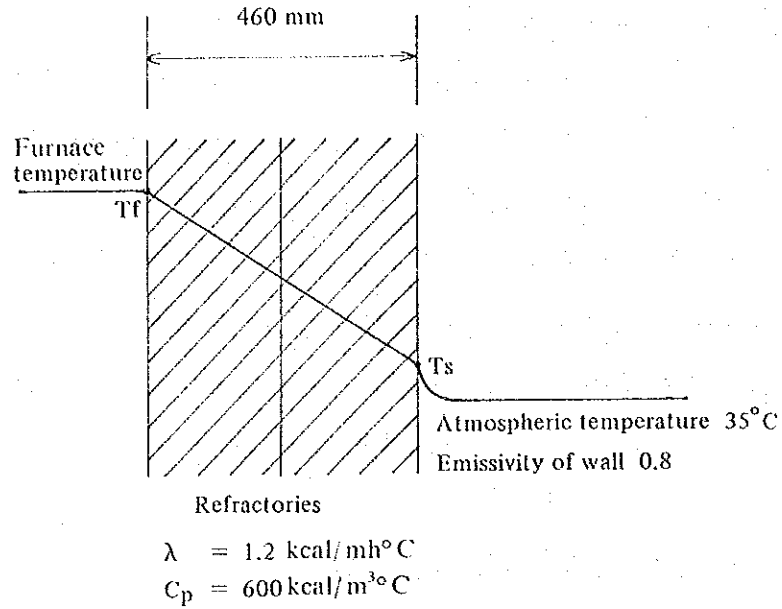
最近設備される炉は、比熱が小さい軽量のセラミックファイバで炉壁が構成されており、断熱効果が優れていると共に、蓄熱量が小さく、炉壁からの熱損失が改善されている。

レンガで炉壁が構成されている既設炉の場合は、後述するようにセラミックファイバ内張りにより対処せざるを得ないが、これは炉容積を減少してもよい場合に限られる。炉体表面からの放散熱損失の改善は断熱方法を強化することにより達成できる。

この断熱方法には炉内壁にセラミックファイバ等を取り付ける方法と、炉外壁にセラミックファイバやロックウールやグラスウール等を取り付ける方法がある。

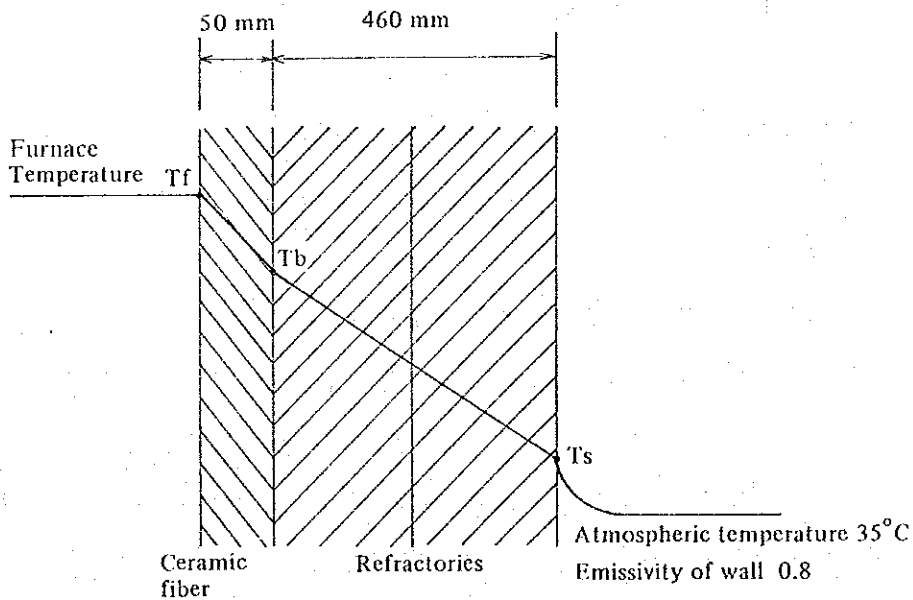
Fig III-4-47は加熱炉の標準的な炉壁温度で、この場合は、炉壁材は耐火レンガのみで厚さ460 mmである。

Fig III-4-48は、Fig III-4-47に示す炉の内側壁に厚さ50 mmのセラミックファイバを新しく張り付けることにより断熱を強化した例である。



Furnace temperature	T_f	1300	1200	1000	800	$^\circ\text{C}$
Surface temperature	T_s	199	190	170	149	$^\circ\text{C}$
Quantity of radiant heat	Q	2,873	2,636	2,165	1,699	kcal/m ² h
Quantity of accumulated heat	H	206,837	191,765	161,463	130,914	kcal/m ²

Fig. III-4-47 Typical wall temperature of reheating furnace



Furnace temperature	T_f	1300	1200	1000	800	$^\circ\text{C}$
Boundary temperature	T_b	800	741	621	307	$^\circ\text{C}$
Surface temperature	T_s	149	142	128	112	$^\circ\text{C}$
Quantity of radiant heat	Q	1,700	1,562	1,288	1,015	kcal/m ² h
Quantity of accumulated heat	H	133,562	124,215	105,384	86,341	kcal/m ²

Fig. III-4-48 Improvement plan for wall composition of reheating furnace

改善による省エネルギー効果をみると、Table III-4-12 に示すように外壁面の表面温度が低下すると共に、放散熱量、蓄熱量いずれも 30 ~ 40 % 低下している。耐火性、断熱性がともに優れているセラミックファイバにより、耐火レンガの温度が低下するので、耐火レンガの寿命も延長する方向であり、すべての面からみて、好ましい改善方法である。ただ、この炉内壁にセラミックファイバを張ることにより炉内容積が小さくなることと、炉床全面に施工するのが難しいことの 2 点が問題点であるが、これは大きな障害とはならない。

Table III-4-12 Improvement effects of wall composition of reheating furnace

	When furnace temp. is at 1,300°C		Improvement effects
	Before improvement	After improvement	
Surface temperature	199°C	149°C	25% drop of surfacial temperature
Quantity of radiant heat	2,873 kcal/m ² h	1,700 kcal/m ² h	41% decrease in quantity of radiant heat
Quantity accumulated heat	206,837 kcal/m ²	133,562 kcal/m ²	35% decrease in quantity of radiant heat

次に、炉壁の外側にロックウールを取り付けた場合の改造案を検討してみる。この場合に、炉壁外面が鋼板等で覆われていると、ロックウール等を取り付けることにより、この鋼板温度が上昇して、熱膨張による歪等が発生して炉殻が破損する恐れがある。

従って、炉壁外面が鋼板等で覆われているときは、ロックウール等で断熱強化をしてはならない。Fig III-4-49 は炉壁外面が耐火材のままで 50 mm 厚さのセラミックファイバを取り付けたときの炉壁温度等を示したもので、耐火レンガの平均温度が著しく上昇し、蓄熱量が増大するという欠点が生じている。

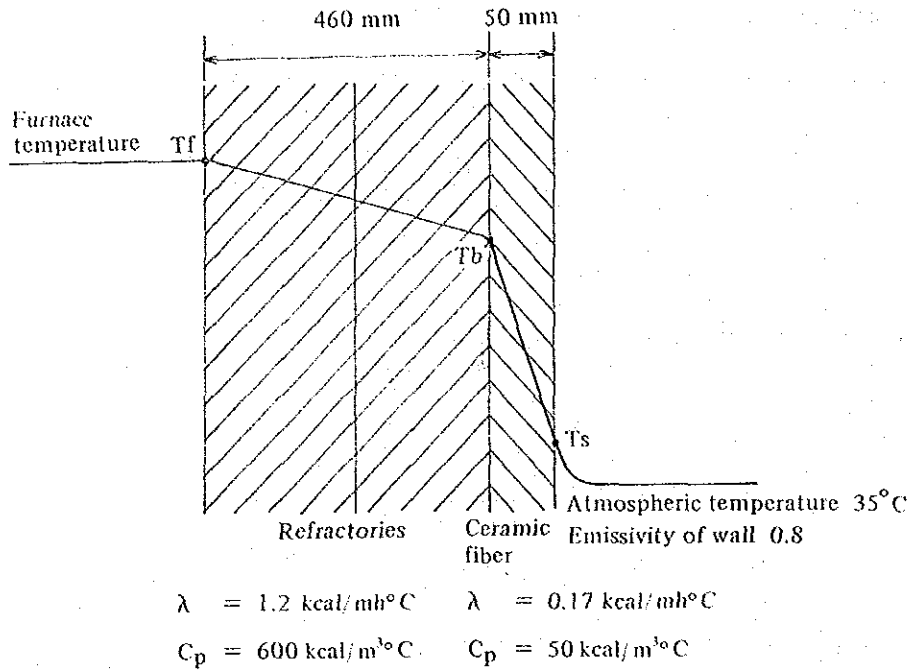
この場合は、ロックウールを使用せずにセラミックファイバを取り付けているのは、境界温度が高くロックウールの安全な使用温度を超えているからである。

耐火レンガの温度が上昇すると強度が弱くなり、炉壁が破損するなど寿命が短くなる。

1983 年 1 月に実施した金属工業 9 社の工場診断の結果から、タイにおける連続鋼片加熱炉標準炉壁外面温度の推奨する目標値は Table III-4-13 のとおりである。

参考として日本での工業炉の標準炉外面温度を Table III-4-14 に示す。

また、主な耐火断熱材の主要特性を Table III-4-15 に、代表的保温材の使用温度範囲を Table III-4-16 に示す。



Furnace temperature	T_f	1300	1200	1000	800	$^\circ\text{C}$
Boundary temperature	T_b	649	601	506	411	$^\circ\text{C}$
Surface temperature	T_s	149	142	128	112	$^\circ\text{C}$
Quantity of radiant heat	Q	1,700	1,562	1,288	1,015	$\text{kcal/m}^2\text{h}$
Quantity of accumulated heat	H	269,893	249,506	208,676	167,761	kcal/m^2

Fig. III-4-49 Inferior reconstruction plan for wall composition of reheating furnace

Table III-4-13 Standard wall temperature of reheating furnace in Thailand

Furnace temperature ($^\circ\text{C}$)	Standard external wall surface temperature of furnace	
	Ceiling	Side wall
1,300	150°C	130°C
1,100	135°C	120°C
900	120°C	105°C
700	100°C	90°C

(Remark)

- The values of external wall surface temperatures of the furnace listed in this Table were determined concerning the average temperature of the furnace's external wall surface (excluding the peculiar parts) at an atmospheric temperature of 35°C during a regular operation.
- The values of external wall surface temperatures of the furnace listed in the Table will not apply to the external wall surface temperatures of the under-mentioned industrial furnaces as a standard:
 - Those having a rated capacity of not more than 200,000 kcal/hr.
 - Those whose walls are forcibly cooled.
 - Rotary kilns.
- When newly building an industrial furnace starting with a furnace floor, it is recommended

that insulation be carried out for improvement of the insulation property of furnace wall under a guideline that the portion equivalent to more than 50% of the total internal surface area of furnace wall excepting the furnace bottom should be composed of insulation material having a bulk specific gravity of less than 1.3. This rule shall apply to the furnace whose internal temperature stands at 500°C min. among intermittently operating furnaces or industrial furnaces operated to the max. operating time limits of not more than 12 hours per day.

Table III-4-14 Standard wall temperature of reheating furnace in Japan

Intrafurnace temperature (Unit °C)	Standard external wall surface temperature of furnace	
	Ceiling	Side wall
1,300	140°C	120°C
1,100	125°C	110°C
900	110°C	95°C
700	90°C	80°C

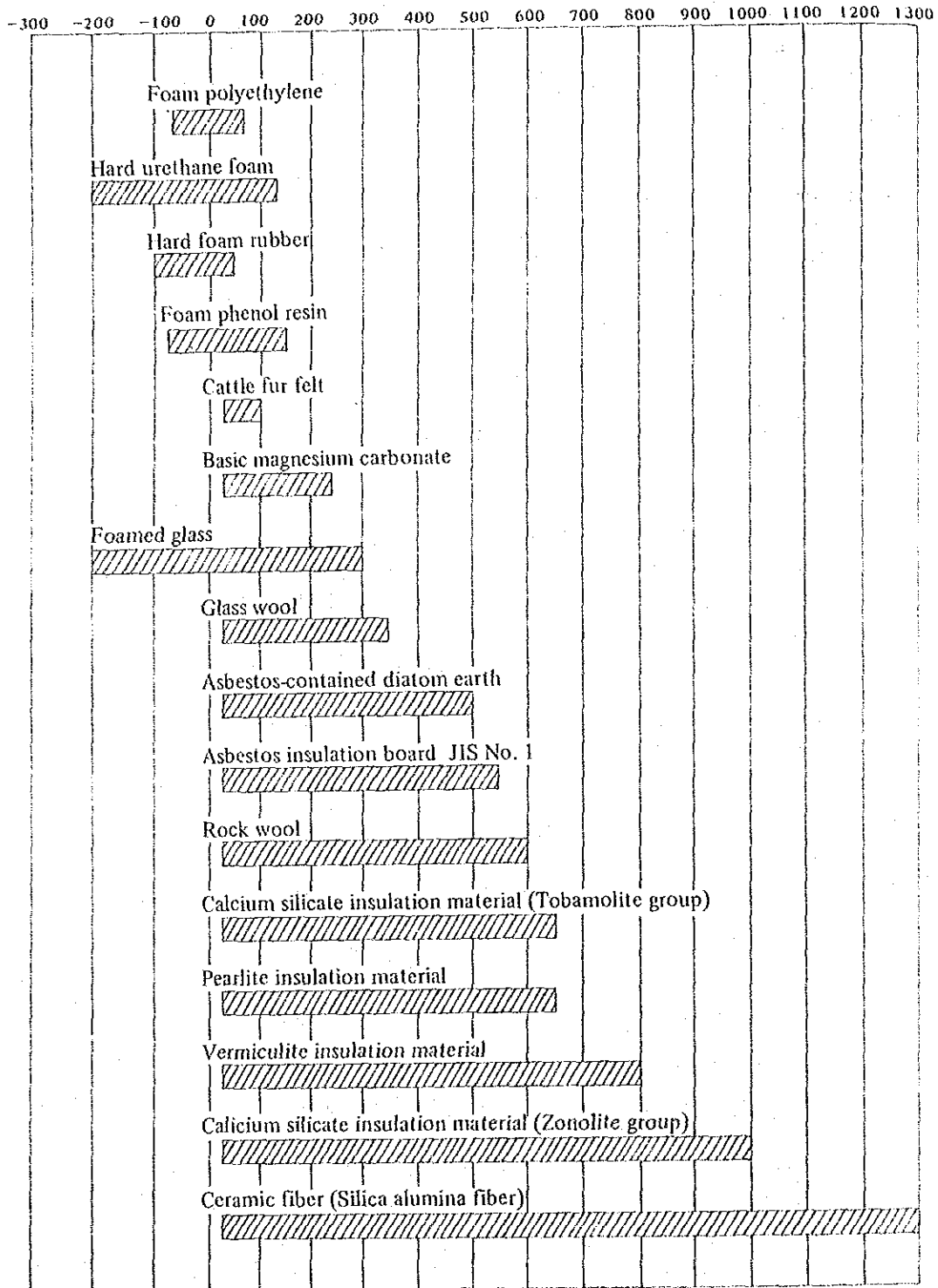
(Remark)

1. The values of external wall surface temperatures of the furnace listed in this Table were determined concerning the average temperature of the furnace's external wall surface (excluding the peculiar parts) at an atmospheric temperature of 20°C during a regular operation.
2. The values of external wall surface temperatures of the furnace listed in the Table will not apply to the external wall surface temperatures of the under-mentioned industrial furnaces as a standard:
 - (1) Those having a rated capacity of not more than 200,000 kcal/hr.
 - (2) Those whose walls are forcibly cooled.
 - (3) Rotary kilns.

Table III-4-15 Main characteristics of insulating fire materials

	Bulk specific gravity t/m ³	Specific heat kcal/m ³ °C	Thermal conductivity kcal/mh °C	Safe working temp. °C
Refractory brick S K32	2.0~2.5	520~650	0.9~1.4	1,300
Plastic refractory S K32	1.9~2.3	380~500	0.6~1.4	1,300
Insulating fire brick B 5	0.7~0.8	160~200	0.2~0.4	1,100
Insulating fire brick B1	0.6~0.7	140~160	0.1~0.2	700
Insulating fire castable (1,300°C)	1.0~1.3	240~300	0.2~0.4	1,100
Ceramic fiber (lower than 1,300°C)	0.06~0.3	20~ 80	0.05~0.3	1,100

Table III-4-16 Working temperature range of typical insulating materials
Temp. (°C)



(2) 開口部からの熱損失の防止

開口部からの熱損失には2種類ある。そのうちの一つは、開口部から直接放射による熱損失であり、もう一つは、開口部から燃焼ガスが漏れるために起こる熱損失である。

A) 開口部からの放射による熱損失

炉体の一部に開口部がある場合、炉内の熱は放射熱として炉外へ逃げていく。

このことによる熱損失量は、炉壁の厚みと開口部の形状によって異なる。開口部の壁厚部分が炉内から放射を受けて温度が上がり、この熱の一部が外部へ2次的に放射する熱損失量と炉内から直接外部へ放射する熱損失量の合計が、開口部からの熱損失量となる。

完全に外部にさらされている平板の放射熱量と、炉の開口部からの放射熱量の比は、J.D.Kellerによれば、Fig III-4-50に示すとおりである。

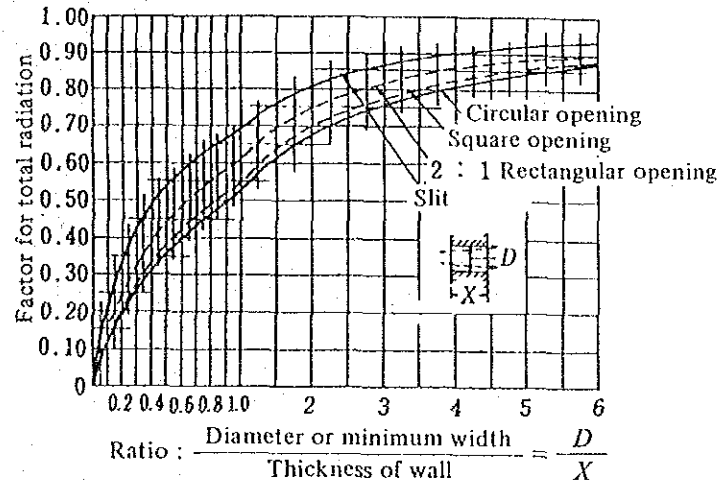


Fig. III-4-50 Factor for determining the equivalent of heat release from openings to the quantity of radiant heat from perfect black body

これを、例題によって説明すると次のようになる。

炉体に高さ(D) 1 m、幅 1 mの扉のない矩形の鋼材抽出口があり、炉壁の厚さ(X)は 0.46 mとする。

開口部の形状は正方形開口であり、 $D/X = 1 / 0.46 = 2.17$ となる。従って、全放射に対する係数は 0.71 を得る。

炉内温度を 1,340 °C とすれば、開口部からの放射熱損失量は、次のとおりである。

$$4.88 \times \left(\frac{1,340 + 273}{100} \right)^4 \times 0.71 \times 1 \times 1 = 234,500 \text{ kcal/h}$$

以上の例題は扉のない、開口部が常に開いている、定常的な場合に適用できるものである。

扉のある開口にはこの条件は適用できない。それは、扉が閉じられている間は開口部の壁は炉の内側に近い部分から、扉に接する部分まで、一様に炉内温度に等しい温度になっているので、扉を開いた瞬間の放射熱量は、完全に外部にさらされている平板からの放射熱量と等しい。扉を開放した後は開口部の壁は急激に冷えて定常状態の温度分布に近づき、Fig III-4-50のような割合まで熱放射量が減少する。

B) 開口部から燃焼ガスが漏れるために起こる熱損失

炉内の燃焼ガスが、開口部から吹き出すことにより生ずる熱損失を見積ることは困難である。加熱炉では、操業中炉内圧力は外気圧より若干高いから、この損失が起こっても多少やむをえない。炉外の空気が侵入して炉を冷却し、また材料を酸化することのほうが害が大きいから、一般に加熱炉は炉内の圧力を高くして操業するのである。扉によって開口部との隙間から吹き出す燃焼ガスは少なく、この熱損失は炉内で発生した総熱量の1%程度である。

(3) 熱勘定

加熱炉の熱損失及び効率を十分に把握する目的でJIS G 0702「連続鋼材加熱炉の熱勘定方式」がある。Table III-4-17に設備概要調査表、Table III-4-18に長期操業実績調査表、Table III-4-19に測定項目及び結果整理表、Table III-4-20に熱勘定表を参考として示す。

4.4 排熱回収

加熱炉での排熱は、炉体からの放散熱と排ガスの持ち去る熱と炉体冷却水の持ち去る熱の3種類に大別される。

このうち、炉体からの放散熱は炉壁の断熱強化を行うことにより、小さくすることができる。

また、炉体冷却水は大形の加熱炉では使用されており、蒸気として回収している例があるが、1帯式又は2帯式加熱炉では使用されていないので本書では取り扱わない。

排ガスからの熱回収の方法としては、(1)熱交換器による燃焼用空気又は燃料ガスの予熱、(2)排熱ボイラによる蒸気発生、(3)排ガスによる材料予熱等がある。1983年1月に実施した金属工業9社の工場診断の結果からは、日本と同レベルの排熱回収率の工場があ

だったので、タイ王国における連続鋼片加熱炉標準排熱回収率の推奨する目標値は Table III-4-21 のとおりとし、日本の排熱回収率と同じとした。

なお参考として日本での工業炉に関する標準排熱回収率を Table III-4-22 に示す。

Table III-4-17 Survey report on the outline of equipment

1	Name of Co. Factory		
2	Address		
3	Name of furnace manufacturer		
4	No. of furnace		
5	Rolling mill	Type	
6		Nominal capacity	t/yr
7		Name of main finished product	
8	Reheating furnace	Type	
9		Nominal capacity	t/h
10		Effective furnace length × furnace width	mm × mm
11		Size and quality of furnace refractories and insulation material	
12		Kind of fuel used	
13		Type, capacity and No. of burning units	
14		Type and capacity of draft equipment	
15		Type and heating surface area of preheater	m ²
16	Quality, size and unit weight of main heated steel	mm, kg	

(Remark) As to Items 10, 11 and 15, attach simple charts representing the vertical and horizontal cross-sections of the furnace (including the size of main parts of the furnace and preheating unit, kind of refractories and main measurement spots).

Table III-4-18 Survey report on actual long-term operations

1	Date of operation					
2	Breakdown of operating time		Heating	Heat boosting	Heat retaining	Shutdown
		h/month				
		%				
3	Heated tonnage	t/month				
4	Tonnage per heating time	t/hour				
5	Average weight of typical heated steel (Max. and Min. range)	kg				
6	Fuel consumption	t/month, kg/month or Nm ³ /month				
7	Low calorific value of fuel	kcal/kg or kcal/Nm ³				
8	Energy consumption rate per ton of heated steel	10 ³ kcal/t				
9	Status of operational shift					

(Remark) The definition of the breakdown of operating time is as follows:

Heating times: Time during which steel is extracted, i.e. the rolling mill runs.

Heat boosting time: Time required for increasing the furnace temperature upto an "extractable" temperature.

Table III-4-20 Heat balance table

Heat input			Heat output		
Item	10 ³ kcal/t	%	Item	10 ³ kcal/t	%
(1) Combustion heat of fuel			(8) Quantity of heat contained by extracted steel		
(2) Sensible heat of fuel			(9) Sensible heat of scale		
(3) Sensible heat of air			(10) Sensible heat of exhaust gas		
(4) Heat brought in by atomizer			(11) Heat loss by incomplete burning		
(5) Quantity of heat contained by charged steel			(12) Quantity of heat brought out by cinder		
(6) Heat of scale formation			(13) Quantity of heat brought out by cooling water		
(7) Heat recovered by preheater	()	()			
			(14) Other heat loss		
			(15) Heat recovered by preheater	()	()
Total (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6)			Total (8)+(9)+(10)+(11)+(12)+(13)+(14)		

- (Remark) 1. For recording the quantity of heat, use 10³ kcal/t as a unit and round out figures after the decimal point into a single digit.
 2. Round out figures after the decimal point into a single digit in the percentage.

Table III-4-19 Table for measurement items and results of measurement

1	Date and time of measurement (Hours)				
2	Person in charge of measurement				
3	Weather	Atmospheric pressure	Atmospheric temp.	Room temp.	Relative humidity
		mmHg	°C	°C	%
4	Fuel	Soaking zone consumption	kg/t or m ³ N/t		
5		Upper heating zone consumption	kg/t or m ³ N/t		
6		Lower heating zone consumption	kg/t or m ³ N/t		
7		Pressure	kgf/cm ² or mmAq		
8		Temperature	°C		
9		Components	%		
10		Low calorific value	kcal/kg or kcal/m ³ N		
11	Atomizer	Kind			
12		Soaking zone consumption	kg/t or m ³ N/t		
13		Upper heating zone consumption	kg/t or m ³ N/t		
14		Lower heating zone consumption	kg/t or m ³ N/t		
15		Pressure	kgf/cm ² or mmAq		
16		Temperature	°C		
17	Secondary air	Soaking zone consumption	kg/t or m ³ N/t		
18		Upper heating zone consumption	kg/t or m ³ N/t		
19		Lower heating zone consumption	kg/t or m ³ N/t		
20		Pressure	mmAq		
21		Pre-preheating temp.	°C		
22	Post-preheating temp.	°C			
23	Cooling water	Consumption	t/t		
24		Inlet temp.	°C		
25		Outlet temp.	°C		
26		Pressure	kgf/cm ²		
27	Combustion gas	Furnace tail temp.	°C		
28		Inlet Temp. of preheater	°C		
29		Outlet temp. of preheater	°C		
30		Components	%		CO ₂ , O ₂ , CO, (CH ₄ , H ₂)
31	Cinder	Combustible amount	%		
32		Cinder amount	kg/kg		
33	Heated steel	Size (Thickness x Width x Length)	mm x mm x mm		
34		Unit weight	kg		
35		Total charged tonnage	t		
36		Charging temp.	°C		
37		Discharging temp.	°C		
38		Burning loss	kg/t		
39		Average in-furnace holding time	h		
40	Furnace pressure		mmAq		
41	Surface temp. of each part of furnace body		°C		

(Remark) As to the measurement method for Item 41, describe in the furnace sketch.

Table III-4-21 Standard waste heat recovery rate of industrial furnaces in Thailand

Exhaust gas temperature (°C)	Classification of capacity	Standard waste heat recovery rate (%)
500	A · B	20
600	A · B	20
700	A	30
	B	25
	C	20
800	A	30
	B	25
	C	20
900	A	35
	B	25
	C	20
1,000	A	40
	B	30
	C	25
over 1,000	A	40
	B	30
	C	25

(Note)

1. "Exhaust Gas Temperature" means the temperature of exhaust gas discharged from the furnace chamber at the outlet of furnace.
2. The classification of the capacity of industrial furnace is as follows:
 - A. Industrial furnace whose rated capacity is more than 20MM kcal/hr.
 - B. Industrial furnace whose rated capacity is from 5MM kcal to not more than 20MM kcal/hr.
 - C. Industrial furnace whose rated capacity is from 1MM kcal to not more than 5MM kcal/hr.

(Remark)

1. The values of standard waste heat recovery rate listed in this Table are determined concerning the ratio of a recovered quantity of heat to a quantity of sensible heat in an exhaust gas discharged from the furnace chamber when a combustion is carried out under a load in the neighborhood of a rating.
2. The values of standard waste heat recovery rate listed in this Table shall not be a standard for the waste heat recovery rate of the under-mentioned industrial furnaces:
 - (1) Those whose rated capacity is not more than 1MM kcal/hr.
 - (2) Those whose annual operating time does not exceed 1,000 hours.

Table III-4-22 Standard waste heat recovery rate of industrial furnace in Japan

Exhaust gas temperature (°C)	Classification of capacity	Standard waste heat recovery rate (%)	Reference	
			Exhaust gas temperature (°C)	Preheated air temperature (°C)
500	A · B	20	200	130
600	A · B	20	290	155
700	A	30	300	260
	B	25	330	220
	C	20	370	180
800	A	30	370	300
	B	25	410	250
	C	20	450	205
900	A	35	400	385
	B	25	490	285
	C	20	530	230
1,000	A	40	420	490
	B	30	520	375
	C	25	570	315
over 1,000	A	40	—	—
	B	30	—	—
	C	25	—	—

(Note)

1. "Exhaust Gas Temperature" means the temperature of exhaust gas discharged from the furnace chamber at the outlet of furnace.
2. The classification of the capacity of industrial furnace is as follows:
 - A. Industrial furnace whose rated capacity is more than 20MM kcal/hr.
 - B. Industrial furnace whose rated capacity is from 5MM kcal to not more than 20MM kcal/hr.
 - C. Industrial furnace whose rated capacity is from 1MM kcal to not more than 5MM kcal/hr.

(Remark)

1. The values of standard waste heat recovery rate listed in this Table are determined concerning the ratio of a recovered quantity of heat to a quantity of sensible heat in an exhaust gas discharged from the furnace chamber when a combustion is carried out under a load in the neighborhood of a rating.
2. The values of standard waste heat recovery rate listed in this Table shall be a standard for the continuous operating furnaces built on and after January 1, 1980.
3. The values of standard waste heat recovery rate listed in this Table shall not be a standard for the waste heat recovery rate of the under-mentioned industrial furnaces:
 - (1) Those whose rated capacity is not more than 1MM kcal/hr.
 - (2) Those whose annual operating time does not exceed 1,000 hours.
4. The values of exhaust gas temperature and preheated air temperature listed as references are values obtained by calculating the temperature of exhaust gas when the waste heat of standard waste heat recovery rate has been recovered and the temperature of preheated air when the air has been preheated by the afore-mentioned recovered waste heat, on the following conditions:
 - (1) Temperature drop due to released heat loss, etc. from the furnace outlet to the heat exchanger for preheating air: 200°C
 - (2) Fuel: liquid fuel
 - (3) Atmospheric temperature: 20°C
 - (4) Air ratio: 1.2

(1) 熱交換器による燃焼用空気の子熱

熱交換器は伝熱面が金属でできている金属熱交換器と耐火物でできているセラミック熱交換器とがあるが、今日では金属熱交換器が主流である。

燃焼用の空気に熱風を使用すると燃料が節約できる。

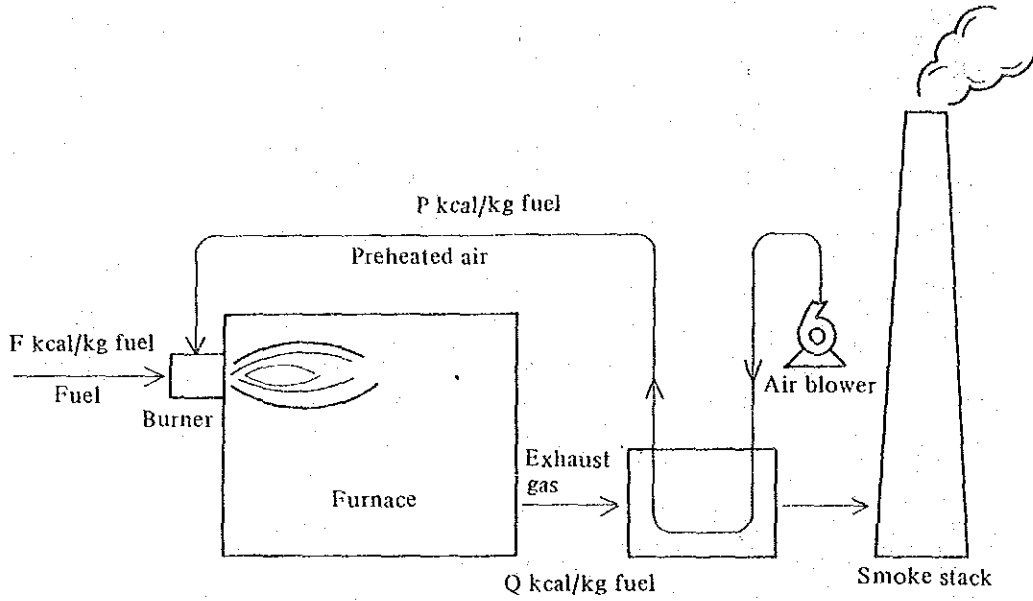


Fig. III-4-51 Preheating of air for burning

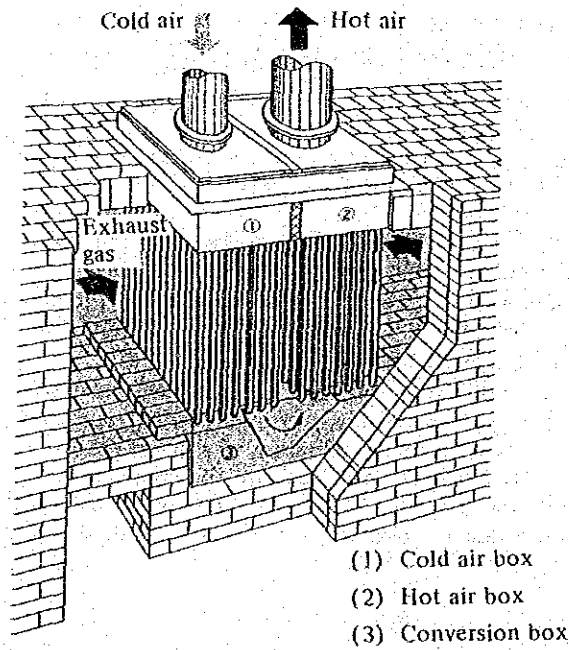


Fig. III-4-52 Example of preheater of air for burning (Recuperator)

このときの燃料節約率は次式で表わされる。

$$S = \frac{P}{F + P - Q} \times 100 (\%)$$

ここで、S : 燃料節約率 (%)

F : 燃料発熱量 (kcal/kg fuel)

P : 予熱空気が持ち込む熱量 (kcal/kg fuel)

Q : 排ガスの持ち去る熱量 (kcal/kg fuel)

この式を用いて重油、天然ガスに対する排ガス温度、予熱空気温度別の節約率を計算した結果を Fig III-4-53, Fig III-4-54 に示す。

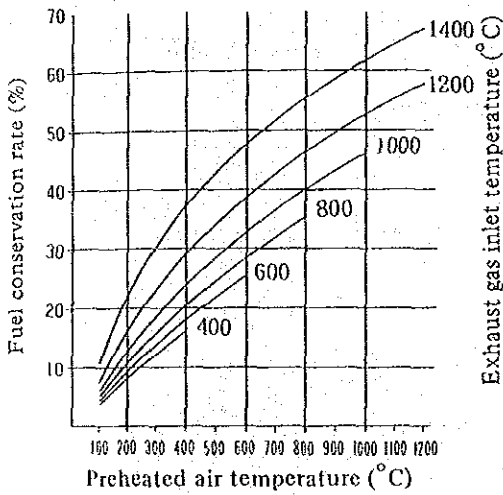


Fig. III-4-53 Fuel conservation rate when heavy oil is used

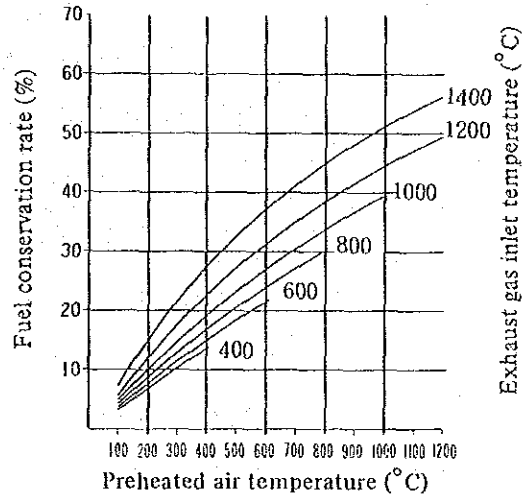


Fig. III-4-54 Fuel conservation rate when natural gas is used

排ガス温度が高いと同じ予熱温度でも燃料節約率が大きい。

Fig III-4-55 はレキュペータを選定する場合の排ガス温度による使用区分を示している。

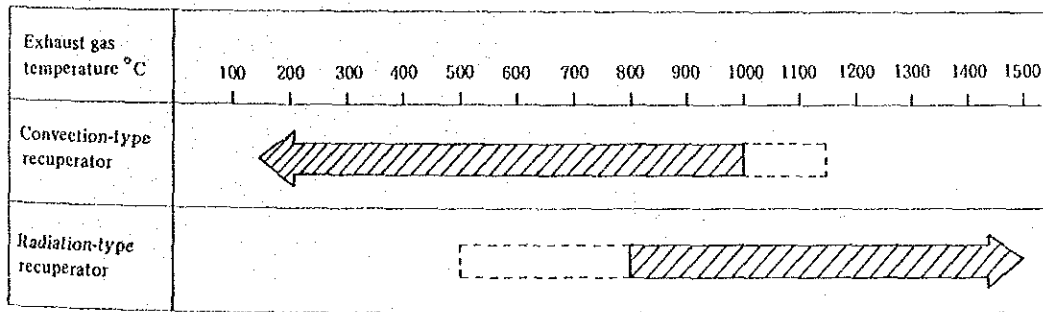


Fig. III-4-55 Selection of recuperator type according to exhaust gas temperature

この目安としては、次のとおりである。

- ・対流型……………排ガス温度 1,000℃以下
- ・放射型……………排ガス温度 800℃以上

対流型レキュペレータは対流伝熱を主体とした熱交換方式であり、対流熱伝達率は排ガス速度に比例し、伝熱管径に反比例する。排ガス温度が高くなると熱膨張等に対する配慮が難しくなるので、1,000℃以下で使用するのに適している。

放射型レキュペレータは放射伝熱を主体とした熱交換方式である。熱伝達は絶対温度により左右され、排ガス速度にはほとんど影響されない。通常放射型レキュペレータの伝熱面は簡単な円筒形であり、800℃以上にて使用するのに適している。

レキュペレータは、排ガスと空気の流れ方によって、並流と向流に区別される。この違いにより対数平均温度差に違いが生じ、レキュペレータの伝熱面積の差となる。

レキュペレータの伝熱面積は次の式で表わされる。

$$F = \frac{Q}{\Delta t_m \times k}$$

ここで、F：伝熱面積（m²）

Q：熱交換量（kcal/h）

Δt_m ：対数平均温度差（℃）

k：熱貫流率（kcal/m²h℃）

この式はFはQに比例し、 Δt_m とkに反比例することを示している。レキュペレータを設置する場合には、Qは仕様上の要求から定数となり、kはレキュペレータの性能に左右されるものであるが、その変動値は極端ではない。 Δt_m は並流か向流かにより決定される。

この対数平均温度差は次式のとおりである。

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}}$$

並流の場合の Δt_{\max} 、 Δt_{\min} はFig III-4-56から次のようになる。

$$\Delta t_{\max} = t_1 - t_1'$$

$$\Delta t_{\min} = t_2 - t_2'$$

また向流の場合の Δt_{\max} 、 Δt_{\min} はFig III-4-57から次のようになる。

a. $(t_1 - t_2') > (t_2 - t_1')$ の場合

$$\Delta t_{\max} = t_1 - t_2'$$

$$\Delta t_{\min} = t_2 - t_1'$$

b. $(t_1 - t_2') < (t_2 - t_1')$ の場合

$$\Delta t_{\max} = t_2 - t_1'$$

$$\Delta t_{\min} = t_1 - t_2'$$

例題を用いて、並流と向流の対数平均温度差を示すと次のとおりとなる。

まず入口、出口の温度を次のとおり仮定する。

$$t_1 = 800 \text{ } ^\circ\text{C} \quad t_2 = 500 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1' = 20 \text{ } ^\circ\text{C} \quad t_2' = 350 \text{ } ^\circ\text{C}$$

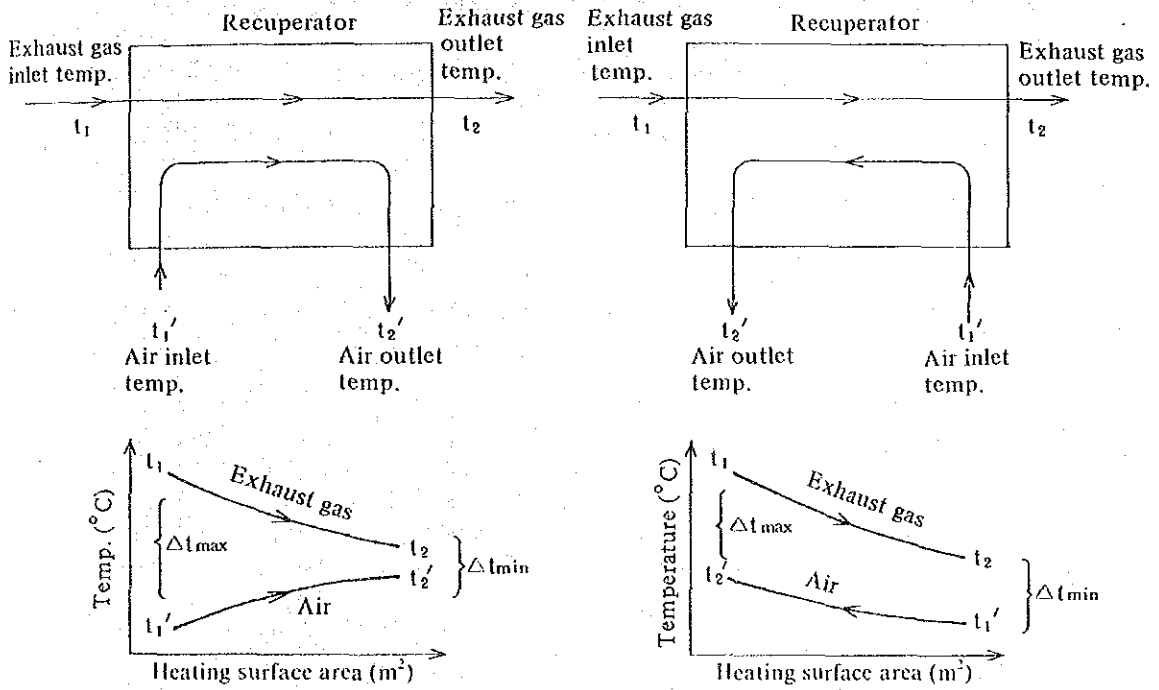


Fig. III-4-56 Temp. difference in case of parallel flow

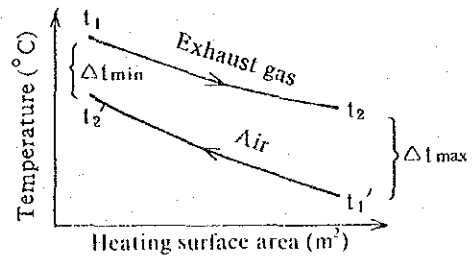


Fig. III-4-57 Temp. difference in case of counter flow

• 並流の場合

$$\Delta t_{\max} = 800 - 20 = 780 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\min} = 500 - 350 = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_m (\text{並}) = \frac{780 - 150}{\ln \frac{780}{150}} = 382 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

• 向流の場合

$$\Delta t_{\max} = 500 - 20 = 480 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\min} = 800 - 350 = 450 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_m (\text{向}) = \frac{480 - 450}{\ln \frac{480}{450}} = 465 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

よって向流の場合の方が並流の場合より 22% Δt_m が大きくなる。k が並流、向流ともに同一の値とすれば、伝熱面積は向流の方が約 18% 小さくなる。

伝熱面温度は、排ガス温度と空気温度の中間温度としても大きな間違いではないことから、前述の例の場合には Table III-4-23 のように算出される。

Table III-4-23 Temperature of heat transfer area

	Parallel flow		Counter flow	
	Exhaust gas temperature	800°C	500°C	800°C
Air temperature	20°C	350°C	350°C	20°C
Temperature of heat transfer area	410°C	425°C	575°C	260°C

この例では、並流の場合には伝熱面温度は 410 ~ 425 °C と平均化しているが、向流の場合には 260 ~ 575 °C と大きな差がある。

レキュペレータの寿命に大きく影響する要素は、耐酸化性、耐腐食性、機械的強度、熱膨張の吸収方法等である。前述の例題において、耐酸化性から材質を選定すれば次のとおりとなる。

• 並流の場合

高温部……………炭素鋼

低温部……………炭素鋼

• 向流の場合

高温部……………ステンレス鋼

低温部………炭素鋼

また、熱膨張の点からは、材質温度が平均化している並流の方が安定している。並流、向流のどちらの型式を選定するかは設置条件、価格等の検討を必要とする。

伝熱面材質の選定は、温度条件、排ガス成分、圧力条件等による。

A) 酸化による減肉

金属は高温で O_2 と反応して、表面に酸化物を生ずることにより減肉する。

一般に酸化の度合は、この表面の酸化皮膜の性質により皮膜が剥離しやすかったり、多孔性で O_2 の侵入が容易である場合には進みやすい。

また Mo や W などの酸化物のように揮発性であったり、融点の低いものなども酸化速度が大きい。

Cr は固着性のよい酸化物を形成し、 Cr 含有量が多いほど、耐酸化性は優れている。 Al 、 Si も耐酸化性を良くするが、機械的性質は劣化させる。

Ni は酸化物に密着性を持たせて、これが保護膜となって内部への酸化の進行を防止する。空气中よりは弱い酸化は CO_2 ガスによっても起こり得るが、これは $2CO_2 \rightarrow 2CO + O_2$ の反応によって生ずる O_2 によるものである。

また、酸化性雰囲気中に水分が存在すると一般に酸化が促進される。これは形成される酸化物保護皮膜が水分の存在によって多孔性を帯びることによる。

加熱冷却の熱サイクル、酸化性・還元性の雰囲気サイクル等が高温において加えられる場合には、一層苛酷な環境となる。

Table III-4-24に材質別の使用温度を、Fig III-4-58に温度と酸化減量の関係を示す。

B) バナジウム・アタック

耐熱材料は耐酸化皮膜によって保護されているが、重油等の燃焼ガス雰囲気では燃料中に含まれているバナジウム(V)のために、酸化が異常に促進される。

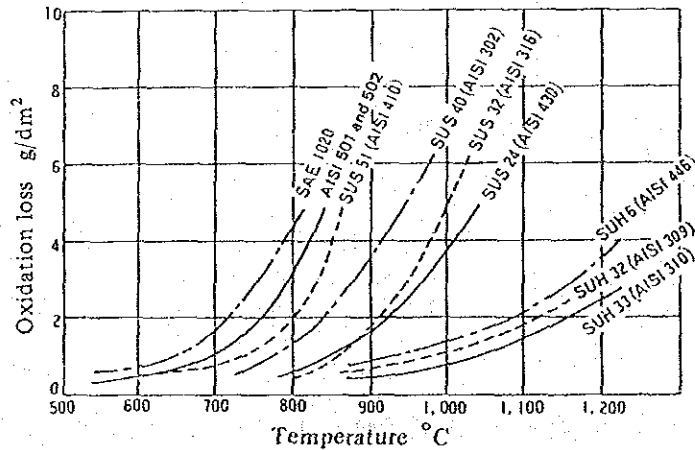
これは V_2O_5 の融点が $670^\circ C$ と低く、 $700 \sim 800^\circ C$ 以上では金属表面の酸化皮膜に付着溶着して、その融点を下げることによる。また、 Na_2SO_4 が共存すると共晶体を作り、その融点はなおも低下して、バナジウム・アタックが生じやすくなる。そのうえ $500 \sim 600^\circ C$ で酸化触媒の作用をする。

Fig III-4-59は V_2O_5 存在下での迅速試験によるスケーリングの挙動を示したものである。

Table III-4-24 Working temperature¹⁾ of heating pipe by material

Material (Customary indication)	Max. working temp. (°C)	Ordinary working temp. (°C)
Carbon steel	565	400
½ Mo steel	565	450
1 Cr-½ Mo steel	565	450
¼ Cr-½ Mo steel	590	550~575
2¼ Cr-1 Mo steel	635	600
5 Cr-½ Mo steel	620~650	600
9 Cr-1 Mo steel	650~700	600~650
13 Cr steel	650	600
25 Cr steel	1,000~1,100	1,000
18 Cr-8 Ni steel	870	800
18 Cr-12 Ni-Mo steel	870	800
18 Cr-12 Ni-Ti steel	870	800
18 Cr-12 Ni-Nb steel	870	800
25 Cr-12 Ni steel	1,000~1,100	1,000
25 Cr-20 Ni steel	1,100	1,000

(Note) The max. working temperature varies slightly according to literature.
 The ordinary working temperature was determined considering oxidation limits, tolerable stress, graphitization, etc. and referring to US Steel's technical data.



Test conditions : 12 intermittent cycles of heating and cooling
 By courtesy of : Welding Research Council Bulletin Series No. 31
 "Stainless Steel for Pressure Vessels"

Fig. III-4-58 Relationship between temperature and oxidation loss

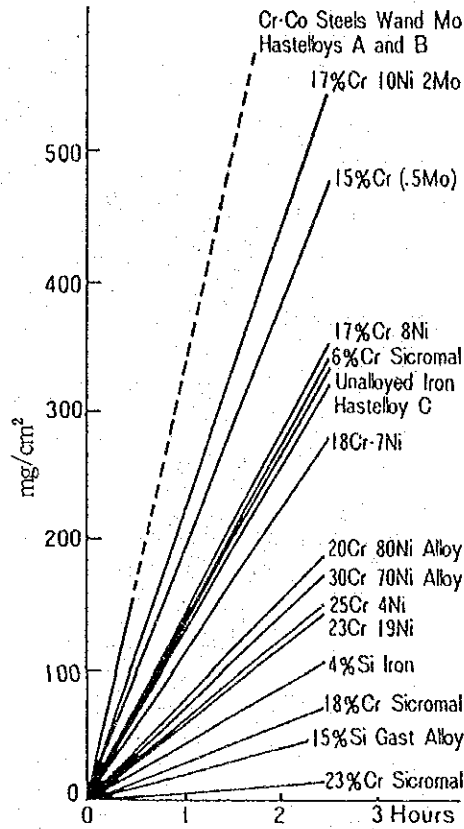


Fig. III-4-59 Scaling behavior of various kinds of steel by V_2O_5 rapid test

0) 硫黄露点腐蝕

排ガス排熱回収に当たって留意しなければならないのは、排ガス中の硫酸ミストによる低温腐食である。

硫黄を含む燃料を燃焼すると SO_2 が生成し、その一部は SO_3 に転化する。従って、燃焼排ガスが熱交換器等の低温壁に接触して露点以下になると、この SO_3 と水とが反応して高濃度の硫酸 (H_2SO_4) を生成し、熱交換器やダクトを腐食するようになる。

Fig III-4-60 に燃料中硫黄含有量と排ガス中 SO_2 % の関係、Fig III-4-61 にこの SO_2 から SO_3 へ転化する割合を、Fig III-4-62 に SO_3 濃度と酸露点の関係を示す。熱交換器の低温流体入口付近では、部分的に温度の低い個所を生ずるので、図の酸露点温度より高目にガス温度を保つ必要がある。

この障害を避けるため熱交換器の材料としてガラス管や、鉛被覆管を使う例も出ている。また、空気予熱器に入る空気を予め外部熱源で予熱し、排ガス温度が余り下り過ぎないように対策をとる場合もある。

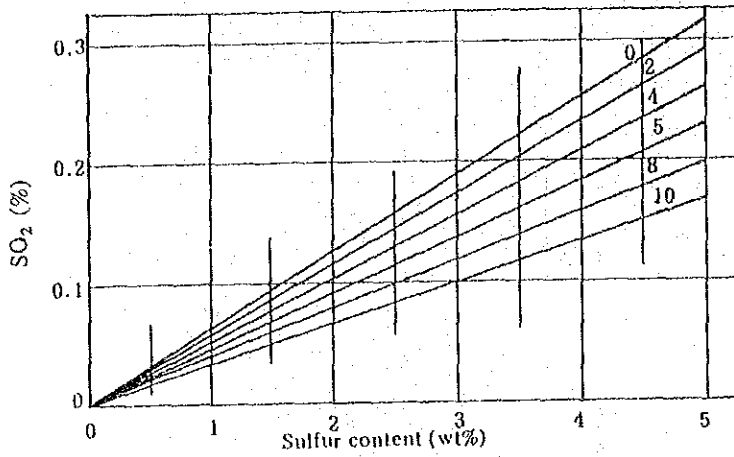


Fig. III-9-60 Relation between sulfur content in fuel and SO₂ content in fuel gas

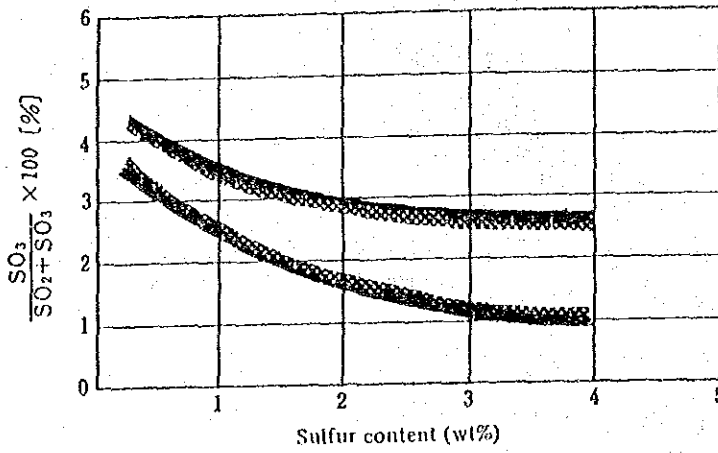


Fig. III-4-61 Relation between sulfur content in fuel and conversion ratio from SO₂ to SO₃

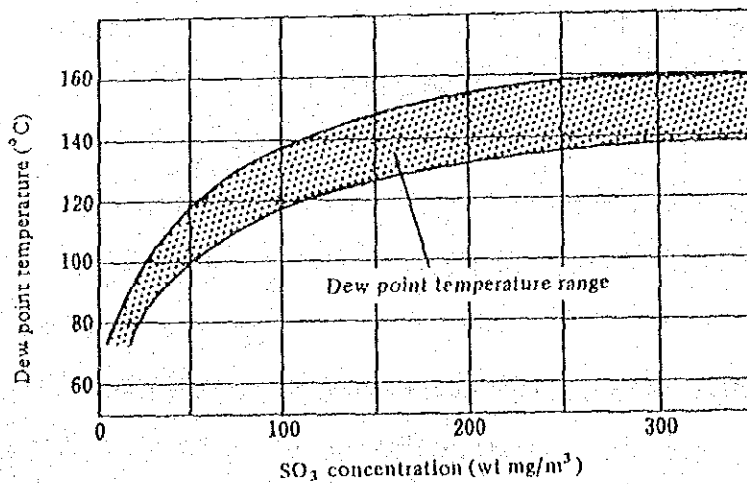


Fig. III-4-62 Relation between SO₃ concentration in exhaust gas and dew point temperature

(2) 排熱ボイラによる蒸気発生

排熱ボイラは、熱源としてボイラ以外の炉の排ガスを使用するもので、煙管ボイラ、水管ボイラ等が用いられる（Fig III-4-63 参照）。

一般に、入口ガス温度が燃焼ボイラの場合より低いので、対流伝熱面を多くとり、ダストを多く含むガスに対しては管の間隔をあけ、過熱器なども垂直管を多く用いる。

比較的低温のガスを熱源として使用するので、伝熱管への熱伝達を良くするため、排ガス流速を大きくしなければならず、排風機を必要とする場合がある。

排熱ボイラは、他の炉からの排ガス量と温度によって蒸発量が左右されるので蒸発量は不安定になりがちである。

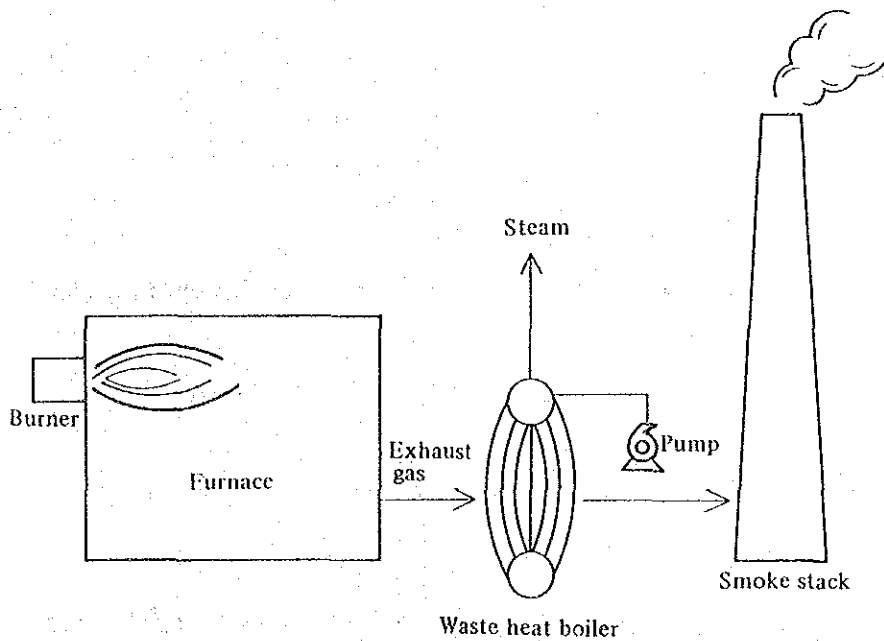


Fig. III-4-63 Recovery of waste heat by waste heat boiler

(3) 排ガスによる材料予熱

加熱炉に材料を装入する前に、排ガスの熱により予熱すれば、その分、炉内での加熱量が減少して燃料が節約できる。

Fig III-4-64 は煙道中に材料予熱室を設けて材料を予熱する方法を示したものであり、Fig III-4-65 は加熱炉の炉長を延長し、予熱帯を設けて材料を予熱する方法を示したものである。この場合には、材料のパイルアップやブッシュの能力等を検討する必要がある。

排熱回収を計画するに当たって留意すべき点は、燃焼改善、伝熱の合理化、放熱防止等の対策をまず行い、排ガス温度と排ガス量を可能な限り減らしてから始めて条件を決めるようにしなければならないことである。そうでないと過大な設備を取り付け

ることになり、排ガス温度が下り過ぎるへい害を生ずる、また、不完全燃焼をして黒煙を発生している状態では、忽と伝熱面が汚れて機能を發揮しないことになる。

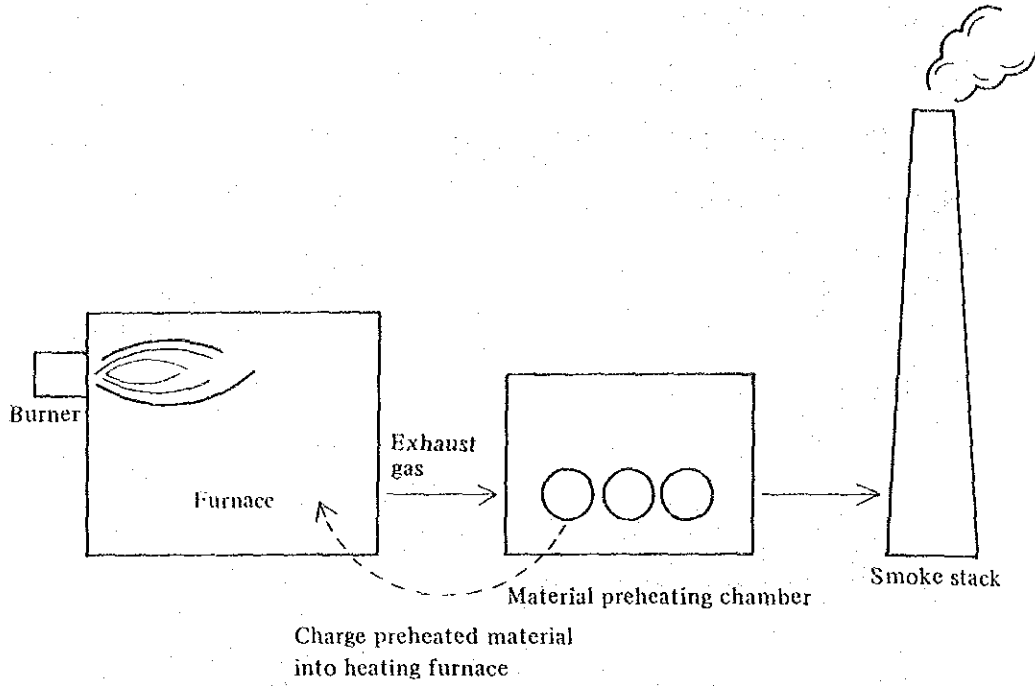


Fig. III-4-64 Recovery of waste heat by material preheating chamber

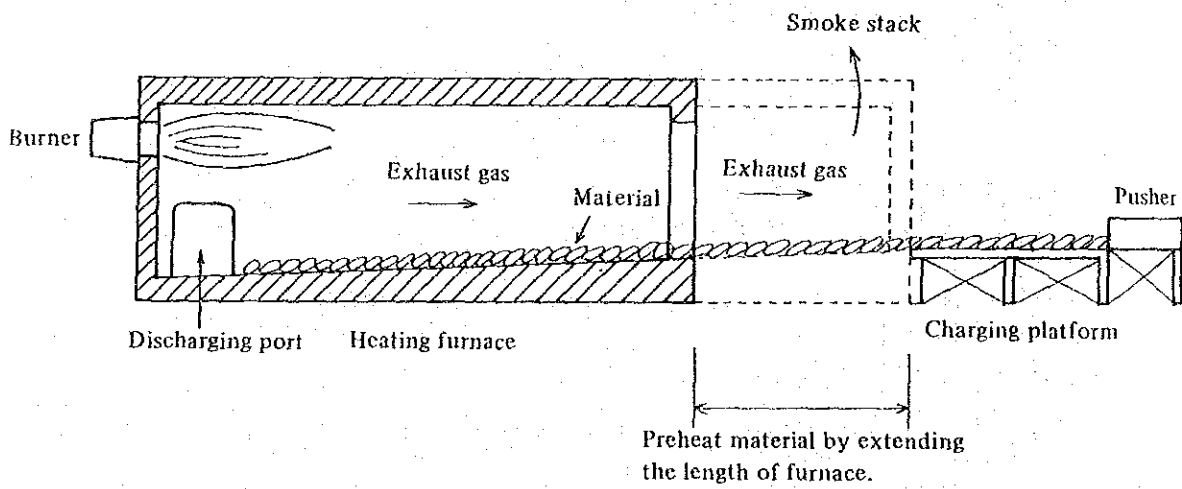


Fig. III-4-65 Preheating of material by extending the length of furnace

4.5 電気の熱等への変換の合理化

(1) アーク炉

アーク炉製鋼での省エネルギーの基本は、炉熱効率、生産性の向上によって生産量に対する無効出熱の減少を図ることである。ついで、その出熱の有効利用を図ることも重要な省エネルギー対策である。

アーク炉での直接的な省エネルギーとしては入熱の減少、損失熱の低減であり、間接的な方法としては製品歩留の向上、トータルシステムとしての排熱の有効利用が考えられる。

Fig III-4-66 に、アーク炉の省エネルギーの考え方を示す。

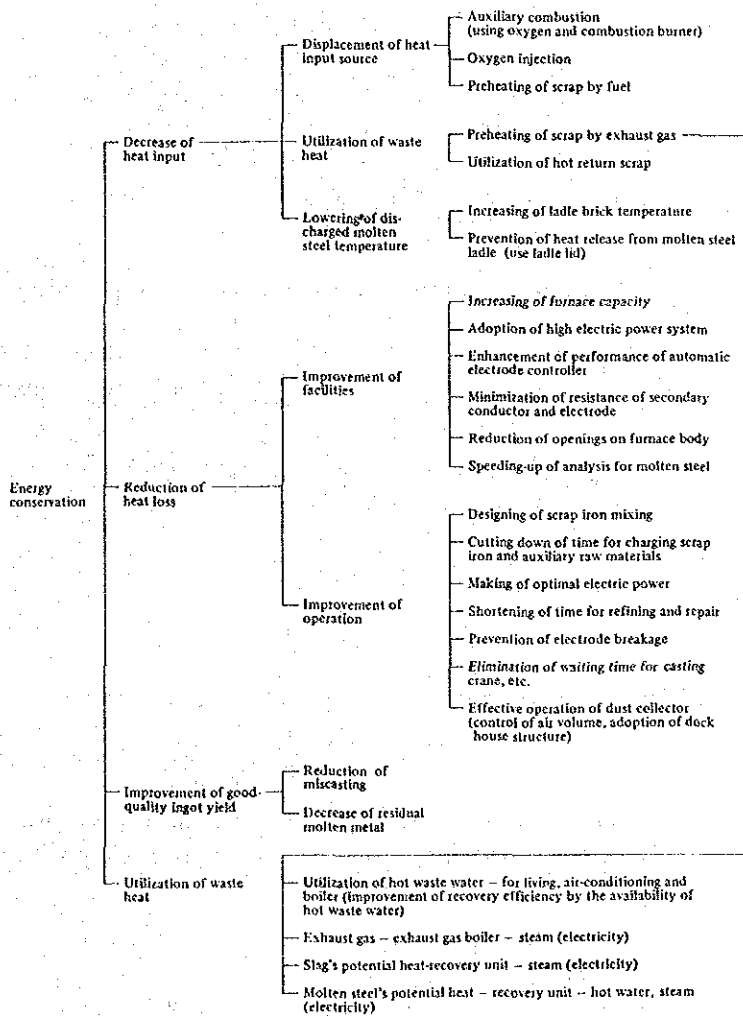


Fig. III-4-66 Idea on energy conservation

A) バーナによる助燃

石油系燃料バーナを炉壁に1～3本取り付け、溶解期に燃焼させ、その燃焼熱を利用して溶解時間の短縮を図るものである。

バーナ取り付け位置は、電極間のコールド・スポット部に向けられる。

Fig III-4-67に助燃バーナ取り付け法の1例を示す。また Fig III-4-68に助熱の効果を示す燃料油原単位と電力原単位の関係を示す。

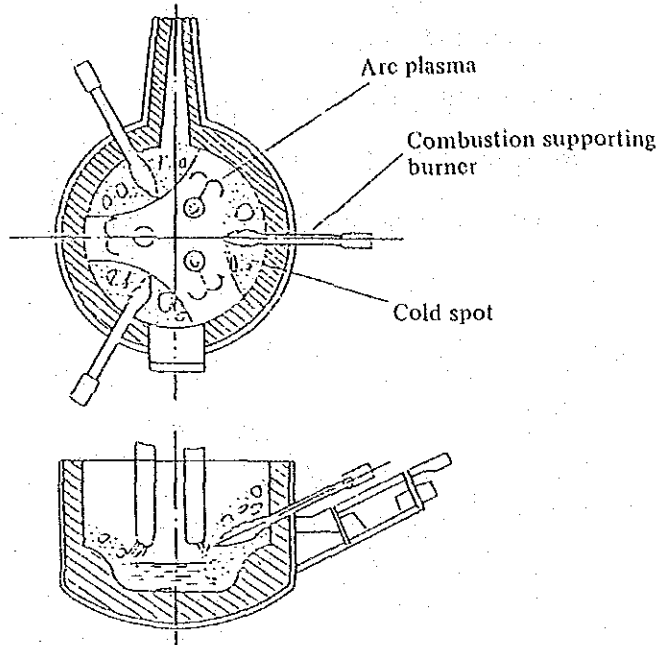


Fig. III-4-67 Example of installation of combustion supporting burner

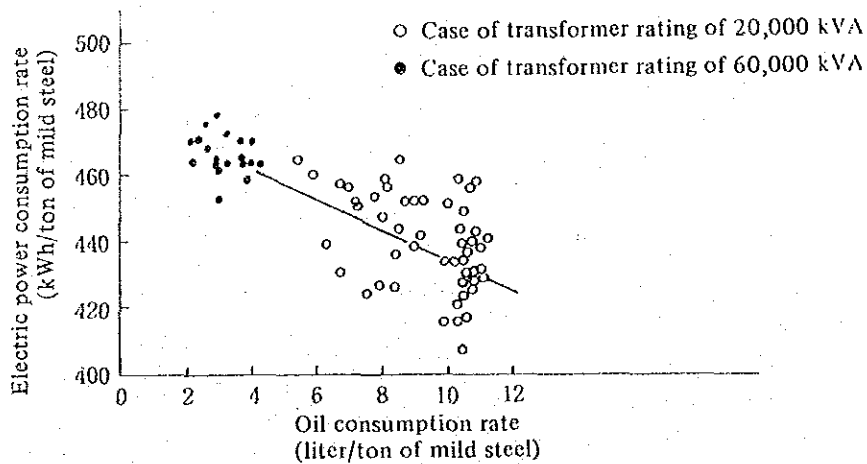


Fig. III-4-68 Oil consumption rate and electric power consumption rate showing the effect of combustion supporting (per ton of mild steel)

B) 酸素富化

溶解期に炉内に酸素を吹き込み、炭素や鉄との酸化熱を利用して溶解時間の短縮を図るものである。Fig III-4-69に酸素富化操業における酸素原単位と電力原単位の関係を示す。

C) ホットリターン層の装入

圧延工程等で発生したまだ熱いスクラップを電気炉に戻して、省エネルギーを図る。

Fig III-4-70 は、ホットリターン屑装入による節電効果を示す。

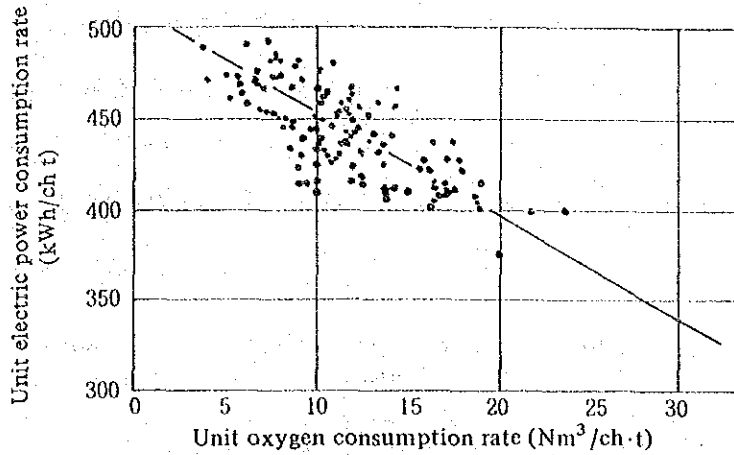


Fig. III-4-69 Relationship between unit oxygen consumption rate and unit electric power consumption rate in oxygen enriching operation

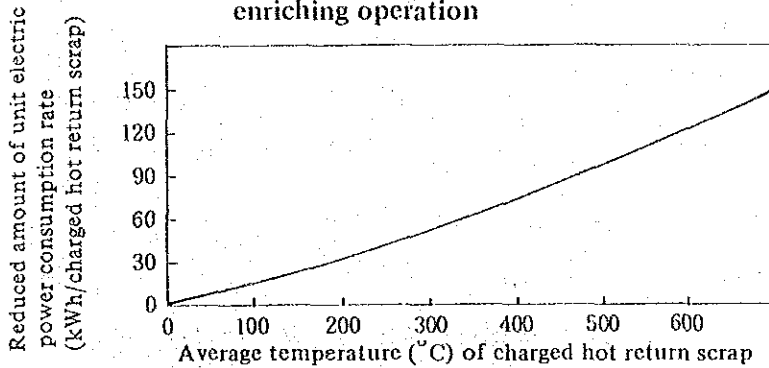


Fig. III-4-70 Effect of electric power saving by charging hot return scrap (Thermal efficiency of Arc furnace = 0.8)

D) スクラップ予熱

アーク炉に装入する前のスクラップを予熱することで、燃料を燃焼して予熱する方法と、アーク炉排ガスを利用する方法とがある。

Fig III-4-71 は、スクラップ装入バケットをアーク炉排ガスで加熱するスクラップ予熱装置の 1 例である。

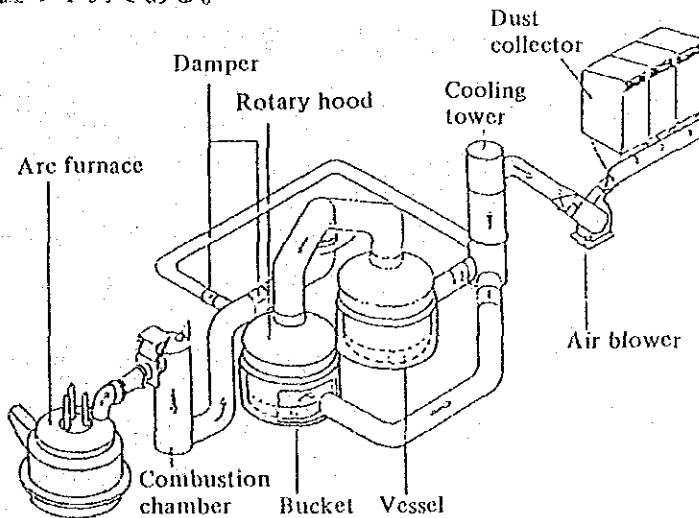


Fig. III-4-71 Scrap preheater using arc furnace exhaust gas for heating scrap in charging bucket

装入用バケットに充填されたスクラップは、集じん装置の排ガス燃焼室と冷却塔の間に設けられたベッセル内に置かれる。集じん機用送風機で引かれたアーク炉の排ガスは、ベッセル内のスクラップを加熱した後、集じん機を通して大気に放出される。

Table III-4-25 に、アーク炉排ガスによるスクラップ予熱の省エネルギー効果の例を示す。

Table III-4-25 Example of energy saving effect in scrap preheating by arc furnace exhaust gas

Applicable furnace	Reduction of unit electric power consumption rate (kWh/t)	Reduction of electrode wear amount (kg/t)	Shortening of steel making time (min.)
30 t	30.6	0.17	10
30 t	36	0.7	8
50 t	40 ~ 50	0.2 ~ 0.4	5 ~ 8
60 t	40 ~ 45	0.2 ~ 0.3	5 ~ 7

E) 炉体開口部の放熱抑制

アーク炉は炉体側壁に出滓口、出鋼口、操業口などの開口部がある。

これらの開口部は使用時以外は閉止されるが、そのシールが必ずしも十分でないため、集じん送風機の吸引によって炉内に冷風が侵入し、排ガス損失の要因になる。開口部のシールをよくすることにより、その削減が省エネルギーに寄与する。

参考例として、操業法の改善によって操業口を閉鎖したところ、20 kWh/t (約4%)の電力原単位の低減があったと報告されている。

F) 炉修時の放熱抑制

アーク炉では出鋼のつど炉内を点検して、炉床部など溶解時に溶損した個所の補修を行うが、この時間は生産性低下や炉体蓄熱の放散につながる。しかし、最近では吐出量の大きい炉材吹き付け補修機の普及で、補修時間は急速に短縮されつつある。

(2) 誘導炉

A) 力率改善用コンデンサ

誘導炉の炉力率は一般に低く、るつぼ形低周波炉の場合で約20%前後、高周波炉で5~10%である。従って誘導炉の場合、大容量の力率改善用コンデンサを使用している。従来、この用途のコンデンサとして鉱油入紙コンデンサが利用されて

いたが、最近では、特殊絶縁油入でオールフィルムのもものが 50, 60, 500, 1,000, 3,000 Hz 用に開発され、誘電体損失が約 1 桁少なくなっている。1 例として、1,000 Hz 用では、従来型の鉱油入紙コンデンサの $\tan \delta = 0.26$ に対してオールフィルムコンデンサは $\tan \delta = 0.025$ at 40℃ である。600 kW - 1 t - 1,000 Hz の高周波炉設備のコンデンサ使用量は約 7,000 kVA であり、紙コンデンサをオールフィルム形に交換すると、約 16.4 kW の損失低減が図れ、入力に対して 2.74 % の省エネルギーとなる。

B) 周波数変換装置

高周波炉の周波数変換装置としては、従来電動発電機式が多く利用されている。しかし最近では、サイリスタ式の高周波インバータが経済的な価格で入手できるようになった。

電動発電機の変換効率は 1,000 Hz, 600 kW で約 85 % であり、サイリスタインバータの場合には同一仕様で約 95 % で、約 10 % の差がある。

更にサイリスタインバータは、周波数を自動的に変えて負荷インピーダンスのマッチングを行うため、電動発電機に比べて負荷率が高く、溶解時間も短縮できる。電動発電機をサイリスタインバータに変換することにより、約 15 % の省エネルギーが図れる。

C) 水冷ケーブル及びブスバー

電力回路は低電圧大電流回路であるため、導体としてのブスバー及び水冷ケーブルを使用している。特に、水冷ケーブルは電流密度が 10 ~ 15 A/mm² であるので、配線損失が大きい。

1 例として、1,200 kW - 5 t - 1,200 V のるつぼ形低周波炉の炉電流は、約 5,000 A で 400 mm² - 6 m の水冷ケーブルを往復で 2 本使用しているが、この本数を倍にすると約 1 % の省エネルギーが図れる。

D) 負荷率

- a) 炉の電圧はできる限り最高タップを利用し、最大電力を投入する。ただし、耐火材に対する影響を考慮しながら行うこと。
- b) るつぼ形低周波炉の場合は、炉内溶湯が定格量の 60 % 以上になれば定格電力が印加できるので、少なくとも 50 % 以上の溶湯を残して追加チャージをし、出湯を繰り返すことがよい。
- c) 溶解材料の寸法は炉に入る範囲で大きなものがよい。

d) スタートイングブロックを用いる場合は、ブロックの高さがコイルの高さまであるのがよい。

E) 温度管理。

a) 出湯温度を必要以上に上げない。一般に湯回り不良を考慮し、出湯温度を高くとりがちである。例えば、鑄鉄溶解の場合、50℃低くできれば電力原単位を15～20 kWh/t 下げることができる。注湯までの段取りをよくして温度低下を防ぎ出湯温度の低下を図る。

また昇温中に測温が遅れると2～3分でもるつぼ形低周波炉で20～30℃、高周波炉で60～90℃の溶湯加熱をまねき、電力原単位で10～40 kWh/tの損失となる。

b) 温度計の管理をよくし定期的に校正を実施する。高温時(1,600℃)の測定では、20～30℃の誤差がある温度計をよく見かけるが、不必要な加熱を防ぐために良く校正をすること。

F) 炉の冷却防止

a) 炉蓋の開閉を少なくする。炉の熱放射損失は発熱面積に比例し、溶湯の絶対温度の4乗に比例するため、溶解中は極力まめに炉蓋をすること。例えば、8tのるつぼ形低周波炉で鑄鉄溶解時は、1,500℃の溶湯からの熱放射損失が約150 kWであり、スラグの取り出しや、成分調整時に10分間炉蓋を開けておくと電力原単位で約10 kWh/tの損失となる。炉蓋が保温電力に及ぼす影響例をFig III-4-72に示す。

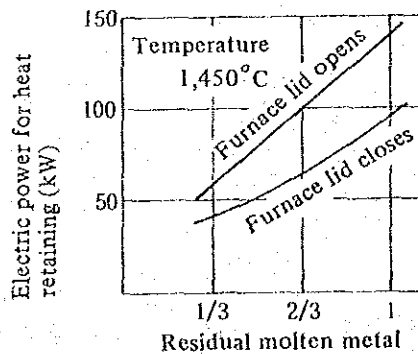


Fig. III-4-72 Effect of furnace lid on electric power for heat retaining (used the 2-ton crucible-type low-frequency furnace at 600 kW for measurement)

b) 冷却水の給水温度が低いと炉壁を冷やして熱伝導損を増やすが、他方、炉コイル銅管や水冷ケーブルの温度低下によるコイル損失や水冷ケーブル損失が減少する。

この傾向は高電力化された炉ほど大きくなるため、結露による障害がない限り、多量の冷却水によりコイルや水冷ケーブルの温度を下げるのがよい。

例えば、1,200 kW - 500 Hz - 2 t の酸性炉で約 0.8 ~ 0.9 % / 10℃ の効率上昇がある。また、冷却水出口温度が低いほど水アカが付着しにくい傾向にある。

G) 連続運転の実施

炉の運転は連続操業することが望ましい。

炉は多量の耐火材を使用しているので、バッチ操業のように炉温が常温から操業を始めるときには、耐火材の蓄熱容量が大きく、例えば、炉壁温度が 1,500℃ になるのに、8 t のるつぼ形低周波炉ではシリカ系耐火材を約 2.7 t 使用し約 650 kWh、そして 2 t の高周波炉ではシリカ系耐火材を約 0.7 t 使用し約 170 kWh の電力が必要となる。

H) 装入材料に含まれる不純物の除去

溶解材料中には鋳物砂や酸化物などの不純物が含まれていることが多い。特に戻り屑に鋳物砂の焼付いたものを、そのまま炉に投入すると、鋳物砂や酸化物も溶融することになり消費電力の増大をまねく。

更に、除滓作業による熱損失の増大ばかりでなく、炉材の寿命の低下、あるいは炉壁付着による印加電力の低下により生産能力が低減する。

例えば、鋳鉄の溶解材料中に 1 % の砂や酸化物が混入している場合に、電力原単位で約 10 kWh/t の増加となる。

I) 鋳造工程

バリの少ない鋳型を使用することにより、注湯量が減り、溶解量も減る。また鋳型を作る際に、熱硬化形でない有機薬品を使用した硬化方法によれば燃料節約ができる。

Ⅲ エネルギー使用合理化ガイドライン

5. 化学・プラスチック

目次

1. ガイドラインの性格	Ⅲ-5- 1
2. エネルギー使用の特徴	Ⅲ-5- 3
3. エネルギー管理の進め方	Ⅲ-5- 5
3.1 経営方針の明確化	Ⅲ-5- 5
3.2 推進のための組織整備	Ⅲ-5- 6
3.3 科学的・組織的な活動	Ⅲ-5- 6
3.4 教育、情報の提供	Ⅲ-5- 8
4. 熱エネルギー使用の合理化	Ⅲ-5- 9
4.1 基本事項	Ⅲ-5- 9
4.1.1 燃焼装置	Ⅲ-5- 9
4.1.2 伝熱装置	Ⅲ-5-20
4.2 化学プラントで使用される単位装置	Ⅲ-5-31
4.2.1 反応装置	Ⅲ-5-31
4.2.2 蒸留装置	Ⅲ-5-34
4.2.3 蒸発装置	Ⅲ-5-37
4.2.4 乾燥装置	Ⅲ-5-41
4.2.5 冷凍装置	Ⅲ-5-50
4.2.6 直火式間接加熱装置	Ⅲ-5-62

1. ガイドラインの性格

このガイドラインは、化学・プラスチック工業の工場における省エネルギーを推進するため、特に重要と思われる技術的事項について、下記の点に留意してまとめたものである。

- (1) ①工場の技術者が自工場のエネルギーの使用の合理化を図る場合の技術的な参考として、②診断指導用マニュアルとして、③合理化の進捗度の判断資料として、④セミナーのテキストとして用いることができるものであること。
- (2) 記述事項の水準は、大学卒業後4～5年程度の技術者で、当該業種に従事していない者でも十分理解できること。
- (3) 記述事項の範囲は、タイ王国の工業の現状に即したものとするため、我々が診断した工場でのプロセスに関する事項に限定し、基本的な事項や数値、省エネルギーのための手法等及び参考となる事例や実績を記載すること。

今回のこの報告を骨格として、今後NEA独自の工場診断、その他の方法等によって得られた情報を組み込み、このガイドラインが増補、拡充されることを期待したい。

なお参考として、日本政府（通商産業省）が告示により事業者が省エネルギーを進めるに当たっての判断の基準として公表している基準値を記載している個所がある。

- (1) この基準値は、多数の事例の統計的な分布を調べ、その最頻値（Fig III-5-1参照）を取ったものであり、事業者に困難を強いることなく技術的、経済的に十分実施できる現実的な水準となっている。

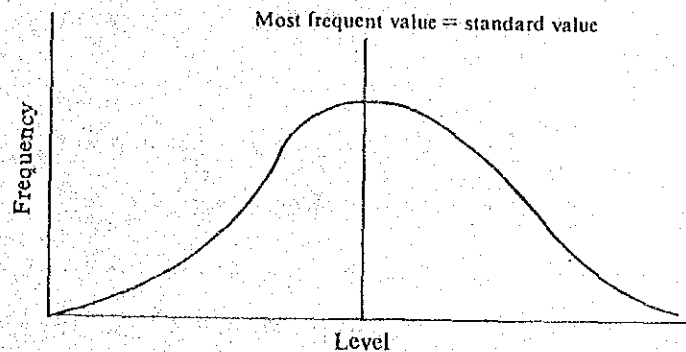


Fig. III-5-1

(2) この基準値は、達成すれば終わりというのではなく、また絶対達成しなくてはならない最低値を示すものでもない。むしろ、平均的な水準に向って、それより劣るものの改善を進め全体の分布をより良い方向に移すための数値である。従って、ある期間を経た後、最頻値を求め直し、新たな基準値を設定することになる。

今回の報告書では、この値を参考とし、タイ王国の工業の現状を勘案して基準値の設定案を記載してある。

この基準値は、タイ王国における合理化の判断の基準値設定の出発点となるものであり、今後はタイ王国自ら実施する工場診断のデータを積み上げ、かつ定期的に見直しを行い改訂あるいは新たな設定を進めるようにされたい。

2. エネルギー使用の特徴

- (1) 化学工業は、生産の主要な過程で原料の加工に質的变化、すなわち化学反応が利用される工業である。更に、原料の前処理や生成物の分離、精製などを目的とする物理的・化学的処理工程が加わって、一つの生産設備が完成する工業で、装置産業と言われるものの一つでもある。

化学プラント内のそれぞれの装置の操作は、一般に常温付近で行われるものは少ないので、原料や中間物などの加熱・冷却を伴う工程が極めて多く、従って、エネルギーの消費も少なくない。それぞれの操作の効率が最良となる最適温度・圧力・濃度などを選定し、かつ加熱冷却に際しての顕熱・潜熱や排熱をできる限り回収して有効に利用することが、エネルギーの使用の合理化につながるのである。

エチレン製造プラントを例にとると、素原料であるナフサを 800 ~ 850 °C の温度で分解して製造されるもので、エチレン 1 t 当たり 6.5×10^6 kcal という多量の熱エネルギーが必要である。そこで、省エネルギーに努めているエチレンプラントの例をとると、分解炉の燃料には自製する分解ガスと分解重油を使用し、分解炉から出る高温ガスは、急冷工程で複数の排熱ボイラに熱を与えて、温度・圧力がそれぞれ異なる蒸気が回収されるようになっている。この回収蒸気はそれぞれの温度・圧力に応じて動力用、反应用、加熱用に区分して利用される。この結果、分解炉への入熱は分解反応に 17 % 使われた後に 68 % 回収され、冷却損失と煙突からの排出損失は 15 % にすぎない。

- (2) 化学工業は製品により、また、使用される素原料によって生産プロセス及びエネルギーの使用はそれぞれ特有であるため、化学工業における省エネルギーを画一的に論ずることは難しい。

しかしながら、プロセスの中において、いわゆる単位操作を行う単位装置には、プロセスの相違にかかわらず類似のものが使用されている場合が多く、エネルギー使用の面においても共通する点が多い、よって、本基準案では、化学工業において使用されているいくつかの代表的な単位装置を選び出して論ずることとする。

参考までに化学設備のプロセスフローの 1 例を Fig III-5-2 に示す。

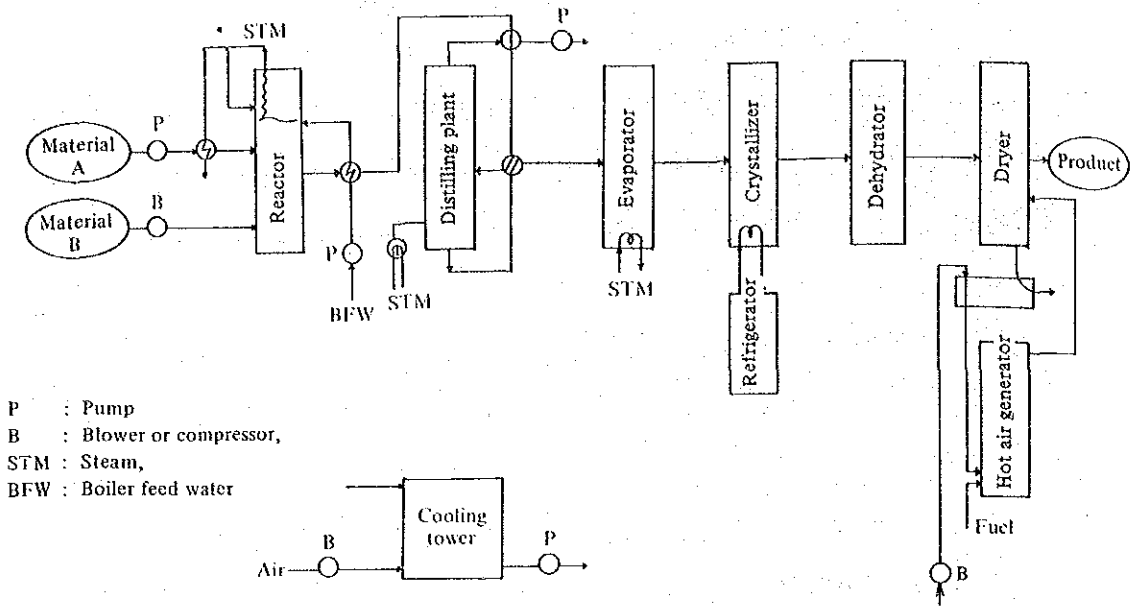


Fig. III-5-2 Flow sheet of chemical equipment (Example)

3. エネルギー管理の進め方

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、これらの効率化、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、より良い方向を追求して行く姿勢が求められる。

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言っても過言ではなく、それを引き出すような工場管理のレベルアップ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。

3.1 経営方針の明確化

エネルギー価格の値上りに伴って、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志を明確に示さなければならない。具体的には、いつまでに、製品1当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得る事項について、余り長期間を要しない、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たっては、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。

3.2 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、この部署はトップのスタッフとして、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果たすところである。

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、予算配分、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、各部門の間での意志の疎通を図り、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、作業者が十分その意味を理解し、現実の作業に活用するものでなければ成果は期待できない。このような場合、品質管理に効果のあるQCサークル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、職務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らう。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あらわれる現象を最も敏感に把握できるのは第1線の作業者である。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、省エネルギーに対して極めて有効である。

3.3 科学的・組織的な活動

省エネルギーを進める上で、エネルギー消費の実態を正確に把握することは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こそ、改善のヒントを考える種が無数に潜んでいるとい

って過言でない、問題意識を持ってデータを調べれば、この種を見付けることができるものである。従って、必要個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。

次に、改善計画を実施した場合は必ず結果をフォローしなければならない。デミング博士の推唱する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、Fig III-5-3のように、あるテーマについて目的を決め、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。

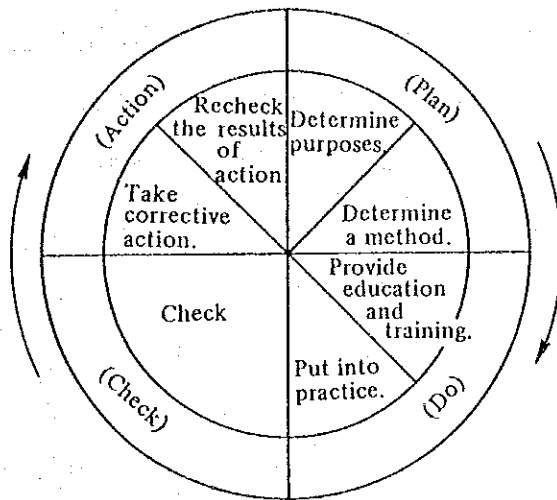


Fig. III-5-3 Deming circle

Planに関する部分では、最初は目につきやすいような点も多いので、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、スタッフのいずれから出してもよいようにし、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褒美を与え、更に、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、改善の意図を末端までよく説明し、その方向に向って努力するよう

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。

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するとともに、必要な設備対策を施して、運転者に余分な負担がかからないように処置することが、永続きさせるための条件である。

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とする。

3.4 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、手引書配布などの方法がとられる。タイ王国の場合、教育に熱心な企業も多く、スタッフを外部研修に出している例も多い。しかし、残念なことに、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作業者にまで普及していない。外部研修を受けた者が、社内教育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ことができる。

次に、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が望まれる。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。