

技 術 資 料

焼 結 機 の 大 型 化 に つ い て *

上 嶋 熊 雄 **

An Investigation of the Sintering Machine to be Enlarged and Modernized

Kumao UESHIMA

1. 緒 言

高炉の大型化とともに、装入物の事前処理の強化が必要である。わが国の高炉操業者は、装入鉱石の内焼結鉱とペレット合計をできるだけ高くするように努めている。したがって、最近焼結機の容量も高炉とともに大型化してきている。

鉄鉱石用の焼結機の型式は、AIB（バッチ型）よりGW（バッチ型）に、ついでDL型（連続型）と移行し、現在は新設のものはほとんどがDL型であり、戦後新設された有効面積 50m² のものが逐次増大し、今日では280m² におよんでいる。

そこで大型焼結設備の問題点とそれに付随する問題点について述べる。

2. 焼結設備の発展

鉄の生産は 19 世紀初めより近代高炉への道を歩みはじめたが、これに伴い大量の鉄鉱石を消費し、そのため山元または製鉄所で発生する粉鉱石の有効利用を計る必要性が生じてきた。

粉鉱石を培焼する方式は、19世紀の初めより非鉄金属業で始まり、後に鉄鉱業に取り入れられたものである。近代的焼結設備としては、20世紀初期に A.I.B 式がスエーデンで、G.W 式がアメリカで、また D.L 式がアメリカで製作され操業を始めたが、今日では A.I.B 式および G.W 式はほとんど姿を消し、D.L 式が発展してい

る。これは D.L 式が連続焼成法であるのに比べて、A.I.B および G.W 式はバッチ式であり、作業時間、設備、人員などに大きな制約があり、より大型化した場合建設コスト、運転コストが割高となつたためであろう。

一方操業面では、当初の焼結は粉鉱の塊成化のみを目的としていたが、自溶性焼結鉱が開発され、高炉における大幅な出鉄増、コークス比の低下が確認されるにょんで、1955年頃より焼結鉱の大量使用が始まった。自溶性焼結鉱の有利性の傾向を示す一例を図 1 に示す。

このように自溶性焼結鉱の開発は、高炉使用原料における焼結鉱の主体性を確立し、大型焼結機の建設、焼結鉱使用量の増大をもたらしたが、さらに近年における大型高炉の建設は、急激な焼結鉱の需要を呼び、焼結機は世界的にますます大型化する傾向にあり、フランスの de-Wendel では 280m² の焼結機が近く生産に入る予定である。表 1、図 2 に世界における焼結鉱の使用割合²⁾ および生産量²⁾ を示す。

わが国においては、1960 年八幡製鉄において 130m² の最初的大型焼結機が建設され、その後高炉の大型化とともに 1964 年および 1967 年には 180m² 級が建設され、1968 年には 280m² の建設が予定されている。図 3 にわが国における焼結機設備能力および焼結生産量を示す。

このように急ピッチで生産能力増大が計られているが問題として、現在わが国で各メーカーが製作している焼結機はほとんど外国メーカーの技術を導入している。す

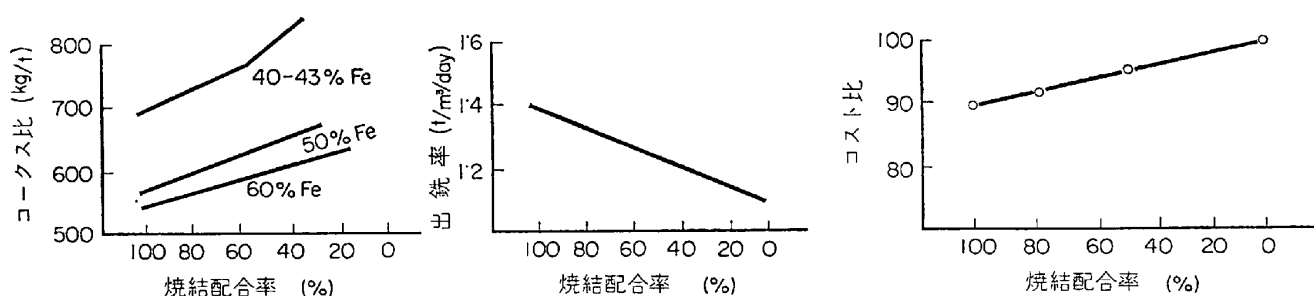


図 1 自溶性焼結鉱使用の有利性

* 昭和43年2月24日受付（依頼技術資料） ** 八幡製鉄(株)建設本部 工博

表 1 世界における焼結鉄使用割合

	1957	58	59	60	61	62	63	64	65
ソ連	1.2	1.28	1.3	1.38	1.38	1.51	1.54	1.66	1.67
アメリカ	0.56	0.67	0.71	0.65	0.65	0.7	0.69	0.63	0.60
ドイツ	0.64	0.74	0.76	0.78	0.82	1.06	1.09	1.06	1.11
イギリス	0.65	0.73	0.92	0.94	0.90	1.14	1.20	1.22	1.22
フランス	0.17	0.23	0.31	0.45	0.53	0.72	1.00	1.09	1.16
ベルギー									
ニュージーランド	0.31	0.35	0.41	0.46	0.58	0.84	0.77	0.84	0.89
ルクセンブルグ									
日本	0.66	0.78	0.72	0.70	0.87	0.96	1.00	0.97	0.98

焼結鉄原単位: t/pig-t

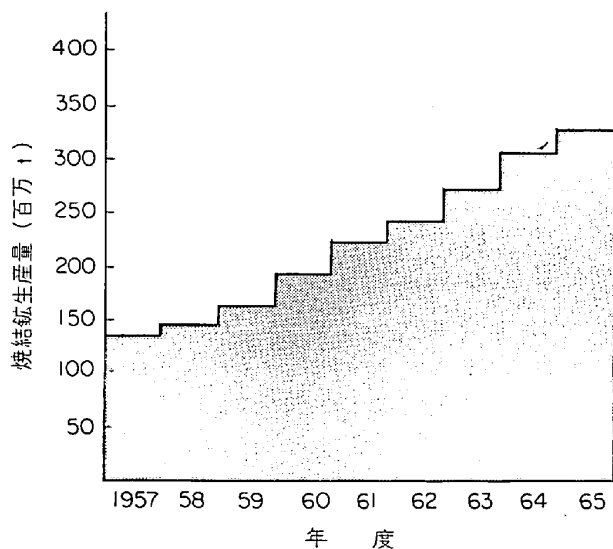


図 2 世界における焼結鉄生産量

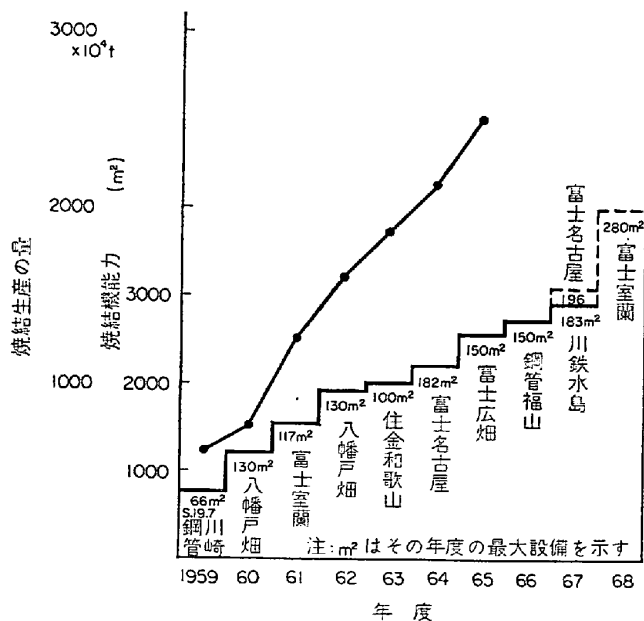


図 3 焼結機能力および生産量

なわち Lurgie(独), McKee(米), Koppers(米), Mc Dowell(米)などの技術を導入したものであり、一部小型焼結機を除いて純国産品はなく、この面での技術の進歩が

強く要望される。

3. 焼結機生産能力に関する考察

3.1 焼結の生産を支配する要因

高炉装入物としての焼結鉄の認識が高まるにつれ、焼結生産能力の向上に対する考慮が、従来にも増して払われるようになってきている。最近顕著となつていいる大型焼結機建設の傾向も、最も効果的な生産量増加の手段としてとられているものであるが、これと併行して、焼結機の大きさとは別に焼結の生産能力を左右する要因に関する検討も、いつそう進展させることが要求されている。

焼結の生産能力について考える場合、設備的な要素としては焼結機の有効吸引面積、排風機の排ガス吸引能力が主たるものであり、操業的な要素としては使用する原料の性状、原料の装入層厚、燃料量、点火程度などの操業条件、焼結鉄の要求される品質レベルなどが考えられ、さらに保安全管理面での要素としては焼結設備の定期休止、事故休止で制約される稼動状況がある。このように数多くの要因によつて構成されている焼結の生産能力を、明確に定義づけることは通常非常に困難を伴うことであるが、一般に焼結の生産性を示すものとして、(1)式が考えられている。

$$P_r = 1440w \cdot h \cdot d \cdot s \cdot \eta \cdot \gamma \quad (1)$$

P_r : 焼結生産性 (t/day)

w : パレット幅 (m)

h : 原料装入層厚 (m)

d : 装入原料密度 (t/m³)

s : パレット速度 (m/min)

η : 焼結歩留=(焼結鉄)/(配合原料)

γ : 歴時間に対する設備稼動率(小数表示)

(1)式でパレット速度 s は、焼結機有効長さ(吸引部の長さ) l (m), 装入層厚 h (m), および焼結ベッドでの燃焼帯の平均下降速度 v (m/min)により、(2)式のごとく表わされる。

$$s = l \cdot v / h \quad (2)$$

(1)と(2)式により

$$P_r = 1440w \cdot l \cdot v \cdot d \cdot \eta \cdot \gamma = 1440A \cdot v \cdot d \cdot \eta \cdot \gamma \quad (3)$$

A : 有効吸引面積 (m²)

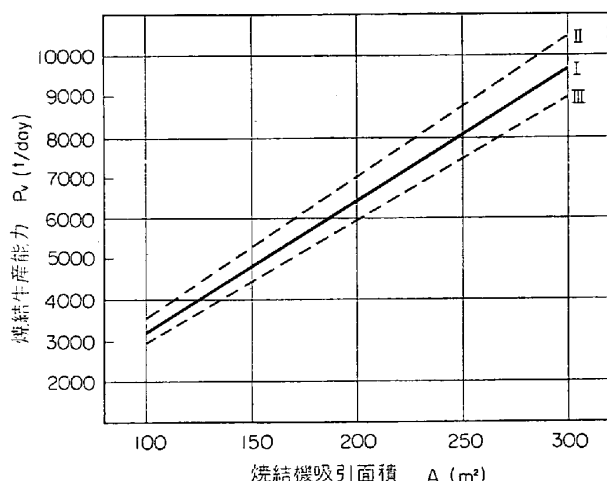


図 4 焼結機吸引面積と焼結鉍生産能力の関係

(3)式は、焼結の能力を決定する要因が、最終的には焼結機の大きさ A 、燃焼帯の平均下降速度 v 、装入密度 d 、歩留 η 、稼働率 r に従うことを表わすものである。(3)より焼結機の大きさと操業上の要因が、焼結生産能力にどの程度の影響をおよぼすのか、一応の目安として図4にその試算例を示す。

図中Iは平均的な操業要因の値として、 $v=2.3 \times 10^{-2}(\text{m/min})$ 、 $\eta=0.6$ 、 $d=1.8(\text{t/m}^3)$ 、 $r=0.9$ を用い焼結機の大きさと焼結生産量 $P_v(\text{t/day})$ を示したものであり、IIおよびIIIはそれぞれIに対して $v \rightarrow \pm 0.1 \times 10^{-2}$ 、 $\eta \rightarrow \pm 0.01$ 、 $d \rightarrow \pm 0.01$ 、 $r \rightarrow \pm 0.01$ の増減を与えた場合の関係を示したものである。図から明らかなように、同一の生産能力でも、原料の選定あるいは操業法によって決まる操業要因値のわずかの差によつて、所要の焼結機の大きさがかなり変わることがわかる。

すなわち所要の焼結機生産能力から焼結機の大きさを決定する際、上記の点を十分考慮して、経済的な仕様点を見い出す必要がある。またこれと関連して、焼結機本体と付属設備の能力バランスについても、十分考えておかねばならない。建設時には数字上設備間の能力バランスの十分とれた形で設計されるが、往々にしてしばらくたつとこのバランスがくずれてくることがある。このことはある設備の設計能力が十分でないということもあるが、それよりも大部分は、当初の原料事情が変化したとか、当初の推定能力が低かつたりして、焼結機本体の生産性の向上により、他の設備とのバランスがくずれるようになることである。たとえばクーラー、ホットおよびコールドスクリーン、輸送コンベヤーなどの能力不足がその主な例であるが、クーラーの能力不足は、焼結機の能率向上や焼結鉍強度の上昇のために、過剰の燃料添加やかなりの赤熱部分を残してクーラーに装入するといった、当初の設計条件と異なつた操業を余儀なくされたことから起こることもある。クーラーの能力不足は、ただちにそれ以後のコンベヤーに未冷却の焼結鉍を供給す

ることになり、ベルトの寿命を短くし、稼働率 r の低下や整備費の上昇にもつながってくる。

特にこれからの大型焼結機の建設では、このような設備間のアンバランスを起こさないよう、設計時に焼結機の能力の推定を十分にし、設備の故障や寿命低下などをおさえるようにすべきであろう。

そこで焼結の生産能力と密接な関係を有する上記各要因について、以下簡単に考えを進めていきたいと思う。

3.2 燃焼帯平均下降速度(v)について

v は配合原料中に含まれる所定の量の燃料を燃焼させ焼結を進行させる速度であり、これを支配する最も大きな要因は、ベッド内の通過空気速度と考えてもさしつかえない。さらにこのベッド内通過空気速度を決めるのは排風機的能力、装入層厚、ベッドの抵抗特性すなわち通常通気度指数で表示される値などがその主なものであるが、これらはいずれも焼結排気系統の流路抵抗を構成する因子である。

焼結排気系統の全圧損 ΔP は(4)式のように構成される。

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 \dots\dots\dots (4)$$

ΔP_1 : 焼結ベッドでの圧損 (mmAq)

ΔP_2 : サイクロンおよび管路での圧損 (mmAq)

焼結ベッドでの圧力降下 ΔP_1 は、通気度の式(5)式より(5')式のごとく誘導される。

$$P_e = (V_1/A)(h/\Delta P_1)^n \dots\dots\dots (5)$$

P_e : 通気度指数 (J.P.U)

V_1 : ベッド通気量 (Nm³/min)

n : ガスの流れの状態に基づく定数(0.5~1.0)

$$\Delta P_1 = h(A \cdot P_e)^{-1/n} \times V_1^{1/n} \dots\dots\dots (5')$$

サイクロンおよび管路での圧力損失 ΔP_2 は

$$\Delta P_2 = K(V/a)^2 \dots\dots\dots (6)$$

a : 管路、サイクロンの流路平均断面積(m²)

V : 管路、サイクロンを通過するガス量

(Nm³/min)

K : 係数

V は排気系統での洩風をも含んだ値であり、 $(1-\epsilon)$ を洩風率とすると、 V と V_1 との関係は

$$V_1 = \epsilon V \dots\dots\dots (7)$$

(4)(5')(6)(7)式より全圧損式、すなわち焼結の通気抵抗曲線の一般式は(8)のごとくなる。

$$\Delta P = h(\epsilon/P_e)^{1/n}(V/A)^{1/n} + K(V/a)^2 \dots\dots\dots (8)$$

ここで通常の焼結設備では、ベッドを通過する見かけ風速 V/A と管路、サイクロンを通過する平均風速 V/a は、近似的には(9)式のような比例関係になるように設計されており、たとえば、焼結機の規模の増大に伴い所要風量が増しても排気系統での圧損が大きくならないよう、管径その他の考慮が払われている。

$$V/a = V/q \cdot A \dots\dots\dots (9)$$

a : 管路、サイクロンの流路平均断面積

q : 設備によつて決まる定数

(9) 式より (8) 式を書きかえると, (10) 式のごとく ΔP はベッド内見かけ風速 (V/A) で表わすことができる。

$$\Delta P = h(\epsilon/P_e)^{1/n}(V/A)^{1/n} + K'(V/A)^2 \dots\dots\dots (10)$$

すなわち焼結排気系統の通気抵抗を決める主要因は, 装入層厚 h , ベッド通過風速 V/A , ベッドの抵抗特性 P_e であり, 設備の経年変化の要素として ϵ が影響を与えることになる。

K あるいは K' は焼結設備によつて決まる定数であり, これは管路, サイクロンの圧損と通風量の実測によつて, 簡単に求めることができる。また n の値についても, 焼結の全排気系統の圧損と通風量を知ることによつて (P_e/ϵ) の値と同時に決定することができるが, 一般に $n=0.55\sim 0.65$ であるといわれている。

P_e は使用する原燃料の粒度構成, 燃料量, 点火量, 水分量などによつておもに支配されるものであるが, これを化学工学的に一般式で関連づけることは非常に困難であり, 従来主として用いられてきたごとく, たとえば, 過去の実績あるいは試験結果から, 統計的な線型回帰式で関係づけることなどで解決する必要がある。

焼結ベッドの熱伝達と燃料の燃焼速度は, ベッド通過風速 (V_1/A) に比例する。したがつて管路洩風率を焼結設備によつて一定とみなす場合, (V_1/A) と燃焼帯の平均下降速度 v も一定の比例関係にあると考えられる。

$$v = m(v_1/A) = m \cdot \epsilon (V/A) = m' (V/A) \dots\dots\dots (11)$$

m' : 定数

v/A は図 5 に示すごとく排風機の風量-風圧の特性曲線と (10) 式の抵抗曲線との交点 Q によつて限定されるが, この時の v の値によつて m' の値を決めることができる。

焼結の排風機能力を決定する際, 比較的高い圧力に設計点を持つていけば (10) 式との交点 Q によつて決まる風量も, その分だけ多くなるが, 圧力増はそのまま所要電力増や, 排風機ランナーの材質強度と関係し, 経済的な見地からある一定の限度があると考えられている。通常焼結設備で使用されている吸引圧力は, $-1000\sim 1400$

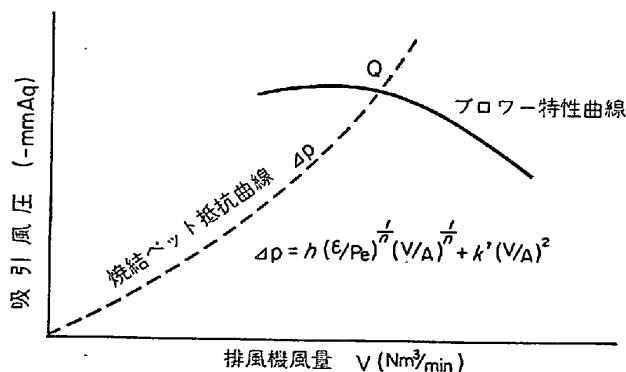


図 5 焼結ベッド抵抗曲線とブロー特性との関係

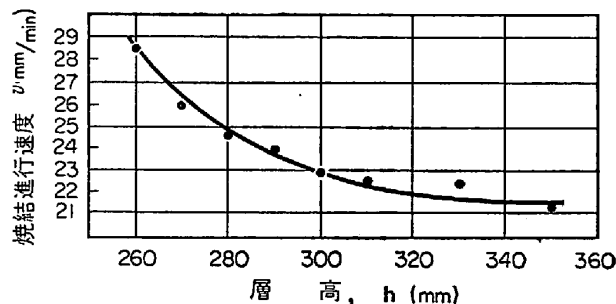


図 6 層高と焼結進行速度の関係

mmAq の範囲にあるが, これに伴い排風機の V/A の仕様設計点もある一定範囲で決められており, 国内の各焼結設備では, だいたい $70\sim 100\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}$ の範囲で使用されている。この V/A は本質的には焼結機の規模とは直接関係ないものであり, 焼結機が大きくなつても特に V/A が大きくなるという性質のものではない。

v の値は通常焼結操業範囲では, だいたい $1.8\times 10^{-2}\sim 2.8\times 10^{-2}\text{m}/\text{min}$ の範囲にあるが, 前述のごとく, 排風機的能力が限定されれば, あとは (10) 式の h や P_e によつて左右されることになる。

図 6 は 130m^2 焼結機で得られた v と h の関係を示したものであるが, P_e や ϵ など他の因子が一定の場合, v は h により大きく影響されることがわかる。

3.3 焼結歩留 η について

(3) 式中の $1440 A \cdot v \cdot d$ は, 1hr 当たりの配合原料の焼成量を表わしており, この内のどのくらいの割合が成品焼結鉱になるかを示すのが η であり, (12) 式のごとく構成されている。

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \dots\dots\dots (12)$$

$$\eta_1 : (\text{シンターケーキ量})/(\text{配合原料乾量})$$

$$\eta_2 : (\text{焼結成品量})/(\text{シンターケーキ量})$$

η_1 は原料中の揮発成分量, 酸化成分量, 焼結中の飛散ダスト量などによつて決まるものであり, 通常 $0.9\sim 0.95$ の範囲にあるが, 普通使用されている原料あるいは操業のもとでは, 大きな変動を伴うものではなく, 生産性に対して, その影響は僅少である。

η_2 は焼結成品量に直接関係のある因子であり, 前述の v とともに操業上生産能力に影響を与えるものとして重要な要因である。通常この値は $0.55\sim 0.75$ の範囲にあり, 燃料量, 点火量, 原料成分, 燃焼速度, 装入層厚などいわゆるベッド内の熱的な塊成化機構や焼結鉱強度を主とした要求される品質レベル, あるいは成品処理過程での破碎, 篩分けの割合により決定される。 η_2 と上記各要因との関係については, 従来から数多くの報告がなされているが, いまだ明確に関連づけられていない。

なお一般にこの η_2 は v とは互に相反する関係にあり, たとえば η_2 を上げる操業を行なう場合, v は下がる傾向を取るような性質を有しており, 生産性を考える場合 $v \cdot \eta_2$ が最大になるような点を見い出して操業すること

が要求される。

3.4 装入原料密度 d について

d は原料の比重および装入方法により支配されるものであり、配合原料の総嵩比重 d' 、配合原料水分 m 、装入層厚 h 、装入装置カットプレート前後の層厚偏差 Δh により (13) 式のごとく表わされると考えられる。

$$d = K_1 \cdot d' (1 - m) (h + \Delta h) / h \dots\dots\dots (13)$$

$$d' = d_0 / (1 - m_0)$$

d_0 : 各銘柄乾量値嵩比重の荷重平均値

m_0 : 配合原料水分の実績平均値

K_1 : 補正係数

K_1 は各焼結工場に応じて、過去の実績データにより求められる。通常の d 値は 1.7~2.0 の範囲にあり、使用する原料が決まれば、操業上では原料の押え込み程度 Δh により影響を受けることがわかる。

3.5 稼働率 r について

設備稼働率について考える場合、本質的に 2 つの要素に分けることができる。すなわち、1 つは定期修理などの計画休止を考慮した操業率 $r_1 = (\text{作業予定時間}) / (\text{暦時間})$ であり、他の 1 つは故障休止を考慮した作業率 $r_2 = (\text{作業時間}) / (\text{作業予定時間})$ である。

$$r = r_1 \cdot r_2 \dots\dots\dots (14)$$

焼結工場の生産性を上げる場合、この r の影響は非常に大きなものである。 r_1 について考えてみると、定期修理の頻度を定めるもつとも大きな要因は、一般にホットスクリーンを中心とした振動篩の篩網やプレート、焼結成品系統のシュート類、破碎機の歯などの摩耗によるものが主であり、これらに対して十分耐摩耗性のある材質を選定することにより、 r_1 の比率を高めることが可能である。 r_2 については、適正な定時間ピッチを選定することと、日常の整備点検を強化することなどによりかなりの程度まで高い r_2 で設備を操業することもできる。またもつとも故障率の多い個所、あるいは故障時の休止時間が一般に長いような個所、たとえばホットスクリーンなどでは、予備のスクリーンを別に設置して、 r_2 を上げるような対策を考えているところもある。

しかし DL 式焼結機は、多数の輸送設備機器が直列に連結されており、1 つの設備の事故で全系統が停止する

ので高い稼働率を得るためには相当な努力を必要とする。

普通の焼結工場では、 r の値は 0.85~0.95 の範囲にあるものとされている。

3.6 焼結機の大形化に伴う操業上の問題点

焼結機が大形化していくと、一般に焼結機面積 m^2 当たりの焼結工場の建設コストは低下するといわれている。たとえば、100 m^2 焼結機の焼結工場の建設単価(建設コスト/ m^2)を 1.0 とした場合、150 m^2 では 0.9、200 m^2 では 0.8、300 m^2 では 0.75 と報告されている例もある²⁾。また大形化による焼結生産量の増大は、そのまま労働生産性の向上につながり、焼結鉱トン当たりの人件費および固定費の低下による製造原価の低下が期待できる。最近の国内外における焼結機大型化の傾向はこのようなメリットを考慮して徐々に普及しているが、これに伴い 2、3 の操業上の問題が起こってくる事が予想される。

焼結機面積 A を大きくする場合、パレット幅 w とストランド長さ l を普通 $l/w \leq 20$ の関係に保ちながら大きくなっていくが、パレット幅の増大は、ウインドボックスからの吸引において、幅方向の空気流路偏析を助長させることが考えられる。

現状の焼結操業においても、このベッド内通気斑の現象は、操業上の大きな欠点の 1 つとされており、幅方向での燃焼帯の下降速度 v の違いは焼結の無駄時間を生じまた操業法によつては歩留 η の低下となり、生産性を低下させることになる。

写真 1 はパレット幅方向の燃焼帯下降状態の違いを、130 m^2 焼結機 (パレット 2.5m) の排鉱部の例で示したものであり、図 7²⁾ はパレット幅方向 3 点の排鉱部付近における温度経過を、時間変作でみた操業例である。図から明らかなように、パレット幅に対して通気斑が大きくなり、しかも時間経過とともにこれらが不定常に変動していることが認められる。

この傾向は、パレット幅が広くなるに伴いさらに顕著に表われることが予想され、今後焼結機が大形化してくればこれを防止する処置として、パレットへの原料装入に関しても、従来以上の均一装入に対する考慮が要求さ

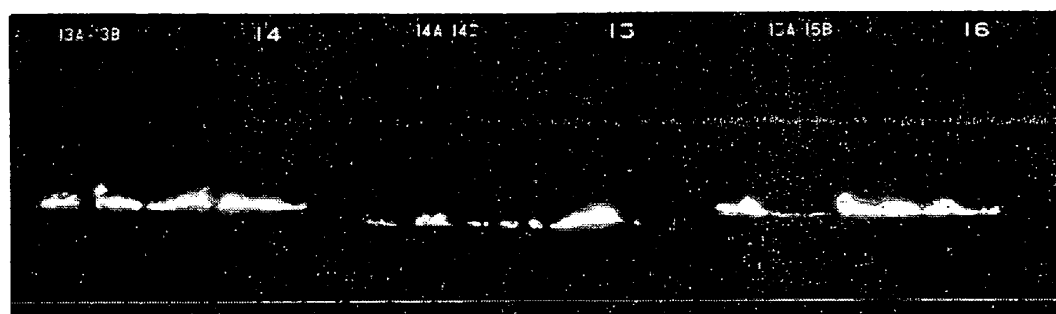


写真 1 排鉱部におけるシンターケーキ赤熱部の断面図

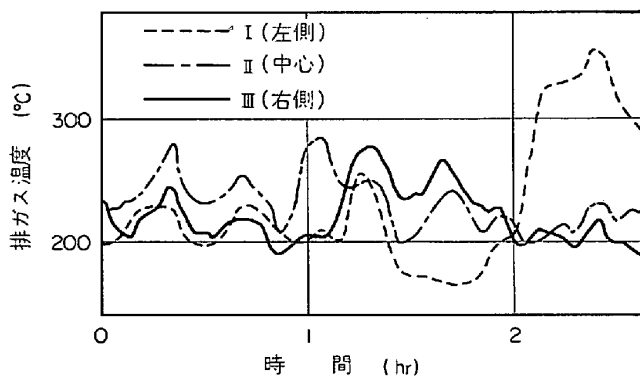


図 7 パレット幅方向、左側、中心、右側 3 点の温度経過

れることになる。

またストランド長さが長くなると、パレットシール部からの漏風が多くなり、(7)式で示した ϵ の増大によりブロワーの排気能力 V が設備によつて規制された場合、ベッド内の有効通気量 V_1 が低下し、焼結の生産性も低下する。すなわち、パレットの幅に対して、バランスのとれた l の値をきめる必要がある。

一方、焼結機的大型化に伴つてシンターケーキの取り扱い量が増大してくると、破碎機、振動篩、輸送コンベヤー類、シュートなど熱および摩耗の点で、苛酷な悪条件の下で運転している設備の耐用度減少が予想される。

特にホットスクリーンやその他の振動篩では、1台で処理する能力には篩効率との関連である限界があり、それ以上の処理量の場合には、2台以上の設備を直列配置して使用することになる。この場合、当然篩網の単位面積当たりの焼結鉱通過量 ($t/m^2 \cdot hr$) は増大することになり、その分だけ篩網の耐用期間が短くなり、操業率 r_1 の低下につながってくることも、十分注意する必要がある。

4. 大型焼結設備について

4.1 ミキサー

焼結プロセスでの焼結生産量、品質、強度の向上、コークス比の節約のためには、混和機の良否が大きな影響を与える。焼結の場合、多銘柄の原料、粉骸、石灰粉および返鉱が混入されるため、比重、粒度、形状、化学的性質などの異なる諸原料をいかに均質に混合処理させるかが問題である。この目的で通常、パグミル、ロータリーディスク、ミキシングドラムが使用されており、単段よりむしろ2段で使用されている。すなわち1段目は混合、水分添加を主体とし、2段目は残水分添加および造粒を主体に考えられている。図8に各ミキサーの概略を示す。

パグミルは最近までミキサーとしてよく使用されてきたが、滞留時間が15~20secと短く、よい混合効果を得るためには、急速攪拌の必要がある。そのため攪拌部

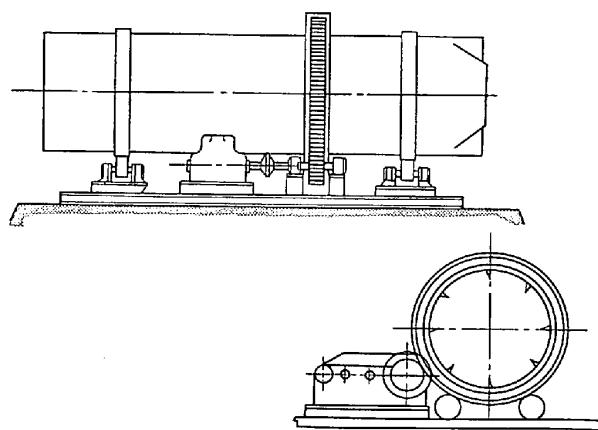


図 8 ドラムミキサー

の摩耗、破損がはなはだしく、かつ1機当たりの処理能力が小さいため、焼結機的大型化に伴い段々と使用されなくなつた。

ロータリーディスクはセメント工業やペレット工場に多く使用されており、すぐれた造粒効果を持つている。したがつて通気性の改善のためには、2次ミキサー用として適しているといえる。しかし原料条件の変動に敏感であり、焼結工場のごとく多銘柄の微粉原料を処理する場合に、混合を主体と考えれば適用に無理がある。また1機当たりの処理能力は200 t/hr以下であり、大型機に対しては複数台設置の必要がある。したがつて、大型化に適した機種とはいえない。

ミキシングドラムは、近年最も多く使用されている機種である。それは処理混合物の比較的広範囲にわたる変動にも十分対応し、かつ処理能力の変動にも容易に追従しうる能力を有するからである。ドラム能力を決定する諸元は、回転数、占積率、滞留時間でありそれは次のごとく求められる。

$$\text{回転数 } n = a \times N = a \times 42 \cdot 3 / \sqrt{D}$$

n : 使用回転数

a : 係数

N : 危険回転数

D : ドラム径

占積率と回転数

$$\mu = (V T / 60 L A) \times 100$$

μ : 占積率

V : 時間当り処理原料容積

T : 滞留時間

L : ドラム長さ

A : ドラム断面積

回転数は危険回転数に対する制約があり、安易に考えることは望ましくない。しかし上式からわかるごとく、ドラム容積が一定でも、占積率および滞留時間を変えることにより容易に追従しうる。

したがつて焼結機用ミキサーとしてはドラムミキサー

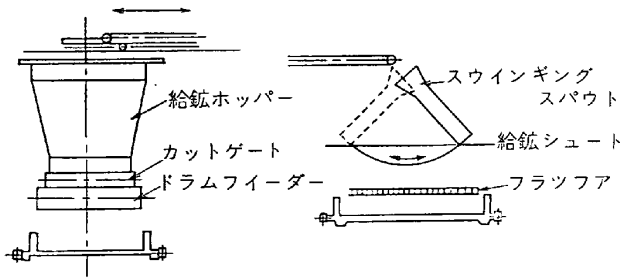


図9 給排鉋装置

が最も適合しており、製作上の制約もないので、大型焼結機のみキサーとして今後とも多く使用されると思われる。

4.2 装入装置

装入装置の目的はおおよそ次のごとく考えられる。

- i) パレットへ可能な限り均一な装入を行なう。
- ii) 装入原料の連続供給を行ない原料の途切れを防ぐ。
- iii) パレットへの装入密度を小さくし通気度大なるごとくする。
- iv) パレットへ原料粒子の偏析装入を行なわせる。

以上の問題を解決するために種々の装入設備が考えられたが、図9に示すごとく、大別すればその設備は次のごとく分類しうる。

- i) 幅方向への均一装入として a) スウィングスバウト b) 往復動BC
- ii) 連続供給および装入密度対策として a) 装入ホッパーを設ける。 b) 装入ホッパーを設置しない。

スウィングスバウトは機構上投影速度を考えてみると、中心部が早く両側が遅いので、装入原料も中心部が薄く両側が厚くなり、これは幅が広くなるほど差が大となる。したがって2.5m幅以上のものにはほとんど採用されず、往復動BCが使用されている。

装入ホッパーのあることは、通気上よりみて望ましい方法ではない。しかし装入ホッパーがない場合は、自動制御変動に追従するためには供給側の全設備を可変速にする必要があり、非常に高価となる。したがって望ましいことではないが、最小限の装入ホッパーを設置する方法がとられている。すなわち、往復動BCと装入ホッパーの組み合わせが通常取られている。

この切出し方式を図10に示す。装入ホッパー切出部にはカットゲートがあり、カットゲートには数個の調整片がついている。またホッパー下部にドラムフィーダーがあり、落口に原料粒子を反転させるためにスローピングプレートが設置されている。

この設備で特に注意することは次のとおりである。

- i) 幅方向の切出しを均一にするために、調整片を調節する。
- ii) 幅方向の切出しを均一にするために、ドラムクリ

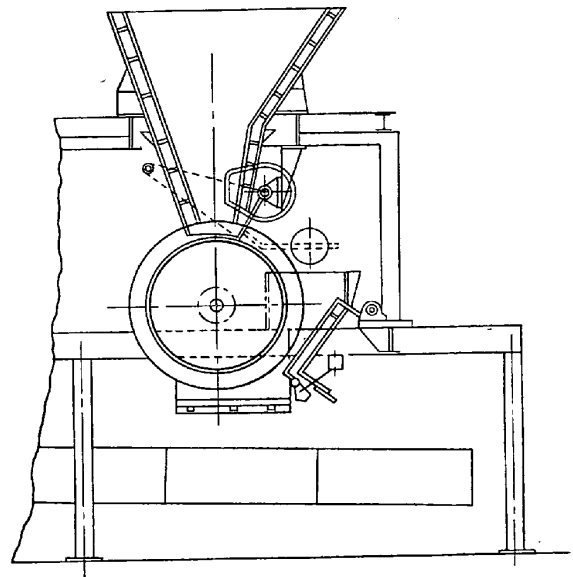


図10 装入装置

ナーに十分注意する。

- iii) 幅方向の装入を均一にするために、スローピングプレートのクリーニングに注意する。

- iv) 原料粒子の偏析装入を行なわせるために、スローピングプレートの角度を調整する。

機構上大型化を制約する条件はなく、たわみをへらすためにドラム径を大きくすれば、切出し上の滑りがなくなり好都合である。したがって、今後ともこの方式が続くと思われるが微調整を要する問題であり、注意深い操業態度が望まれる。

4.3 焼結機本体設備

4.3.1 焼結機全体構造

焼結機は本体架構、給排鉋装置を含むトラックガイドパレット、排気装置、点火装置および破碎設備から成り立っており、その配置の一例を図11に示す。

焼結機の設計上、操業上の問題として特に注意すべき事項は、次のごとく考えられる。

- i) 熱膨張対策
 - ii) パレットの熱割れ防止
 - iii) 漏風対策
 - iv) 点火設備の改善
- 以上の点について検討を進めてみる。

4.3.2 熱膨張対策

焼結機の構造上、熱膨張に対して留意しなければならないのは次の箇所である。

- i) 本体架構構造
- ii) ウインドボックスおよび排気管の伸び吸収
- iii) パレットの熱膨張
- iv) パレットの片寄り

本体架構は強固な型鋼で作られており、従来は基礎に固定された構造もあつた。しかし機長が70~80mと大型化してくれば、必然的に架台の伸びに対する逃げを考

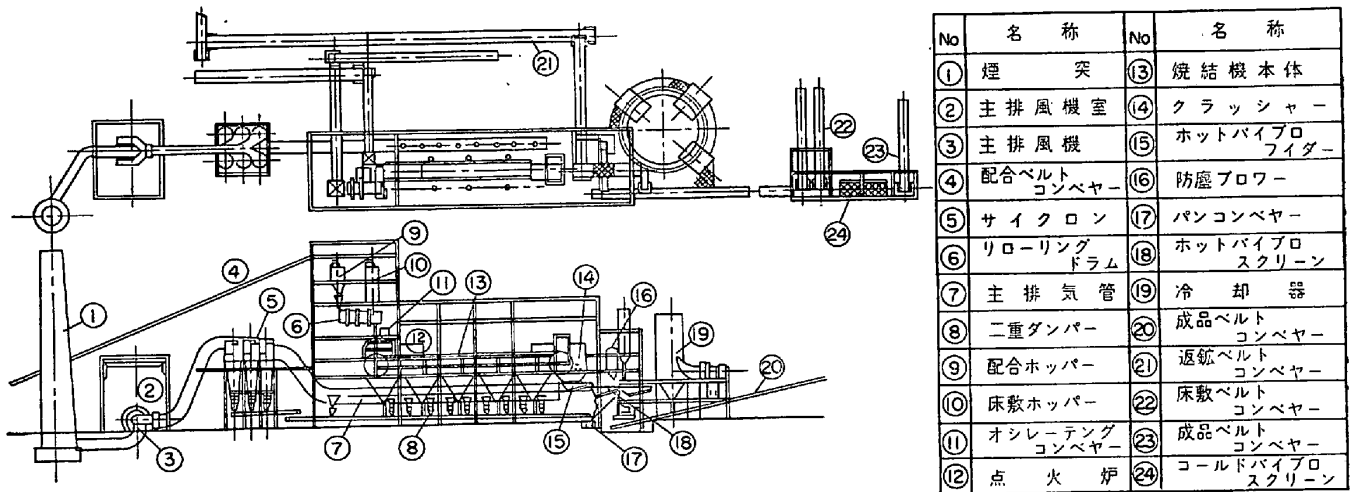


図11 DL式焼結設備全体配置図

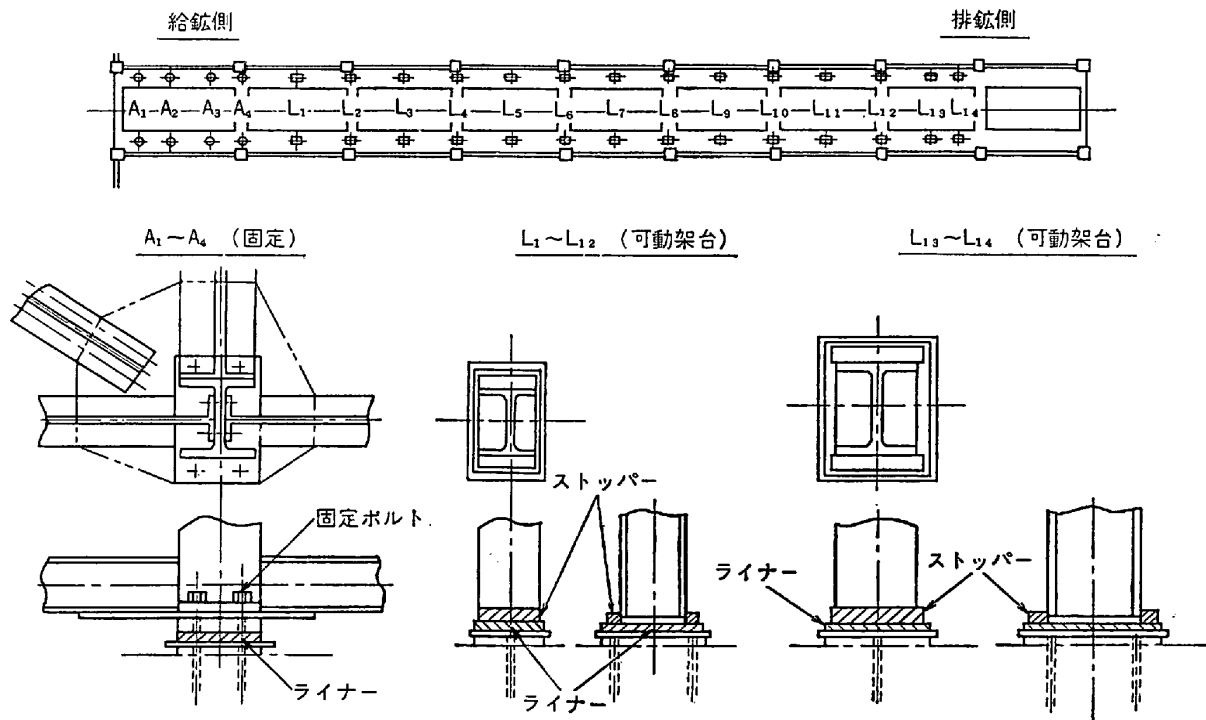


図12 架構の熱膨脹対策

える必要がある。図12に給鋼側架構を固定し、排鋼側を長手方向にルーズにして、熱膨脹に対処した架構を示す。

ウインドボックスは、排気ガス温度が最高 400~500°C ぐらいであるため、十分な対策が必要である。図13に示す方法は、隣接する W.B を固定し、さらに各 W.B を1本の梁の上に固定し、この梁を本体架構上長手方向に伸縮可能に設置している。また他の方法として、図14に示すごとく W.B 数個あてを強固に固定して各梁に乗せ、梁と梁の間に膨張代を設けている。

パレット上面は通常、500~600°C ぐらいまで加熱さ

れるので、この伸びの吸収ができればパレットは軌通面より浮き上がるか破損を生じる。その対策として最近ではすべての設備で排鉱側トラックガイドを遙動式として、パレット間には空隙を持たせず、その熱延びの分だけ変位させる方式を採用している。図15にその例を示す。

焼結機はその構造上、後方のパレットで前方のパレットの後背面を押して走行する。したがって何らかの理由で左右方向に熱膨張の差を生じた場合、パレットは当然片側に寄つて走行し、車輪および車軸を痛めるか過負荷となる。この対策として、駆動軸線を同一水平面内にて

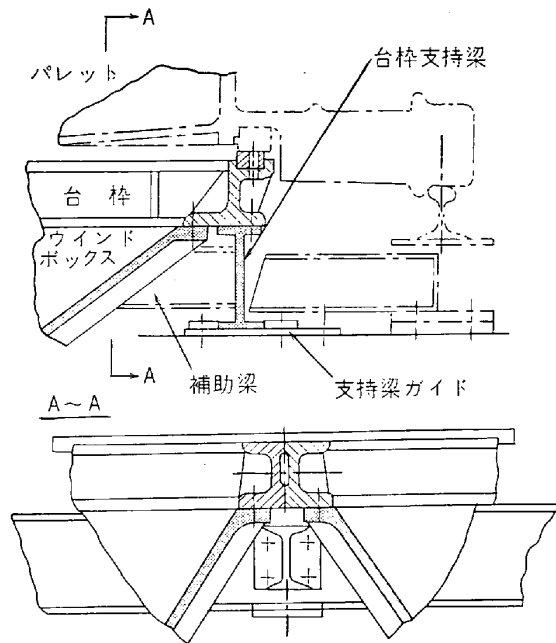


図13 W.B 熱膨脹対策

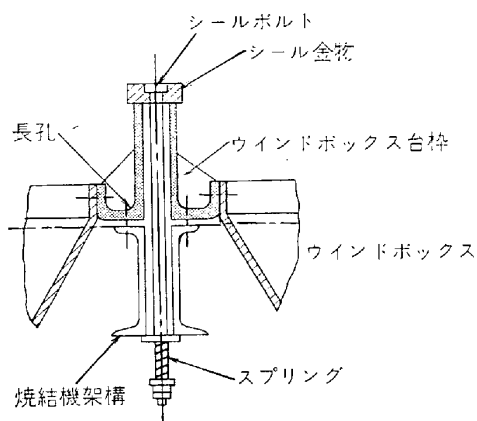


図14 W.B 熱膨脹対策

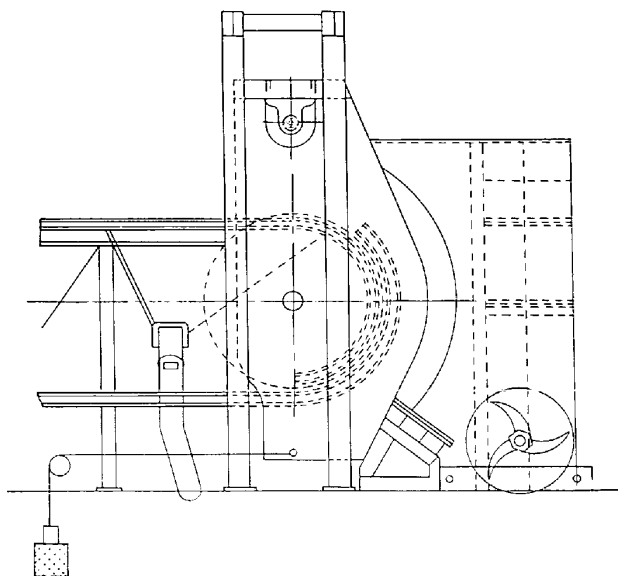


図15 排鉾側遙動架台

前後にずらせる構造としておく必要がある。

これらの対策は設備に対して必ず必要であり、大型機では膨張量が大きいため、注意深い検討を要する問題である。

4.3.3 パレットの熱割れ防止

焼結機における最も高価な消耗品は、パレットである。従来よりパレットには、鋳鉄系と鋳鋼系がある。鋳鋼系は Mn, Mo などを添加した低合金鋼で、割れを生じることはないが熱変形を生じる。したがって肉厚と材質の面で高価であり、一般的には鋳鉄系が多く採用されていた。

鋳鉄系は材質的にミーハナイト (F C 25~30相当品) またはノジュラー (F C D 40~50) に、また鑄造方法により一体鑄造または三体鑄造にわけられる。パレットの温度は図 16 に示すごとく、200~500°C の繰返しであり、大きな熱疲労を生ずる。ミーハナイト一体構造のパレットは、2.5m 幅のパレットでも、ほとんど破損しており、すでに実用的ではない。3 m幅ぐらいでは、ノ

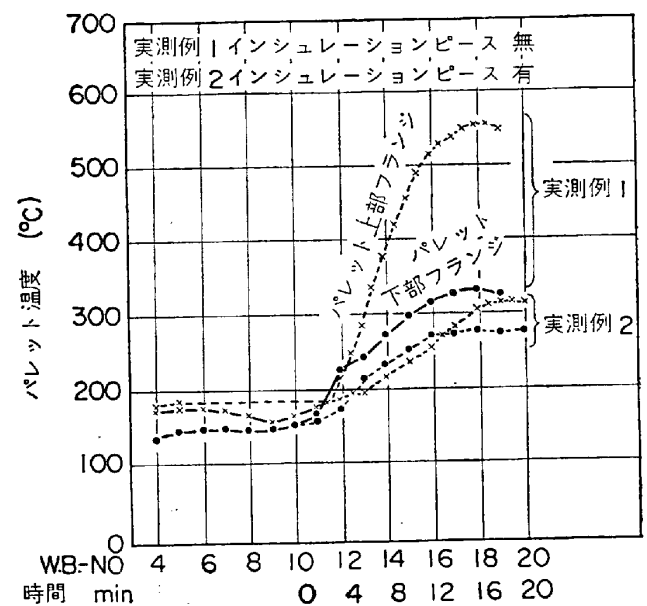


図16 パレット 温度

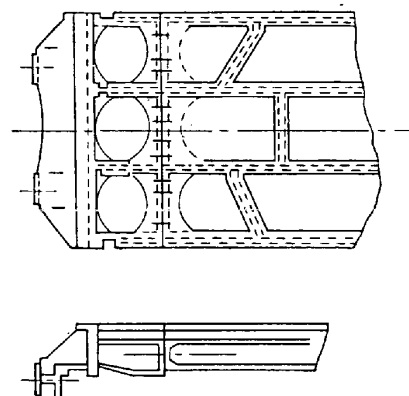


図17 3体構造パレット

ジュラー一体構造またはノジュラー三体構造のものが多く使用されている。三体構造は図 17 に示すごとく、低温部の両側と高温部の中心部とを分離してボルトで結合したものであり、各部の高温分布範囲を狭くしこれによつて発生熱応力を小さくしたものである。また鑄造上の湯流れ、押湯の状態、鑄造欠陥の発生など考えて、大型化したときは三体構造のほうが容易である。そのほかに三体構造の場合、低温部は鑄鉄系を使用し、熱負荷の大きい中央部に鑄鋼系を組み合わせ使用するという利点があり、3.5~4.0m幅のものではこれが最も望ましい方法と思われる。

しかしながら三体構造は、結合部の機械加工、取り付けボルトの増加などによる製作費の増大が著しいため、3.5m 幅級でも一体構造とインシュレーションピースを採用する方法がある。すなわち前記図 16 に示されるように、パレットフレームの上下では相当の温度差があり、これはパレットに対する伝熱が、熱ガスの輻射および対流によるのみではなく、グレートバーとの接触により多くの伝熱が行なわれるのを示しており、通常30~40%の熱量が直接伝熱によるものであるといわれている。図 18 にその取り付け例を示す。また前記図 16 にインシュレーションピースを取り付けたときの温度分布を例示しているが、取り付けてないパレットと比較して約100~200°C ぐらいパレット上面温度が低い。

グレートバーは通常 700~800°C の温度で使用されており、床敷が切れたときまたは粉骸過剰時に 1000°C を越える状態も生ずる。したがって最近のグレートは、対熱性に主体をおいた 25Cr 系のものがほとんど使用されており、一年間使用しても損耗が零に近い製品が完成されている。グレートバーの一般的材質および機械的強度

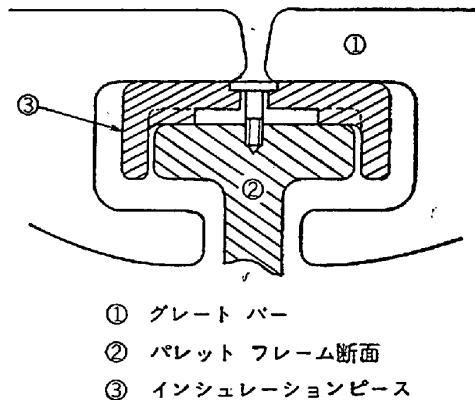


図18 インシュレーションピース

を表 2 に示す。

4.3.4 漏風対策

焼結工場における電力原単位は、約 25kWh/t ぐらいであり、その約 70% が主排風機の電力である。また排風機的能力は一定であり、もし漏風を多量に吸引すれば、焼結ベッドを通過する風量は減じ生産量に大きな影響がある。排気系における大きな漏洩箇所は、W.B 前後および両側のシールと排気管系統である。

各 W.B における漏風量の一例を図 19 に示す。この時の漏風量は、主煙道排ガス量の 17% に達している。またこの図より漏風は給排鉱部において多く発生し、中間部では微少であり、サイドよりむしろデッドプレートにおける漏風量が問題であることを示している。

同じ例において約17%の漏風が主排気管系で発生している。これはダスト排出用 2 重ダンパーよりの漏風を意味しており、この部分の漏洩は主排風機ランナー寿命にも大きく影響を与える。従来 2 重ダンパーは、相互クラック機構で電動式に操作されており、上部と下部が交互に開閉し両者とも閉の期間がなかったが、最近ではエアシリンダー操作で長間隔短時間開閉を行なつて、両者とも閉の期間が長いように改善されているが、シート部の材質の面でさらに考慮しなければならない。

4.3.5 点火炉設備の改善

現在の焼成ケーキを上中下に分割した場合、その強度指数は 70, 85, 90 と明らかに差がある。これは現在の焼結作業において、明らかに上部は熱が不足し下部は過

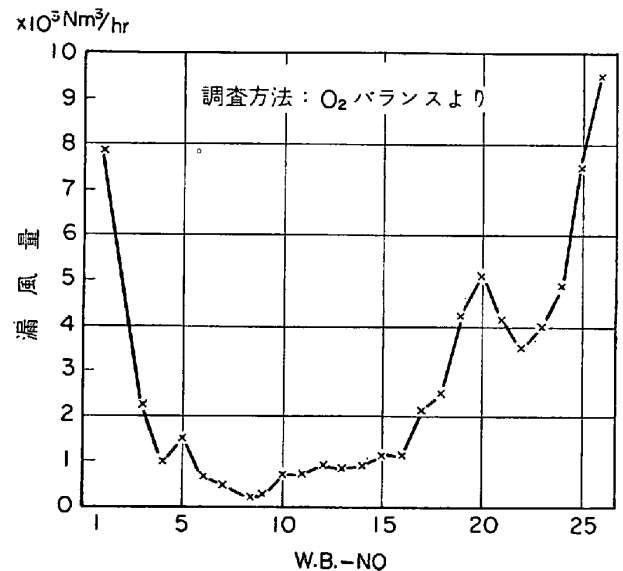


図19 ウインドボックス (W.B) 漏風量

表 2 グレートバーの材質

分 析 値						機 械 的 性 質	
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	抗 張 力	ブリネル硬度
1.0~1.5	1.0~2.0	0.5~1.0	2.3~3.0	0.3~0.5	0.4~1.2	40 kg/mm ²	250

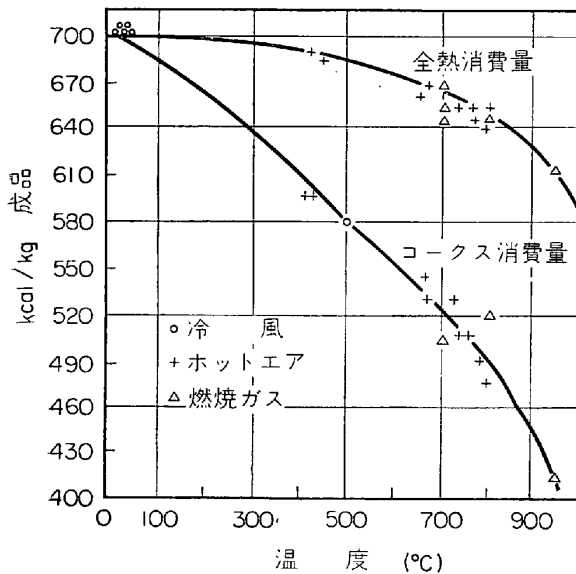


図20 熱ガス供給と消費熱量

剰であることを示している。一方焼結作業費の約半分が粉骸費であることを考えた場合、表面歩留をあげて生産量をふやし燃料費を切り下げる必要があり、現点火設備に対する改善の必要性がある。

焼結機に保熱フードを設け粉骸と熱ガスを代替することは、従来より考えられた問題である。焼結時間の約1/3に対して、熱ガスを上部より供給した例を図20に示すが、同一強度に対して明らかに粉骸量が減少している⁵⁾。また他の例によれば、全焼結時間にわたって450°Cの予熱空気を供給した場合、同一コークス配合量で5mm指数落下強度において約10%の上昇があり、また同一落下強度で考えた場合は、コース配合量で、3.5~4.5%の減になると報告されている。

しかし実際設備において、熱ガスを処理する場合は種々の問題が生じる。熱ガス源、シールおよび分配など実際問題として多くの困難があるが、今後の傾向としては漸次この方向に進むと思われる。

4.4 ホットシンター篩分設備

焼結工場における修理時間の最も多いのが、ホット振動篩といわれている。しかも篩では基本的と思われるサイドプレートの亀裂発生、発振機構のベアリング破損がおこっている。ホット振動篩は最も苛酷な条件で使用されており、現在までこれに適合した完成品はないという。今後焼結機が大型化するにつれて、この問題はさらに検討を必要とする事項と考えられる。

4.4.1 振動篩による粒子の運動

振動篩の粒子の運動は、振動軌跡、振幅、投射角、据付角などによって決定される。振動軌跡は大別して円、楕円、直線の3種でありこれを図示すれば図21のごとくであるが、ホット振動篩としては通常直線運動が採用されている。篩分けおよび輸送能力にはこれらの振動条件が関係しており、その特性を表わすには遠心効果 K お

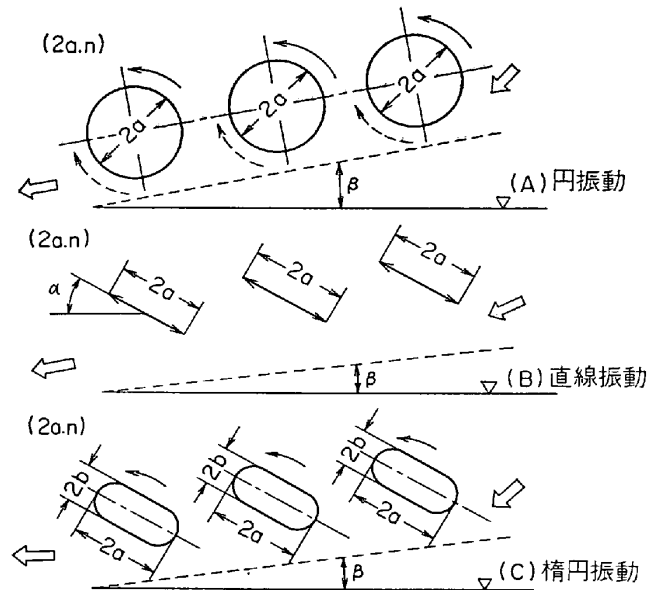


図21 篩の振動軌跡

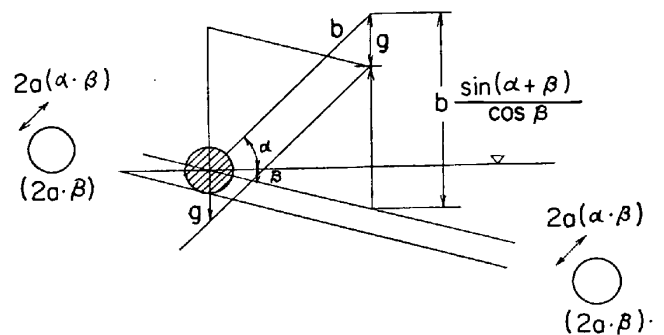


図22 粒子の受ける遠心力

よび振動強度 Kv が使用される。

$$Kv = K \{ \sin(\alpha + \beta) / \cos \beta \} \quad (\text{直線運動の場合})$$

$$Kv = K (1 / \cos \beta) \quad (\text{円運動の場合})$$

$$\text{ここで } K = a\omega^2 / g = an^2 / 90000$$

$$(\text{ただし } \omega = \pi n / 30 \quad g = 980 \text{ cm/sec}^2)$$

図22は篩面の粒子が振動によって受ける遠心力を、力学的に示したものである。この Kv 値は1つの目安として使用されている。すなわち、

$Kv = 1$ のとき 原料は篩面上で滑りまたは転がり運動を行なうのみである。

$1 < Kv < 3.3$ のとき 原料は飛行運動を行ない、原料の運動は篩の1サイクルごとに力を受ける。

$Kv > 3.3$ のとき 篩面の1サイクルよりも飛行時間が長くなり、篩面の2サイクル運動に入ってくる。これより考えて、原料を前に送る動作としては Kv 値は1付近が適当であり、篩分効果をねらう場合は2~3ぐらいが適している。

実際の篩において同一の Kv 値を得るためには、据付け角度、投射角度を一定とした場合に、振幅 a と回転数 ω との関係になつてくる。振幅を大きくとり、回転数を

下げることは各ビームの固有振動数を下げうるために設計上有利である。しかし振動数は 2 乗できているので必要以上に振動数を下げることは K_v 値を下げることであり、篩分効果の低下をきたすことになる^{6)~8)}。

4.4.2 振動篩の構造

現在わが国で多く使用されている代表的な 2 機種について説明する。

その第 1 を図 23 および写真 2 に示す。発振機構は本体の供給側下部についているため、熱の影響を受けないのと発振機が小さなハウジング内におさまっているため、軸のたわみによるベアリングの破損がなく取りはずしが容易である。ただ発振機の取り付けビームに曲げ応力を生ずるため、この影響でサイドプレートに亀裂を生じやすく、強度上十分の注意が必要である。上部フレーム構造は図 24 に示すごとくで、1 ブロックずつボルトで下部フレームに取り付けられているため、上部の熱影響が下部に直接影響することはない。また上部フレームと篩デッキは、ボルトで強固に取り付けられており、弛みを生ずることはない。

その第 2 を図 25 および写真 3 に示す。この発振機構は、従来のリプルフローの形式を 4 軸として歯車によって同期させ、直線運動を発生しめたものである。この機

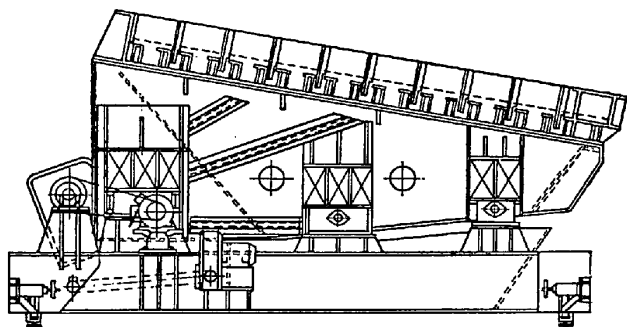


図 23 ホット振動篩例 1

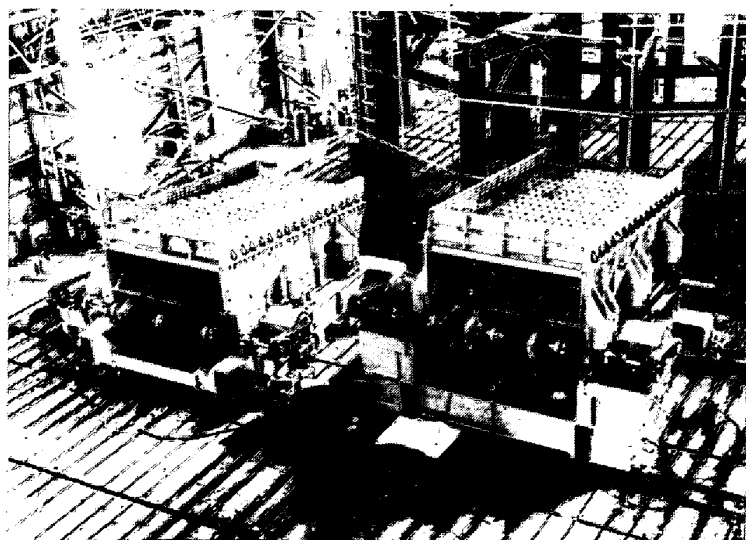


写真 2 ホット振動篩例 1

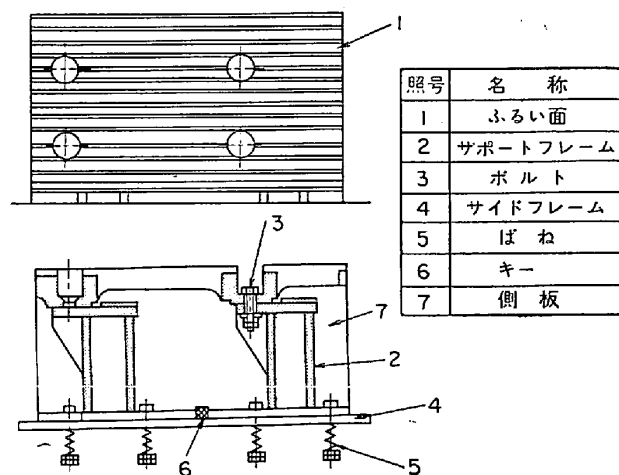


図 24 上部フレーム構造例 1

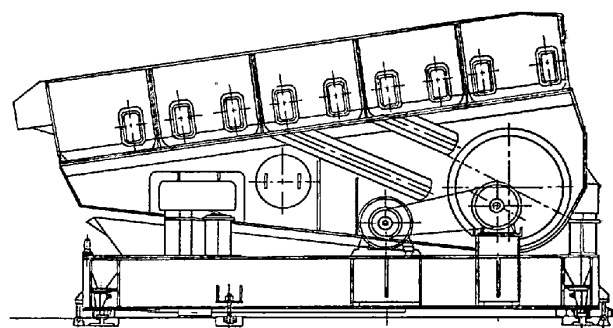


図 25 ホット振動篩例 2

構は、サイドプレート供給側に大きな穴をあけ、ハウジングをはめこみ全体にカバーをかけ、その中にエレメントを内蔵した方式である。その構造を図 26 に示す。この方式は、サイドプレートに対して曲げ応力が発生しないため効果的であるが、熱が伝わりやすく熱影響をうけることと軸のたわみによる影響で、ベアリングが破損しやすい。上部フレームの分割は前述と同じであり、グレート取り付け方法は図 27 に示す。

いずれの型式を考えてみても、完全な完成品とはいえないが、これは篩がいかに苛酷な条件で使用されているかを理由づけるものである。現在 $3\text{ m} \times 6\text{ m}$ サイズまで製作されているが、さらにこれを大型化する場合、遠心力 ($\alpha \omega^2/g$) の条件を若干ゆるめてやるしか方法はなく、第 1 に耐勞耐熱、第 2 に輸送能力、第 3 に篩分効率を考えてゆけばさらに大型機の製作も可能であると思われる。

4.4.3 振動篩以外の考察

最近の焼結工場では、クーラー設備の機能を発揮するために、ホット振動篩は不可欠なものであると考えられている。しかしホット振動篩での -5 mm の除去率と、適当にスリット幅を調整した固定グリズリ設備における -5 mm の除去率との差は 10% ぐらいといわれており、この問題を再

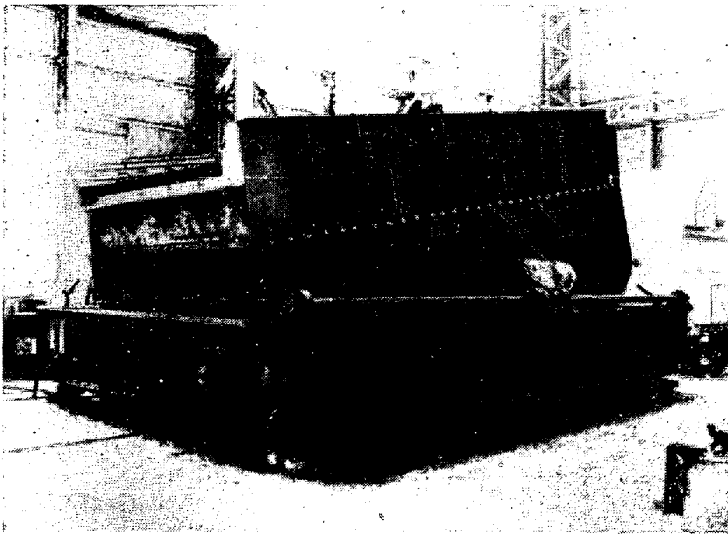


写真3 ホット振動篩例

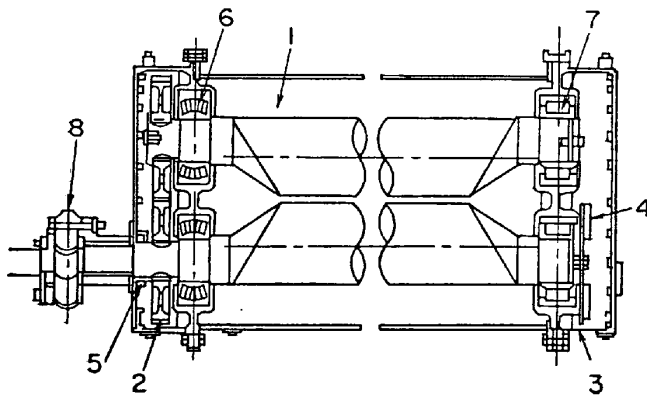


図26 発振機構

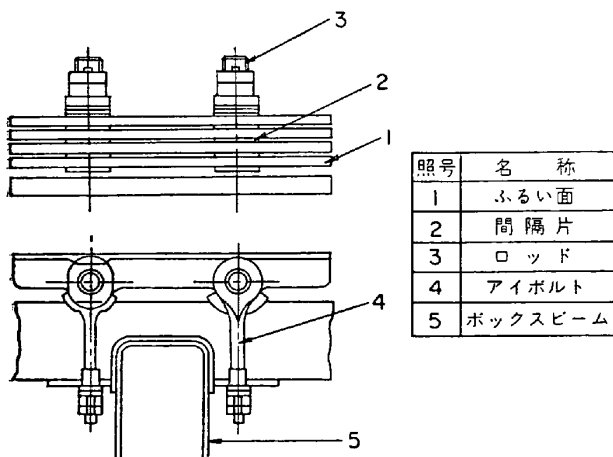


図27 上部フレーム構造例2

考察する可能性を生じる。固定グリズリーにおける篩分けは、すべて粒子の自然落下によるものである。したがってそこに発生する問題としては、スリット幅と傾斜角および必要面積である。クーラー機能を満足しうる小粒除去率を得るためには、スリット幅は当然拡大せねばならない。その場合、成品サイズの焼結が当然返鉤側に行くので、その処理が問題である。また固定グリズリーには

まだ面積を決定する量的法則は見い出されていないが、少なくとも振動篩以上の面積は必要であり、さらに振動篩の据付け角度が $5 \sim 10^\circ$ の傾斜範囲内にあることを考えれば、振動篩以上の高さが必要である。

したがって大型機に固定グリズリ設備をあてはめた場合、篩下サイズの再冷却の要否、グリズリ面積の選択、建家との取り扱いなどの問題点があるが、完全な振動篩がない現在では一考を要する問題であると思われる。

4.5 冷却装置

冷却機は供給される $600 \sim 800^\circ\text{C}$ の焼結鉤を、BCで輸送可能な 150°C 以下の温度に冷却するためのものである。

冷却器の型式としては次のごとく分類される。

- i) 直線型 …誘引通風または押込通風
- ii) サーキュラー型…誘引通風または押込通風
- iii) セル型…押込通風

すなわち通風の方式としては誘引式と押込式と2とおりある。

誘引式は一般に、装入厚さが 500 mm 以下の低装入厚に適している。場所的な制約がない場合、層厚は薄く取りうる。 500 mm 以下の層厚さの場合、風圧が $60 \sim 75 \text{ mmAq}$ であるため、

クーラーのサイドシールはきわめて簡単であり、またファンの馬力も小さくてよく、大風量の空気で熱の交換を行ないうる。また冷却時間も $20 \sim 30 \text{ min}$ であり、この用途に対するものとしては最も短い。ただ吸引ファンを含塵雰囲気中使用するため、ファンの寿命に問題が残る。

押込式は一般的に 500 mm 以上の高装入に適している。形式を小さくしたい場合、層厚は大となる。この場合圧力が大となるため、体積の膨張した熱ガスを吸引することは明らかに不利であり、押込式のほうが有利である。しかし風圧は 1500 mm 装入厚ぐらいで $200 \sim 250 \text{ mmAq}$ ぐらいとなり、サイドよりの漏風が問題となりシールに高度な設備を使用せねばならない。また押込通風では、吹き抜け現象を生じる傾向にあることと、風圧が高いため若干誘引式より減少する傾向にあり、冷却時間は 60 min 以上必要としている。押込式でも誘引式とまったく同じ条件で使用することは可能であるが、落下ダストの排出装置などかえって設備費的には不利である。

直線型のクーラーは図28に示すごとく、本質的にはパンコンベヤーのトラフに開孔した型式である。この式の特長としては、焼結機よりクーラーへの移行がきわめ

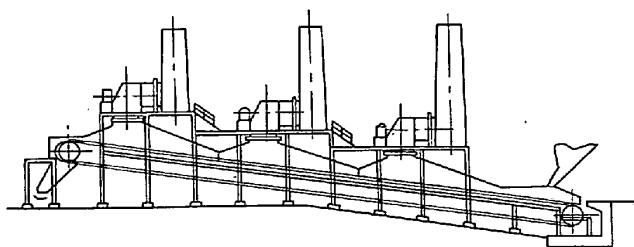


図28 直線型冷却機

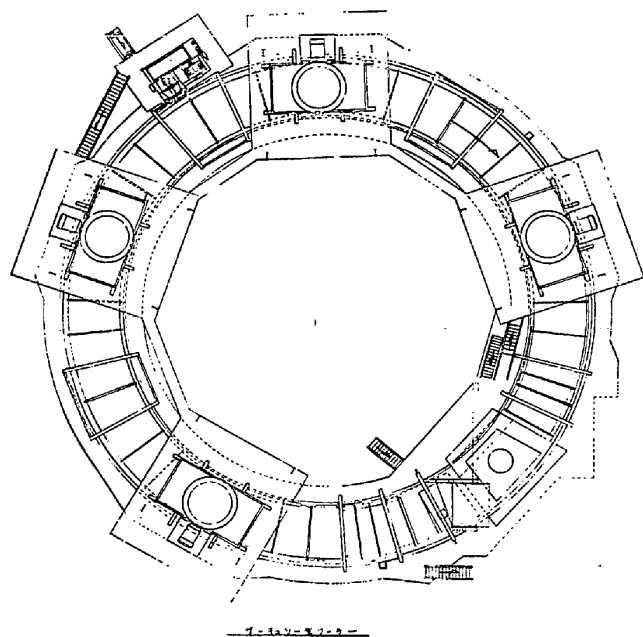


図29 サーキュラー型冷却機

て容易であることと、排鉋部を持ち上げうるので直後にスクリーンを取り付けうることである。しかし返り側トラフの利用ができないため、他の方式にくらべ割高である。クーラーの目的はきわめて単純であり、したがって安価であることが特に必要である。その意味ではぜいたくといえる。

サーキュラー型は図 29 に示すごとく、水平回転面を使用するため、全トラフを有効に利用することができてむだがない。したがつてもつとも一般的に使用されている。この駆動方式は、外周にプレートを取り付けフリクションホイールで駆動する方式が取られており、回転枠が円形レールの上で回転する形になっている。この場合大型化すれば回転枠の強度、据付け精度、駆動部強度、回転車輪の摩耗、敷地面積などである限界が当然考えられ、直径を小さくする意味で、誘引式が押込式またはセル型に変わってくる傾向にある。

セル型は図 30 に示すごとく、回転直径を小さくし回転体の剛性を強くし、敷地面積を小さくするうえには有効である。しかし層厚が厚いのに対して、通気が側面より側面へまたは上面へと流れるため、気流が不均一になる可能性が非常に強い。またセルの場合、既定装入高さ

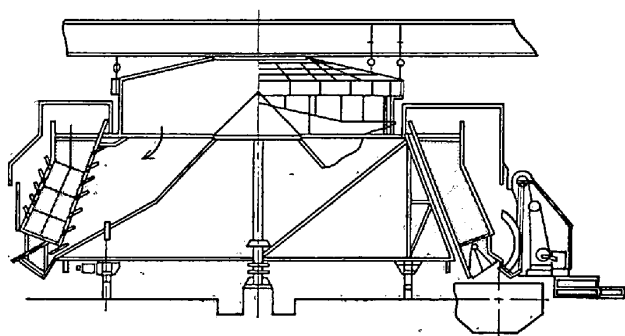


図30 セル型冷却機

を保持しなければ冷却空気がショートする。このほかセル型は押込式であるため、シールに対して十分考慮する必要がある。

以上のごとく考えれば、各型式の中でサーキュラーがもつとも有利であり、大型化したとき、必然的に押込式に移行すると思われる。

4.6 主排風機

主排風機設置上の大きな問題は、効率と摩耗である。前述のごとく、焼結工場消費電力の 70% は主排風機であり、出力 5000kW 以上にもなつてくると、その効率は大きな損益にむすびつく。また含塵ガスを吸引するので、その耐摩耗度は保全上問題である。以下その機能について述べる。

4.6.1 主排風機の効率および羽根車の摩耗特性

羽根車の理論ヘッドの一般式は次のごとく与えられる。

$$H_{th\infty} = (1/g)(U_2 \cdot V_2 \cdot \cos \alpha_2)$$

この式を図解すれば図 31 のごとくである¹⁰⁾。

今、同一周辺で考えた場合

$$\beta_2 = 90^\circ \text{ の場合 } H_{th1} = (1/g)U_2^2$$

$$\beta_2 < 90^\circ \text{ の場合 } H_{th2} = (1/g) \cdot U_2^2 \cdot \{1 - (V_{2r}/U^2) \cot \beta_2\}$$

$$\text{すなわち } H_{th2} < H_{th1}$$

すなわち羽根を後退させれば、理論ヘッドは減少してくる。しかし羽根車流路内の羽根と流体の剝離が少なくなると、かつ流路内の摩擦損失もそれほど大きくならないような流路を選べば、必然的に傾斜角度が必要であり、もつとも良い羽根出口角は $\beta_2 = 35 \sim 45^\circ$ の範囲であ

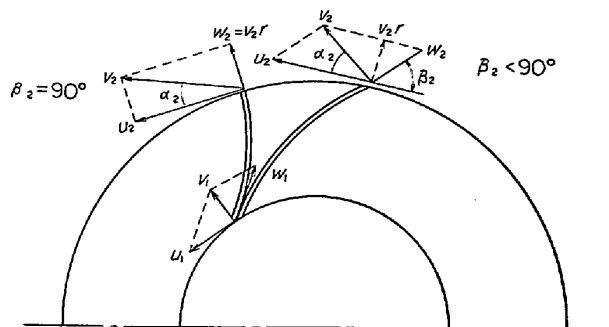


図31 羽根流出角の影響

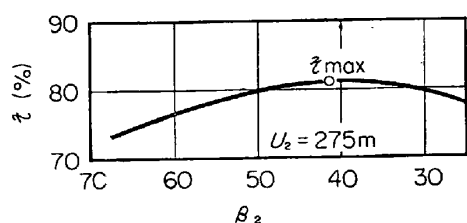


図32 羽根出口角度の効率におよぼす影響

る¹¹⁾。図 32 にその関係を示す。

羽根車の摩耗特性は次の式で与えられる。

$$L = K t / \{ C (V^3 / g) \}$$

L : 羽根車寿命

K : 定数

t : 板厚

C : 含塵量

V : 摩擦速度

g : 重力加速度

板厚が厚く含塵量が少なく摩擦速度の遅いほど、ランナーの寿命は長い。今、定数板厚および含塵量が一定である場合、摩擦速度を羽根車の周速で代表され则认为るならば、次のごとくなる。

$$L \propto 1/V^3 \propto 1/U^3$$

すなわち羽根車が大きくなるほど周速が大きくなり、寿命は短くなる。

4.6.2 羽根車の選定

ラジアル型

ラジアル型は前述の内容でわかるごとく、同一ヘッドに対してつと周速遅く小型である。したがって、その意味では摩耗は少ない。しかし効率が一番悪いことと、実際上気流の流れが悪く、構造的に出口部の摩耗が激しいため、運転コスト、保全上望ましくない。各型式の効率を表 3 に示す。

ターボ型

効率と摩耗を考慮して出入口角を適当に傾斜させており、したがって羽根流路内の流れが良く、焼結用排風機としてもつと多く使用されている。効率も 75~82%と安定しており、 0.5 g/Nm^3 以下の含塵雰囲気において約 3 年ぐらいの連続運転が可能である。

翼型

翼型はターボに比してその構造上、排気の剝離現象が少なく摩擦抵抗が少ない。したがって、効率は本質的に高い効率が得られる。また実際操業では、設計点（最高効率点）よりはずれたところで操業される場合が非常に

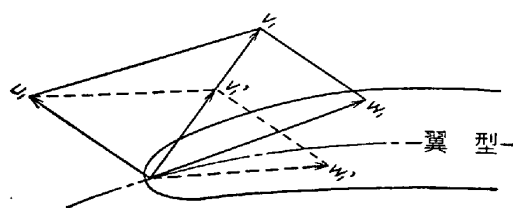


図33 風量の変動と流入角の関係

多いが、図 33 に示すごとく、羽根角度と流入角度に差が生じた場合でも、翼型のほうが渦流が生じにくく効率低下が少ない。

ただ翼型の場合、排気ダストによる翼の摩耗が起こった場合、効率の低下はプレート型より大きいので、流入部の摩耗対策は十分行なう必要がある。

今後排風機が大型化した場合、運転コストの上からも高効率翼型に移行すると思われるが、剛性の面からもターボ型では不足を生じ、必然的に翼型が採用されると思われる。

5. 焼結機の自動制御について

最近の焼結工場の自動制御ループをあげると

- i) 統括運転制御
- ii) 原料配合制御
- iii) 原料給鉱制御
- iv) 原料水分制御
- v) 装入層厚制御
- vi) 焼結機速度制御
- vii) 点火炉燃焼制御

に集約できる¹³⁾。統括運転制御や原料配合制御はほぼ完成に近づき、また原料給鉱制御や原料水分制御は、サンプル値制御の開発によつて¹⁴⁾制御精度が向上しているが、焼結鉱製造の中心である装入層厚制御や点火炉燃焼制御、焼結機速度制御などは、検出端の開発や機械的外乱に問題があり、円滑な制御状態とはいえない。

一般に漠然と使われているオートメーションとは、従来人間によつて制御されていたものを自動化することとプロセスの制御因子を自動的に制御し安定した製品を得ようとするプロセス制御にわけられるが、焼結工程の現状は前者の自動化の域にあり、後者のプロセス制御は今後の発展途上にある。すなわち、現在の焼結工場は機器による自動化が進み、作業人員の削減に寄与し、鉄鋼一貫工程でも労働生産性の高い部門の 1 つにあげられている。これに対して、焼結機は速度制御とか焼結鉱化学成分の自動制御などは、古くからその必要性が強調されていたが、高炉焼結を一体化して考えた場合の経済性の問題や検出端の問題から、一部をのぞいて実操業に導入されずに現在に至った。

しかし近年高炉操業技術はますます進歩してきており従来の品質適中率を維持しても、不良ロットは増加して

表 3 型 式 別 効 率

羽根車形式	全断熱効率 (%)
ラジアル型	68~75
ターボ型	75~82
翼 型	80~87

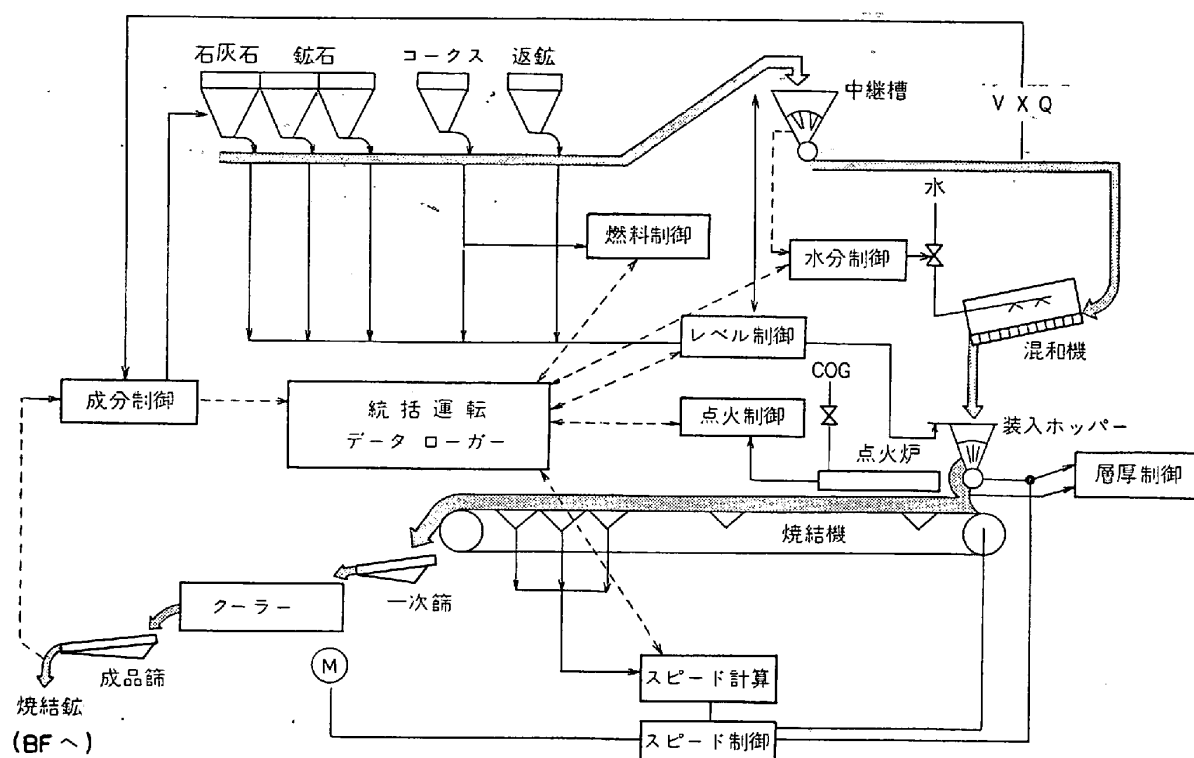


図34 焼結プロセスの制御系

いく傾向にあり、焼結鉱の品質面での安定化措置、いわゆる使用原料面の安定化に加えて、焼結工程におけるプロセス制御の導入がせまられているのが現状である。

図 34¹⁵⁾ に将来の焼結機の制御系の 1 例を示したが、焼結機の大型化によって使用原料の増加による原料面の外乱と、設備の機械的外乱に十分対処できるような原料配合や給鉱の自動制御、原料水分制御の改善はもとより焼結機速度制御、焼結鉱化学成分の自動制御、返鉱や燃料配合量の制御などを、1つの計算機を介して総合された制御系に発展していかねばならない。

焼結プロセスの制御因子として、現在連続的に制御されている焼結機排鉱部の排ガス温度と、断続的に制御されている成品配合原料の化学成分や強度があるが、どれをとっても満足な制御とはいえない。排鉱部の温度の検出は、焼結機上の装入原料が必ずしも一定でなく、また検出された同じ温度が同じ品質を与えるものでもなく、今後焼結層を物理的・化学的に解明し検出端を開発するか装入原料変動をなくすように努めなければならない。

化学成分のコントロールには、VXQの発達によって情報を迅速にフィードバックできるようになったが、これらのためには焼結過程の十分な研究や、成品や原料の自動サンプリング、自動試料調整方式が開発されなければならない。また近い将来、高塩基度焼結鉱の発達や、高炉装入原料中の焼結鉱の占める割合が多くなると、現在の高炉での石灰アクションを、焼結で行なう時期もくるであろう。文献によると¹⁶⁾、焼結鉱強度をそのスラグ性状のX線分析により制御する方法があるが、強度の連続制

御には興味がある。しかし、現段階では可能性は薄い。

最後に、焼結機のワンマンコントロールの可能性について述べると、焼結工程は一連の輸送工程と考えられ、非常にコントロールが容易であるが、槽レベル、シュート詰り、ベルト蛇行やスリップ、ミキサー、スクリーン、クラッシャーなどの機器異常探知法の開発や集塵装置の充実に加えて、機械的改善による粉鉱のこぼれ防止やこぼれの集約化が解決されれば、実現の可能性がある。この場合、機器の運転状況を遠方表示するか、計算機によって監視させねばならず、機器の完備と人員削減の経済性に依存しているので、現時点では問題がある。

6. 焼結工場と公衆衛生について

6.1 騒音

6.1.1 騒音の発生と法的規制

焼結設備の大型化に伴い、使用される排風機もますます大型化し、これに伴って発生する騒音も無視できなくなってきた。騒音は公害の内でも割合人間が順応しやすいものであるが、社会生活に与える影響が大きいことから、各都道府県で公害防止条例などにより規制が行なわれており、最近では国として統一された規制が設けられる傾向にある。

表 4 に大阪府の規制値を示す¹⁶⁾。

製鉄所周辺は準工業地域であり、夜間 55 ホーン以下におさえる必要がある。

主排風機の騒音発生の原因としては、次の 3 つが考えられる。

表4 騒音の規制基準

区 別	昼間基準 (単位ホン)	夜間基準 (単位ホン)	
工業地域	70 (Am7°~Pm10°)	60 (Pm10°~Am7°)	
準工業地域および 商業地域	65 (Am7°~Pm8°)	55 (Pm10°~Am7°)	
住居地域	60 (Am8°~Pm10°)	50 (Pm8°~Am8°)	
工場適地	65 (Am7°~Pm10°)	55 (Pm10°~Am7°)	
その他の地域	60 (Am8°~Pm8°)	50 (Pm8°~Am8°)	(事業場の敷地境界線上地表1m)

表5 発生騒音の一例

	状 況	煙 突 上部60m (ホン)	煙 突 下部 (ホン)	北 東 約1.4km (ホン)	南 東 約2km (ホン)	排 風 機 仕 様
昼 間	暗騒音 排風機稼動	62 101	60 102	56~58 59~61	50.2 60.6	型式両吸込ターボファン 風量 11700m ³ /min 風圧-1400mmAq 回転数 1190rpm モーター 4000kW 排ガス 120°C 羽根20枚 基本周波数 397c/s
夜 間	暗騒音 排風機稼動 消音器取り付け後	— — 74	— — 87	48 54~59 47	54 53 49	

i) 排風機自体によるもの 衝撃音 渦流音

ii) 付属機器によるもの 電動機発生音 強
性給油装置音

iii) 管路によるもの 接続管部の音

実際に問題となるのは、排風機自体による衝撃音であり、その他の発生原因は、工場内部では問題となるが、工場周囲外ではほとんど問題とならない。

6.1.2 主排風機の発生騒音とその計算

主排風機の騒音は、型式や煙突高さなどの排出条件によっても異なるが、表5に発生騒音実測の一例を示す。

この場合、発生騒音は煙突近辺で約100ホンであり北東1.4km地点で夜間約10ホンの消音が必要である。

また実際の測定のほかに、計算値によつて騒音レベルの算定ができる。すなわち、排風機の騒音レベル(パワーレベル)は次式で求められる¹⁷⁾。

$$PWL = 40 + 10 \log_{10} Q + 20 \log_{10} P \quad (\text{db})$$

Q : 風量 (m³/min)

P : 圧力 (mmAq)

また排風機より発生する周波数は高範囲に広がっているが、基本周波数は回転数と羽根の枚数により決まる。

$$F = N \cdot Z / 60 \quad (\text{c/s})$$

N : 回転数 (rpm)

Z : 羽根枚数

6.1.3 消音設備について

前述の排風機の発生音は、排風機であれば必ず発生するものであり、そのため消音器の設置が必要である。

排風機発生音は無指向性球面波で伝搬されるものとするれば、音源のパワーレベルは次式で表わされる¹⁷⁾。

$$PWL = SPL + 20 \log_{10} r + 11 \quad (\text{db})$$

SPL : r mの距離までの音圧レベル

上式により距離による騒音の減衰量が計算されるので、消音必要場所の規制値および測定実測値から、必要な消音量を各周波数ごとに求めると、消音必要周波数特性が求められる。この場合、暗騒音以下に目標を設置することは無理であり、暗騒音が一応の目安となる。

消音必要特性から消音器の設計を行なうが、消音器は排ガス放出ダクトの中間に設けるため、消音効果のほか

i) 圧力損失の少ないこと

ii) 高温(100~200°C)に耐えること

iii) SO₂に対する腐食が少ないこと

iv) 機械的に丈夫なこと

などが必要である。一般には吸音、膨張、共鳴を組み合わせた消音器が使われている。この場合の消音器での減衰は次式で示される¹⁸⁾。

吸音形の効果

$$A = 10 \log_{10} S \cdot \bar{\alpha} / A \quad (\text{db})$$

S : 吸音材の内張面積 (m²)

$\bar{\alpha}$: 平均吸音率

A : 排風機の出口面積 (m²)

膨張形の効果

$$A = 10 \log_{10} [1 + 1/4 \{ (m - 1/m)^2 \sin^2 K l e \}] \quad (\text{db})$$

m : 膨張比=入口ダクト断面積/サイレンサー断面積

$l e$: サイレンサー長さ (m)

$K = 2\pi f / C$ f : 周波数 (cps) C : 音速 (m/sec)

共鳴形の効果

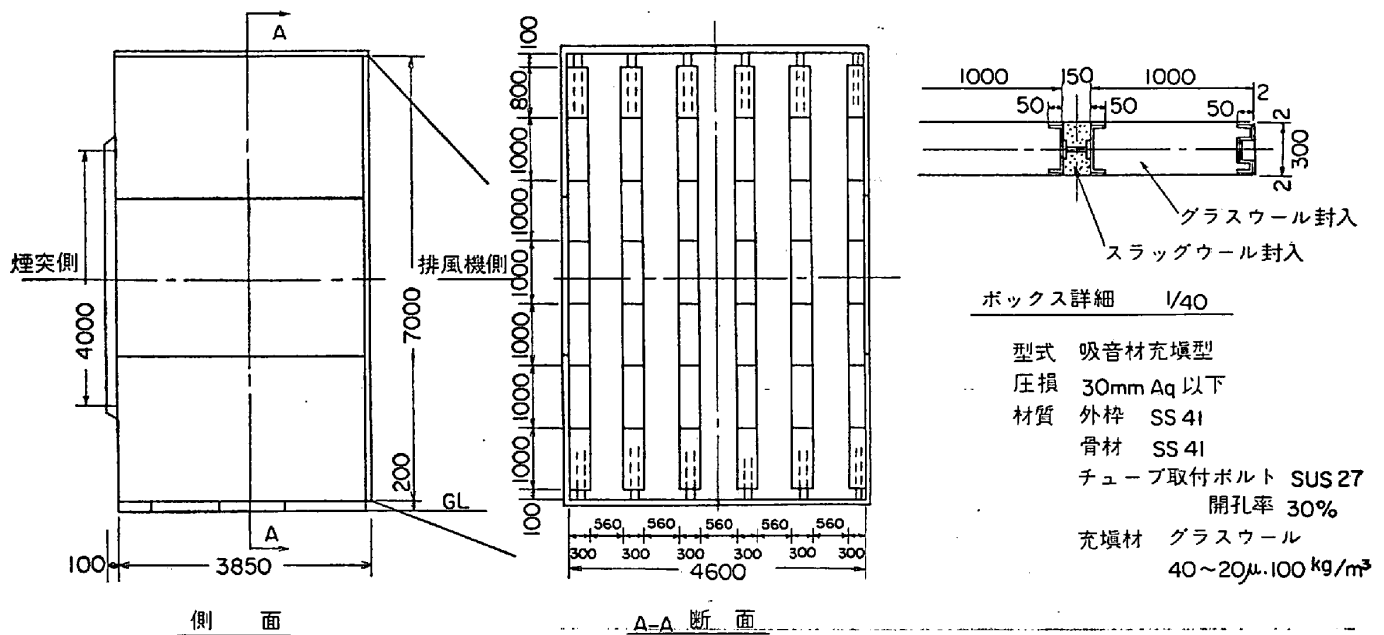


図35 消音器寸法図

$$Pr = C / 2\pi \sqrt{N \cdot G \cdot V} \text{ (cps)}$$

$$A = 10 \log_{10} [1 + \{ \sqrt{N \cdot G \cdot V} / 2S / (P/Pr - Pr/P) \}^2] \text{ (db)}$$

ここで $G = A(l + a \cdot r)$

A : 孔1個の面積 (cm²) N : 孔の数

r : 孔の半径 (cm) l : 板厚 (m)

S : ダクトの断面積 (cm²) a : 係数

V : 空洞容積 (cm³) C : 音速 (m/sec)

P : 音源周波数 (cps)

実際の消音器では、これらの効果が並列に加算される。
図 35 に実際の消音器の 1 例を示す。

6.1.4 騒音対策の将来

焼結工場的大型化に伴い近年主排風機もますます大型化しているが、排風機の騒音低下の基本としては、衝撃および渦流の少ない排風機を設計することである。衝撃音を小さくするためには、排ガスができるだけ円滑に流れるよう、ケーシングと羽根車間隔、吸込口ダクトとの角度など検討する必要がある。またダクト形状においても騒音発生の原因となりやすいから注意を要する。

しかしかには騒音値を低下するように設計しても、前述のように排風機には固有の騒音値、周波数特性がありいかんともしがたいものである。したがって立地条件においても異なるが、煙突から 1 km 近辺に民家のある場合は、必ず消音設備の取り付けが必要である。

騒音は当初述べたように、公害のうちでも割合人間が順応しやすいものではあるが、社会生活に与える影響は大きく、排風機的大型化に伴い、社会的な道義としても何らかの対策を考えるべきであろう。

6.2 SO₂ ガスの大気拡散

6.2.1 SO₂ ガスの発生と法的規制

産業の発達に伴い大気汚染が問題化しているが、特に SO₂ ガスによる人体への影響は大きく、四日市の例などから、公害の主体をなすものとして大きく問題化してきた。このため大気汚染の防止を計るため、昭和37年「ばい煙の排出の規制などに関する法律」が設けられ、各都市ともこれに基づいて公害防止条例などを設けて、SO₂ ガス排出の規制を行なっている。大阪府の場合、SO₂ ガス排出量の規制 0.22% 地上濃度 1.5ppm 3.93mg/m³ (事業場境界上) である¹⁰⁾。

焼結工場の場合、発生する SO₂ ガスは重油専焼ボイラなどに比べて低いが、工場の立地条件や製鉄所全体としての複合汚染を考えた場合、大型化が進んでいる現在、量的に問題となり、何らかの対策を考える必要がある。

6.2.2 焼結工場における SO₂ ガスの発生と対策

焼結工場での SO₂ ガスの発生源としては、次のものがある。

i) 配合原料中より発生するもの 粉鉱石、粉炭

ii) 点火炉燃料より発生するもの C.O.G 重油

焼結原料は特に S 分含有量の多いものが多く、良質の原料の少なくなっている現在、この傾向は増大するものと思われる。原料中の S 分の 95% は焼結反応により脱硫されるため、焼結機が大型化し使用原料が増大すれば問題となる。また最近 C.O.G に代わり重油が点火炉燃料として使用されており、この面からも増大が考えられる。

焼結場で発生する SO₂ ガスは、その原料条件により異なるが、普通 0.05~0.1% 程度である。したがって焼結工場の煙突そのものをみた場合、公害の規制に対し問題はないが、煙突の高さによつては他工場との複合汚染濃度が問題となる。

煙突より排出される SO_2 濃度が問題となつた場合 対策として次の方法が考えられる。

- i) 脱硫装置の取り付け
- ii) 相当高い煙突の建設
- iii) ジェット噴流装置の取り付け

脱硫装置の取り付けについては、実用的なものは少なく経済的にも問題があり、したがつて方法としては、大気拡散により煙突より排出された SO_2 ガスの地上への影響を弱める方法に限られ、煙突の高さの決定が問題となる。煙突の高さの決定のためには、大気拡散の状態を把握する必要があるが、一般には排煙上昇高さの計算式は Bosanquet 式^{注1)}大気拡散式は Sutton 式^{注2)}で計算より求められるが、算出には各係数の選定が問題であり、工場の立地条件、気象状態などを十分検討する必要がある。

注1) Bosanquet 式による排煙上昇高さの計算¹⁹⁾

$$\Delta h_{\max} = \{4.77 / (1 + 0.43U/V)\} (\sqrt{Q \cdot V} / U) + 6.37 g \times (Q \cdot \Delta T / U^3 \cdot T_1) (\log_e J^2 + 2/J - 2)$$

$$J = (U^2 / \sqrt{Q \cdot V}) (0.43 \sqrt{T_1} / (g \cdot d\theta/dZ) - 0.28V / g \times T_1 / \Delta T) + 1$$

$\Delta h_{\max}$: 排煙の最大上昇高さ (m)

T_1 : 排煙の密度が大気密度と等しくなる温度 ($^{\circ}\text{K}$)

ΔT : 煙突出口の排煙温度と T_1 との差 ($^{\circ}\text{C}$)

Q : 温度 T_1 における単位時間当たりの排煙量 (m^3/sec)

V : 煙突出口の排煙吐出速度 (m/sec)

U : 排煙の高さにおける平均風速 (m/sec)

g : 重力の加速度 (m/S^2)

$d\theta/dZ$: 鉛直方向の温度傾度 ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)

注2) Sutton 式による大気拡散の計算¹⁹⁾

i) 地上汚染濃度

$$X = \{2Q_m / (\pi \cdot C_y \cdot C_z \cdot u \cdot x^{2-n})\} e^{-\{h_e^2 / (C_z^2 \cdot x^{2-n})\}}$$

X : 煙突から x (m) の距離における地上濃度 (g/m^3)

Q_m : SO_2 の単位時間当たりの放出量 (g/sec) 15°C

C_y : 風に垂直な水平方向の拡散係数

C_z : 風に垂直な垂直方向の拡散係数

u : 平均風速 (地上から排煙高さまでの風速の積分平均) (m/sec)

n : 大気の渦係数

h_e : 有効煙突高度 (m)

$$h_e = H_0 + \Delta h_{\max} \cdot \alpha$$

H_0 : 地表からの実煙突高さ (m)

α : 有効高さ修正係数

ii) 最高地上濃度

$$P_{\max} = (0.235Q_m \times 10^6 / U h_e^2) (C_z / C_y) \times Kt$$

$P_{\max}$: SO_2 地上最高濃度 (ppm)

Kt : 1hr 平均値への換算係数

iii) 最高濃度地点の煙突よりの距離

$$X_{\max} = (h_e / C_z)^{2/2-n}$$

$X_{\max}$: 最高濃度地点の煙突よりの距離 (m)

6.3 粉 塵

6.3.1 粉塵の発生と法的規

焼結工場は微細な原料を使用するため、各所において発塵が非常に多く、大気汚染の面からも、環境衛生の面からも問題となり、近年防塵設備の設置が必須となつてきている。粉塵の発生については「ばい煙の排出の規制などに関する法律」により、各都市ともその排出量に対し公害防止条例などを設け規制を行なっている。大阪府の場合排出量 $1.0 \text{ g}/\text{Nm}^3$ 地上濃度 $5 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ (事業場境界上) である¹⁶⁾。焼結機が大型化すれば当然発塵量も増加するため、完全な集塵設備を計画する必要がある。

焼結工場で発生する粉塵は次のとおりである。

- i) 主排気中の粉塵 処理後 $0.1 \sim 0.26 \text{ g}/\text{Nm}^3$
- ii) クーラ排気中の粉塵 $0.15 \sim 0.24$ "
- iii) 焼結機排鉱部から発生する粉塵
- iv) 成品篩分関係から発生する粉塵
- v) 返鉱輸送設備関係から発生する粉塵

この内 i) による粉塵は、煙突より飛散し公害の対象となるものであり、また主排風機の寿命の面からも問題となる。ii)~v) は環境衛生に関するものであり、工場の操業上問題となる。

6.3.2 主排気中の粉塵とその処理

焼結機ウィンドボックスから吸引された排ガスは、一般にメインダクト→メインサイクロン→主排風機→煙突の経路で大気中に放出されるが、焼結機はグレートを使用しており、かなりの粗粒が排気中に含まれる。粗粒のほとんどはメインダクト通過中に重力沈降により除去され、サイクロン入口では普通 $2 \sim 5 \text{ g}/\text{Nm}^3$ のダスト濃度である。また粒度はサイクロン入口で -10μ 6% 以下、 $+100 \mu$ 10% 以上と比較的粗いため、集塵機としてのサイクロンの使用に適当な粒径である。サイクロンで分離できる粒径は、密度により異なるが約 5μ までである。サイクロンで分離された後の排ガス濃度は、実測では $0.26 \text{ g}/\text{Nm}^3$ 以下であり、粒度がわり粗いことからサイクロンにより十分除塵しており、公害の規制値に対しても排風機の保護の面からも問題となることはないが、大型化した場合、サイクロンを大型化および基数を増加して、処理風量、ダスト量の増大に対処する必要がある。

6.3.3 工場雰囲気集塵とその処理

焼結工場は特に発塵が多く作業環境の面から集塵設備の完備が必要であるが、発塵箇所広範囲に広がっているため、完全集塵は困難である。従来は乾式による集塵が主体であつたが、最近焼結機の大型化とともに、完全集塵の必要から湿式集塵機が使われるようになった。発生粉塵量は多いところでは $25 \text{ g}/\text{Nm}^3$ もあり、湿式集塵

機設置例では入口 40 g/Nm^3 のダスト濃度に対し、出口 0.03 g/Nm^3 まで下げえた。

しかし屋外のダスト濃度測定結果、湿式集塵機取り付け後も 3.3 mg/Nm^3 とかなりの浮遊ダストがあることが判明しており、まだ問題が残っている。

焼結機が大型化していつた場合、当然発生するダスト量も増大し、雰囲気ダスト濃度が増加するものと思われる。現在でも雰囲気集塵だけで 3 t/hr (4000 t/day 1 基) 捕集量があり、大型化につれてより完全な集塵設備を設ける必要がある。

6.3.4 焼結工場粉塵対策の将来

主排気ガスのダスト捕集については、サイクロン集塵機で現在十分捕集を行ない、公害の規制値である 1 g/Nm^3 に対して問題ないが、対象として考えた堺市の場合、昭和40年11月～41年3月までの測定平均値では、浮遊粉塵は 0.426 mg/m^3 となっており、大幅に増加してきており、将来規制も厳しくなるものと思われる。

焼結機が大型化した場合、排ガスダスト量も上昇し、また使用原料の粒度は低下の傾向をたどっており、原料の面からもダスト量の増加が考えられる。したがって、サイクロンの基数増加により、大型化の場合も十分対処できると思われるが、大気汚染の面から考慮し、将来は電気集塵設備の設置が必要になるものと思われる。

また雰囲気集塵については、湿式集塵機の採用により強化されてきているが、集塵箇所が広範囲に広がっているためまだ発塵が多い。したがって焼結機の大型化に伴って、環境衛生面からますます湿式集塵機が強化されていくものと思われる。

7. 結 言

戦後、焼結機は連続型の D・L 式が多く採用され、今日有効面積 280 m^2 のものが設計されつつあり、近い将来稼動に入るであろう。しかしながら、基本設計は外国メーカーの技術によるものである。やがて有効面積 400 m^2 以上のものも出現するであろうが、一日も早く完全に国産技術化が必要である。

280 m^2 までの大型焼結機の構造上には、いく多のむずかしい点があり、一応解決されているがさらに大型化する

には解決されねばならない問題が数々ある。一方、設備の保守が最も重要なことであり、稼動率を向上せしめる必要がある。

もう 1 つの重要なことは、焼結機の大型化とともに品質の変動を極力少なくする管理態勢強化が必要であると同時に、プロセスオートメーションの完成を急ぐ必要があり、また焼結機の大型化とともに、大量の排ガスの放出による粉塵、 SO_2 ガスの放出が増加するため、これらの対策強化も必要である。

文 献

- 1) Lungi 資料, Ore preparation and ore sintering, p. 1
- 2) 多木: 産業機械, 202 (1967), p. 13~18
- 3) 吉田, 他: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 272
- 4) G. BRANDES and H. RAUSCH: B.F., C.O. and R. Materials Committee, Proceedings, 18 (1959), p. 235
- 5) H. RAUSCH and F. CAPPEL: International Symposium on Agglomeration, April (1961)
- 6) 神戸製鋼技報, 第13巻2号
- 7) 杉本: 粉体工学, 3月号 (1964)
- 8) 〃: 日本機械学会関西支部第36期定時総会講演会原稿
- 9) G. BRANDES and H. WENDEBORN: Stahl u. Eisen, 77 (1957) 11, p. 693
- 10) 中条徳三郎編: 送風機と圧縮機, p. 47
- 11) 内丸: 送風機と圧縮機, p. 121
- 12) J. Metals, Control and Automation of the D.L Process
- 13) 石川島技報, 焼結プラントにおける自動制御
- 14) 自動制御連合講演会, 計算機を用いた焼結プロセスのサンプル値制御
- 15) 鉄鋼協会設備技術部会資料, 焼結の将来と傾向
- 16) 大阪府規則第87号, 大阪府事業場公害防止条例規準
- 17) 福田, 奥田: 機械の騒音と対策, 共立出版
- 18) 飯野: 防音装置の設計, 理工図書
- 19) 大阪府公害室: 大気汚染防止のための指導基準策定に関する調査研究報告
- 20) 鉄鋼海外市場調査委員会編 日本鉄鋼業の国際競争力の評価, 第2編, p. 50~52