

## 4. 新設, 改修高炉および附属設備

第7回より第18回の製鉄部会にいたる時期においては経済の高度成長にともない、鉄鋼業の設備拡張はいちぢるしいものがあつた。製鉄設備も飛躍的な伸長を見せ、高炉の大型化、フリースタANDING型あるいは鉄柱鉄皮式の出現、原料装入設備関係の自動制御化、熱風炉の大型化また熱風炉切替および燃焼制御の自動化また電気収塵器の大幅な採用などの技術的な発展とともに、送風設備に見られるように、従来のターボ・ブローから軸流式ブローの新規採用など、設備の合理化も盛んに行なわれてきた。この期間における新設高炉基数は14基、改修高炉基数は13基に達し、鉄鉄生産能力は基準能力を取り上げて、新設高炉では年間能力約600万t、改修高炉では年間能力約430万t（昭和37年上期現在）でわが国総出鉄量に占める割合はそれぞれ、約37%および約27%に達している。しかし昭和36年下期より国際収支の赤字による大幅な金融引締めの結果、設備投資の削減、景気の沈滞など経済基調の変化を受け、鉄鋼界も真向から不況の波をかぶり、新設設備の繰り延べ、または中止などが行なわれ、その後の設備の伸長は鈍っている。製鉄部会において発表された新設および改修高炉を第7回より第18回までまとめると表4.1のようになる。

### 4.1 高炉本体および配置

高炉々体の型式については、従来の鉄带式あるいは鉄皮式より脱してフリースタANDING型鉄皮式が大幅に

採用され、新設および改修高炉の約半数を占めるにいたつた。一方大型高炉に対しては、わが国独自の鉄柱鉄皮式が採用され従来の鉄皮式は改修高炉に多く見られるが約1/4で鉄帯式の炉はわずか1基しか見当らない。炉命延長の対策としても種々の改善がなされ耐火煉瓦については、炉底湯溜部にカーボン煉瓦が大幅に採用され、朝顔部にかけてもその使用が試みられてきた。また炉体の冷却も強化され特に炉胸部にはほとんどの炉が全体にわたって銅製または鋳鉄製の冷却板を採用している。

#### 4.1.1 溶鉄炉のプロフィール

溶鉄炉のプロフィールは吹製鉄種、装入原料の物理的、化学的性質ならびに操業方法によつて左右される。また溶鉄炉の出鉄能力は炉床径および炉内容積によつて大きく影響を受ける。過去における高炉のプロフィールの変遷を米国における U.S. Steel Corp. の高炉を例にとつてみると、19世紀後半では炉床径が小さい割合に朝顔部の高さが大きく、朝顔角度は比較的浅かつたが、20世紀に入り炉高および炉床径が徐々に大きくなり、朝顔部の高さは明らかに低くなつてきた。その後、朝顔角度も急傾斜となり炉腹径を余り大きくせず炉床径を大きくしている。最近にいたり炉床径が8m以上になるにおよんで朝顔部の高さは低くなり急傾斜の角度を持ち、炉腹径がいちぢるしく増大している。わが国における高炉のプロフィールも高炉操業技術、原料処理方法の発達に伴いほぼ

表 4.1 新設および改修高炉一覽表

No.	高 炉 名	新設又は改修の別	公称能力 (t/d)	炉内容積 (m <sup>3</sup> )	No.	高 炉 名	新設又は改修の別	公称能力 (t/d)	炉内容積 (m <sup>3</sup> )
1	富士 広畑 第1高炉	改修	1,300	1,273	15	富士 広畑 第3高炉	新設	1,500	1,515
2	富士 室蘭 第2高炉	改修	1,000	1,042	16	尼鉄 尼崎 第1高炉	改修	500	662
3	住金 小倉 第2高炉	改修	650	752	17	大阪 西島 第1高炉	新設	300	326
4	尼鉄 尼崎 第2高炉	新設	600	753	18	鋼管 川崎 第5高炉	改修	600	903
5	川鉄 千葉 第2高炉	新設	1,000	1,172	19	鋼管 鶴見 第1高炉	改修	1,000	1,143
6	富士 釜石 第1高炉	改修	1,000	1,018	20	富士 室蘭 第4高炉	新設	1,700	1,701
7	神鋼 神戸 第1高炉	新設	600	753	21	住金 和歌山 第1高炉	新設	1,200	1,350
8	八幡 戸畑 第1高炉	新設	1,500	1,603	22	八幡 洞岡 第4高炉	改修	1,300	1,279
9	鋼管 川崎 第2高炉	新設	1,000	1,137	23	川鉄 千葉 第4高炉	新設	1,500	1,689
10	中山 船町 第2高炉	改修	550	698	24	富士 釜石 第2高炉	改修	1,600	1,610
11	鋼管 川崎 第3高炉	改修	600	965	25	神鋼 神戸 第2高炉	新設	1,000	1,243
12	川鉄 千葉 第3高炉	新設	1,500	1,689	26	八幡 戸畑 第3高炉	新設	1,900	1,947
13	富士 室蘭 第1高炉	改修	1,000	1,042	27	川鉄 千葉 第1高炉	改修	900	913
14	八幡 戸畑 第2高炉	新設	1,500	1,657					

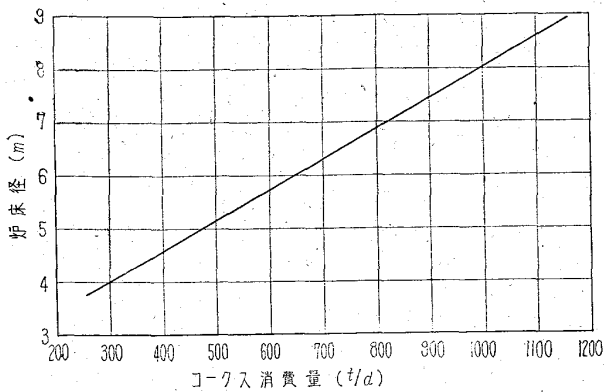


図 4.1 高炉のコークス消費量と炉床径との関係 (O. R. RICE)

同じような傾向をたどってきている。

新しい高炉を建設する場合, 炉の生産能力の標準となるものはコークスの燃焼率であるということは G. HEY-NERT, O. R. RICE らが言明しており, O. R. RICE は, 高炉の炉床径と 1日当りのコークス消費量との関係を図 4.1 のように示している, ここでコークスの燃焼は, 羽口先 6 ft 幅の環状帯に限定されると考えており, 環状帯の面積は炉床径に比例するので, 図のような関係が出てくる. O. R. RICE は, この環状帯 1 m<sup>2</sup> 当たり 1日のコークス燃焼量を実績から 30 t/753 と推定している。

炉床径を基準にして種々の炉のプロフィルの算定を行なうことができるが, O. R. RICE は炉口面積は炉床環状面積とはほぼ同じであるべきだと提案している. わが国における代表的な大型炉についてこれらの関係を図 4.2 に示す. 図中の曲線は炉口面積と炉床環状面積とが等しい関係を表わしている。

なお高炉のプロフィル形式については, M. A. PAVLOFF および A. N. RAMM が炉高, 炉床径, 炉腹径および炉口径と, 実効内容積 (羽口面とストックライン間の内容

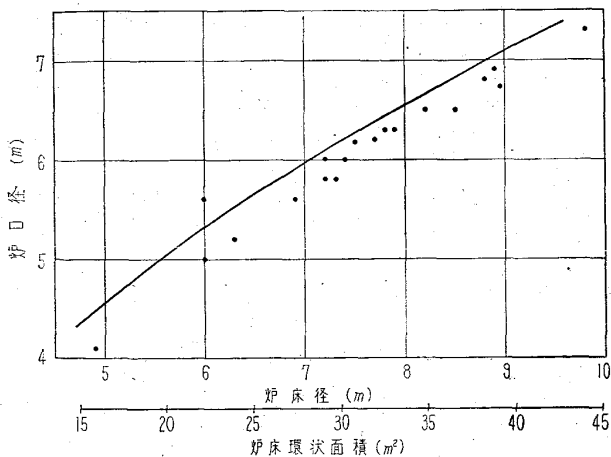


図 4.2 わが国の代表的な高炉の炉床径, 炉床環状面積と炉口径との関係

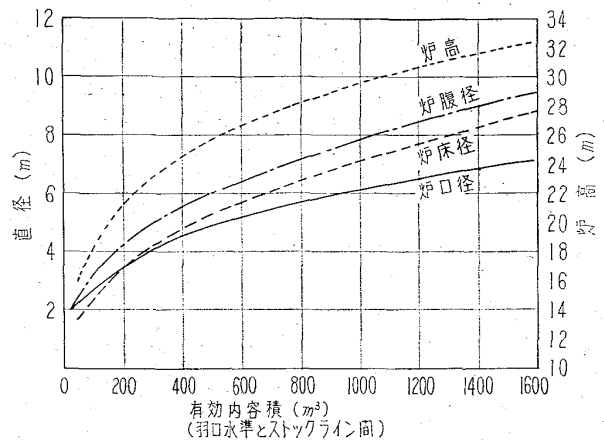


図 4.3 高炉の有効内容積と各部寸法との関係 (M. A. PAVLOFF and A. N. RAMM)

積) との関係を図 4.3 に示すように表わしている. また実効内容積と炉床面積との比で表わす方法もあり, わが国では 22 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>~24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> となっており, 諸外国の例に比べやや低い値を示している. (ソ連 23 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>~28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> 米国 23 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>~27 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)

(1) 炉床径

炉床径は, 高炉の出銑能力を決定する上に重要な因子となるものである。

O. R. RICE は, 次の式を示している。

$$\begin{aligned} \text{コークス標準消費量} &= 30 \cdot 753 \times 5 \cdot 749 (D - 2 \cdot 13) \\ &= 177 (D - 2 \cdot 13) \text{ (t-コークス/d)} \end{aligned}$$

ただし, D; 炉床径 (m).

この式には, 炉床環状面積が含まれており, この面積は, 次のとおりである。

$$F = \pi \cdot \delta \cdot 2S \quad \text{ここで } S = D/2 - \delta/2 - f$$

$$\text{ゆえに } F = \pi \cdot \delta (D - \delta - 2f)$$

ただし D: 炉床径 (m)

F: 炉床環状面積 (m<sup>2</sup>)

δ: 環状帯の幅 (m)

f: 羽口突出長さ (m)

この式に δ=1.83 m (6 ft) とし f=0.15m とすると,

$$F = 5,749 (D - 2 \cdot 13) \text{ m}^2$$

となる。

この式にわが国の主要高炉の炉床径の値を挿入して, 1日当りのコークス消費量を算出してみると, 炉床径 8 m以上の炉については, 実際値で約 10% 高い値を示している. それ以下の炉については, 逆に実際値が低くなっている. この場合, 重油などの燃料吹き込みの影響は除いて考慮されている。

また M. A. PAVLOFF の式によれば

$$D = \sqrt{4C/\pi R}$$

ただし D : 炉床径 (m)

c : 1 日当りのコークス消費量 (t/d)

R : 1 日, 炉床面積  $1 \text{ m}^2$  当り, 燃焼する  
コークス消費量 (t/d)

式中の R 値を, わが国の大型高炉 (1,000 t/d 以上) に求めてみると, 約  $20 \text{ t/d/m}^2$  の高い値を示めし, それ以下の中型炉では約  $17 \text{ t/d/m}^2$  の値を示している。

湯溜高さは, 1 回の出鉄量および鉍滓の一部を溜めるに足りる容量が必要である。米国においては, 1 回出鉄量の 3 倍の容積を取る例もある。わが国での最近の傾向としては, この高さが大きくなりつつある。

## (2) 炉 高

高炉の出鉄能力, すなわち炉容の増大にともない, 当然, 炉高も高くなるが, 最近の傾向としては, 大型炉になるに従い炉容の増大に対し横方向の拡がりが目立ち, 高さの増加割合はやや落ちてきている。

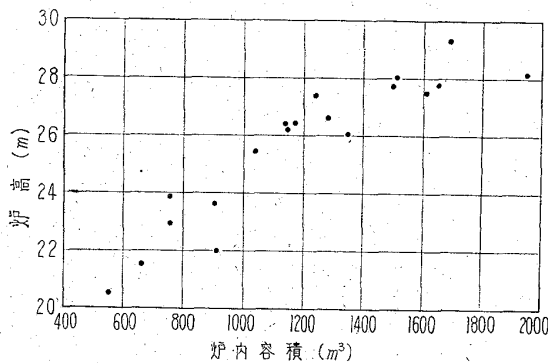


図 4.4 最近における代表的な新設および改修高炉の炉内容積と炉高との関係

図 4.4 に最近の代表的な新設および改修高炉の内容積と高さとの関係を示す。

## (3) 朝顔部の高さならびに傾斜

内容積約  $600 \text{ m}^3$  以下の小型炉を除いて主要高炉の朝顔部高さは  $3.2 \text{ m} \sim 3.5 \text{ m}$  で炉高に対する比率は  $0.11 \sim 0.13$  の値を示し, 低くなる傾向を示している。また朝顔部の傾斜は急になりほとんどの炉が  $81 \sim 82^\circ$  でこの範囲外の炉は数少ない。これらのことは装入原料の管理が強化され, 炉の出鉄能力の増大に伴い必然的にラピッドワーキングに適した炉型が採用された結果と思われる。

## (4) 炉腹径および高さ

最近の大型炉では炉腹径/炉床径の値は  $1.1$  前後である。また炉高/炉腹径の値は約  $2.8 \sim 3.2$  の間を示し, 諸外国と同じ漸次低下の傾向を示している。すなわち高さより横に拡がる傾向がよく現われている。出鉄能力  $1,000 \text{ t/d}$  以上の炉では炉腹部の高さは  $2.5 \sim 3.0 \text{ m}$  となっている。

## (5) 炉口径および炉胸部高さ

炉口径については O. R. Rice は炉口面積が前述の炉床環状面積とほぼ同じであるような値をとるべきだと主張している。わが国の代表的な大型炉では炉口面積は炉床環状面積より約  $5 \sim 10 \%$  低い値を示しているが, この傾向は米国およびソ連の大型炉の傾向とやや似ている。すなわち  $1 \text{ m}^3$  当りの出鉄能力の増大にもかかわらず最近のコークス比の低下は著しく炉頂ガス発生量もこれと同じような傾向で減少している。炉胸部の高さは特に装入物の粒度, コークスの強度などから炉内ガス流の分布を充分考慮して決定されるべきであり, ガスが炉壁に沿って上昇する場合, 煉瓦の摩耗が問題となる。したがって炉胸内壁の傾斜角も同時に問題となる。傾斜角は最近の炉では約  $84 \sim 86^\circ$  という値をとっている。

高炉プロフィールの形状は下降して行く装入物と上昇するガスの向流動作が支障なく行なわれるよう, 現在までの経験を基にして最も合理的な線で決めるべきであることは論をまたない。特に近時燃料吹込み, 酸素富化送風などが再び注目され, また高圧操業も実際に採り入れられてきている時, プロフィールに対する考察を一層深く進めることは高炉の出鉄効率上昇にとって重要である。

## 4.1.2 高炉の基礎

高炉の基礎型式は建設地の地質状況 (地耐力) によって決定されるが, 近時, 高炉の大型化, ならびに土木技術の発達に伴って種々の工法が採用されてきている。従来, ペDESTAL式によるものが多かったが, その後, ウェル工法が着目され, 最近の新設高炉の基礎には, これが大幅に採用されている。大形鋼管ならびに形鋼の製造技術が開発されるにつれ, これを利用した基礎型式としてベノート抗工法, H抗工法が採り入れられた。最近新設された高炉で, ペDESTAL式による基礎型式としては尼鉄第 2 高炉, 大阪西島第 1 高炉などがあり, ウェル工法では八幡戸畑第 1 高炉, 第 2 高炉, 川鉄千葉第 2 高炉, 第 3 高炉, 第 4 高炉, などニューマチックケーソン工法としては神鋼神戸第 1 高炉, 第 2 高炉, 住金と歌山第 1 高炉などが挙げられる。これらの工法の利害得失の比較については, 立地条件, 経済性, 工期などから種々問題があり明白な結論は出ていないようである。

新工法のベノート抗工法については, 富士釜石第 2 高炉の基礎を例にあげて説明すると, これは掘削管 (ケーシングパイプ) 1 本の長さ  $6 \text{ m}$  口径  $1 \text{ m}$  のものを土中に回転圧入して, 岩盤の中にパイプが喰込むまで土砂を外部にくみ上げながら, 次から次へとパイプを接続して

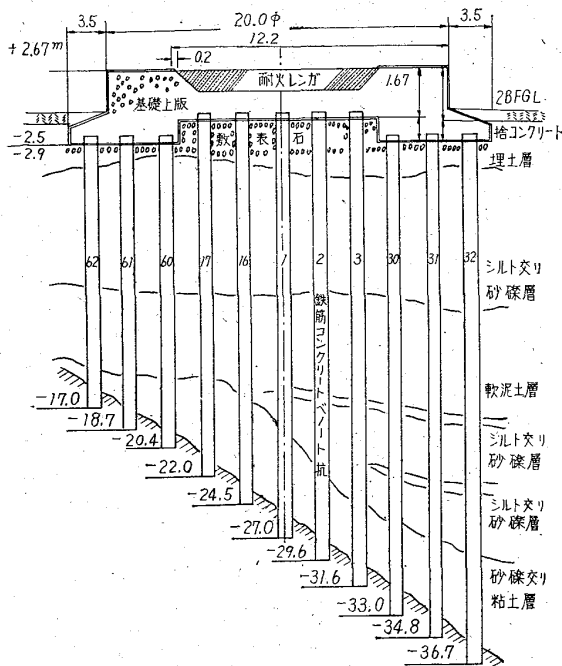


図 4.5 ベノート抗工法基礎断面図

所定の深さまで掘削し, その後鉄筋(上部のみ), 砂利, モルタルを注入し, パイプを抜いて抗を完成する. ベノート抗は89本打ち, その上に基礎土盤を乗せている図(4.5)ただベノート抗は湧水箇所および地盤疎部に対してはモルタル注入の必要があり, 伏流水の流速 6 mm/s 以上になるとモルタルが流され, 注入が困難となる.

新設高炉では炉底の温度上昇によるコンクリートの脆化を防ぐため, 基礎上部にパイプを通し空冷したりまたは定盤の下部に水を流して冷却するなど種々の工夫がなされている. また基礎上部に凹部を設けて, この部分に耐火煉瓦を積み, できる限りコンクリート部分が高温にさらされないよう構築されている.

#### 4.1.3 炉体鉄皮および本柱

高炉の炉容の増大, 捲揚装入回数の増加に伴ない, 捲揚装置, 炉頂装入装置などを4本柱で支持する方式が多く採用され, 炉体鉄皮で炉頂構造物を支持するいわゆる米国式は順次廃止されつつある.

4本柱はラーメン構造と, トラス構造とがあり, 新設高炉では前者が大半を占めている.

炉体の鉄皮構造は炉腹部より上部の鉄皮, 煉瓦積を支柱で支持する方式と, 4本柱のリングガーダーで支持する方式, さらにこれらの支持方式のないフリースタANDING方式とに分かれるが, 鉄皮はいずれも溶接組立が主体をなし, 炉胸部および炉腹部には開放型あるいは密閉型の冷却板が全体にわたり, 挿入され, 煉瓦積の冷却

ならびに支持に役立っている. 炉胸部における鉄皮の厚さは 20~30 mm に達している.

朝顔部の鉄皮はフリースタANDING式では40~50mmと相当厚い鉄皮が使用されているが, 炉腹部より上部を支持する方式ではいわゆる朝顔マンテルの鉄板は比較的薄くなっている. 冷却方法としては炉胸部と同じく冷却板を挿入する方法と撒水方式とがあるが, フリースタANDING式は鉄皮の強度上冷却板挿入方式をとることが難しい. いずれにせよ朝顔部の冷却方式には未だ決定的なものがない.

炉底部の鉄皮は45~60mmの厚板が使用され, 大部分は電気溶接構造となつている. 冷却方式はほとんどが表面散水によつており, ジャケット方式のものは見られない. 出銑口周囲には銅製の密閉型冷却板を挿入して冷却しているものと, ジャケット式の冷却装置を設けたもの, あるいはこれらを全く欠くものと種々あるが, 大型炉においては大半冷却装置を有している.

羽口マンテルについては銅製密閉型冷却板を挿入して冷却しているものと, ただ表面散水方式により冷却しているものと2つの方法が見られる. 冷却水は水量, コストの面から海水を使用している炉が多い. 淡水使用炉で部分的に循環使用しているのみである.

送風羽口の数は炉内容積約 700 m<sup>3</sup> の炉で14本, 約 1,000 m<sup>3</sup> の炉で16本, 約 1,600~1,700 m<sup>3</sup> の炉で18~20本, となつており, 羽口径は 150 mmφ を主とし, 一部では楕円形羽口を使用している炉もある. 材質は純銅鑄物で, 送風羽口の個数は M. A. PAVLOFF の式によれば  $n=2D+1$  (D: 炉床径(m)) である. この式は通常操業の高炉に適用され, 高圧操業の炉に対しては羽口数  $n=2D$  の式が示されている. わが国の高炉の場合, ほとんどこの式に当てはまつている. 高炉の重油, コークス炉ガスなどの燃料吹込みに伴ない, 吹込用ノズルを有する羽口も使用されている.

#### 4.1.4 炉体煉瓦積

高炉の炉容の増大, 冷却方法の改善などとあいまつて炉体の煉瓦積についても種々の改良がなされ, カーボン煉瓦の採用, シャモット煉瓦の品質向上に伴ない, 炉壁の厚さも可能な限り薄くしようという傾向が出ている. 一方 Co<sup>60</sup> などの放射性同位元素を利用し炉内煉瓦積の摩耗状況を監視するなど煉瓦積に対しては多大な関心が払われている.

炉床部の煉瓦積には最近の炉ではほとんどカーボン煉瓦を採用し, 炉底ならびに湯溜外周部に使用されてい

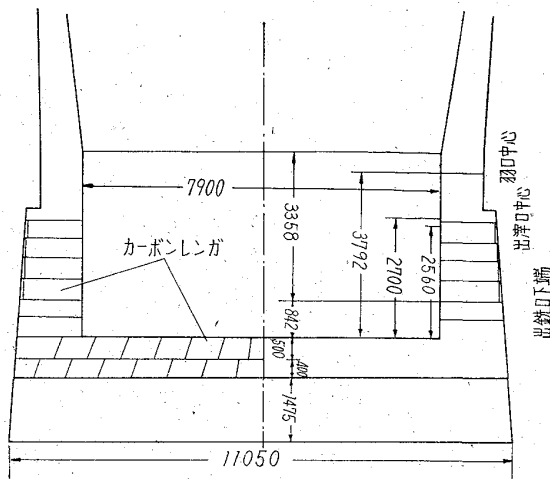


図 4.6 炉底のカーボンレンガ

る。八幡洞岡第 4 高炉の炉底カーボン煉瓦使用状況を图示すると図 4.6 のごとくである。

炉底下部にはシャモット煉瓦を使用している。出鉄口出滓口ならびに羽口廻りには大型異形煉瓦を使用し、煉瓦積作業の迅速化を計り切付による煉瓦の劣弱化を防止している。

炉床部の煉瓦積の摩耗に対しては各所とも重大な関心を払い、 $Co^{60}$  などの放射性同位元素を炉底ならびに湯溜部の煉瓦積の各所に埋込み、外部より  $\gamma$  線の強度を測定している。例えば  $Co^{60}$  の場合、溶融点は  $1,490^{\circ}C$  で半減期 5.3 年、1.1 mev および 1.3 mev の  $\gamma$  線を放射し、鉄と容易に合金を作る。したがって煉瓦の損傷により  $Co^{60}$  が生成銑鉄とともに炉外に流出すれば、銑鉄中の放射能検出、または埋込み箇所における放射能の変化を外から測定して煉瓦の摩耗を知ることができる。

朝顔部および炉腹部の煉瓦積については、カーボン煉瓦の使用も試みられているが多くは比較的高級なシャモット煉瓦を使用し、煉瓦の原料は主に米国より輸入した高アルミナのシャモットを使用し国内で焼成したものを使用している。煉瓦積を保護するために密閉型冷却板を挿入したりまたは表面撒水方式によつて冷却を行なっている。炉胸部の煉瓦積は最近の炉ではほとんど全体にわたり開放型あるいは密閉型の冷却板を挿入し、煉瓦の冷却ならびに脱落防止を計つており、炉胸下部においては朝顔部および炉腹部と同様なシャモット煉瓦を使用している炉が多く、炉胸上部はこれに比しやや品質の劣る国内産原料によるシャモット煉瓦を使用している。

炉体各部に使用されている耐火煉瓦の物理的・化学的性状を例を挙げて次に示す。

(1) カーボン煉瓦

カーボン煉瓦は炉床部のみならず朝顔ならびに炉腹部

にも将来使用範囲が拡大されることと思われるが、装入物の化学的および物理的な浸食に対し非常に強い抵抗力を持っている。また耐圧強度は温度変化に対し極めて安定性があり熱膨張係数は非常に小さく、熱伝導率は温度の上昇とともに減少している。反面、カーボン煉瓦は  $O_2$ ,  $CO_2$ , 水蒸気による酸化に対しては抵抗力は弱い。したがってカーボン煉瓦の厚さは比較的薄くできるが、空気や水の侵入は避けねばならない。次にその使用例を示す。

富士室蘭第 2 高炉 日本電極綑製

使用原料 焙焼特殊製 無煙炭 黒鉛 ピッチ タール  
司 コークス

配合割合 57% 5% 20% 14.5% 3.5%

尼鉄第 2 高炉 カーボン煉瓦性状

水分 %	揮発分 %	灰分 %	固定炭素 %	見掛比重	真比重	気孔率 %	抗圧力 $kg/cm^2$
0.10	0.72	2.98	96.20	1.636	1.983	17.5	425
温度 $^{\circ}C$	100	200	300			100~400	
	~200	~300	~400				
熱膨張数	L 5.03	5.46	5.73	5.41			加圧方向
	R1 4.69	5.08	5.50	5.09			加圧直角方向
	R2 4.13	4.75	5.14	4.67			

(2) シャモット煉瓦

シャモット煉瓦はカオリン鉱物を主体とする含水珪酸アルミニウム質耐火原料を使用している。最近高炉使用シャモット煉瓦の粘土質原料として米国よりフロントクレーが輸入されわが国において混練焼成されている。フロントクレーは 2 次生成硬質粘土であるが、可塑性が少なく微粉碎する必要がある。粘土質原料は一般に乾燥収縮、焼成収縮が大きいので亀裂を生じたり、寸法型状が不正確になるので一度焼成した後、これに軟質粘土、特に可塑性のある粘土を混合して使用する必要がある。次にその使用例を示す。

富士・室蘭第 2 高炉

使用箇所	炉底 (3S)	炉底下部 (S)	炉腹 (As)	湯溜、朝顔およびシャフト下部 (A)	シャフト上部 (B)
フロントクレー焼	55%	65%	30%	30%	
シリマナイト焼	10%				15%
ロー・フロントクレー焼	35%	30%	60%	65%	
ソフト・フロントクレー焼		5%		5%	
シリマナイト	—	—	10%	—	—
岩手硬質粘土焼	—	—	—	—	60%
尾張水簸焼	—	—	—	—	15%
岩手 A 粘土	—	—	—	—	—
磐城水簸粘土	—	—	—	—	10%

## 尼鉄第2高炉

使用箇所	出 銑 口 出 滓 口 付 近	朝 顔, 炉 腹 部 シ ャ フ ト 部			シ ャ フ ト 中 央 部	炉 底 部 下 積		炉 頂 お よ び シ ャ フ ト 上 部	
Ig. loss %	0.30	0.32	0.31	0.28	0.24	0.18	0.32	0.24	0.24
SiO <sub>2</sub> %	52.88	52.02	53.27	54.31	54.50	54.41	54.59	54.82	55.88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	2.45	2.50	2.56	2.57	2.68	2.88	2.96	2.55	2.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	43.32	43.84	42.82	41.39	41.20	41.28	40.97	40.64	39.65
CaO %	0.22	0.05	0.42	0.35	0.41	0.47	0.25	0.42	0.33
MgO %	0.27	0.50	0.18	0.22	0.50	0.43	0.31	0.39	0.29
MnO %	Tr	Tr	Tr	Tr	0.23	Tr	Tr	0.23	Tr
耐火度 S.K	33	33	—	33	33	33	—	32	—
吸水率 %	7.46	7.47	—	7.20	6.88	7.30	—	6.79	—
気孔率 %	16.2	16.5	—	15.6	15.0	15.8	—	14.7	—
嵩比率 %	2.16	2.18	—	2.19	2.18	2.18	—	2.18	—
見掛比重	2.55	2.60	—	2.60	2.57	2.58	—	2.55	—
耐火強度 kg/cm <sup>2</sup>	442	478	—	573	615	580	—	618	—

## 4.2 巻揚装入装置

高炉内における装入物の分布を良好なものとすることは炉内におけるガス流を均一にし、炉況を安定させる上に極めて重要である。従来炉頂装入装置についてはわが国の高炉ではバケット式によるシングルベル、分配装置付による方法とダブルベル、旋回ホッパー方式すなわちマッキー式装入装置による方法との2つに大別されている。

最近の新設高炉では炉容の増大に伴ない、装入鉄石量、および装入速度の増加が要求され、自動装入制御方式の発達とあいまつて必然的にスキップによる斜塔巻揚方式が多く採用され、バケット方式による巻揚装置に新設高炉では皆無で従来の中小型炉にその型式を留めている。さらに立地条件によつて高炉と貯鉄槽の関係位置が制約をうける所ではベルトコンベヤー方式による巻揚装置を採用し設備費の軽減、巻揚速度のスピード化を計っている。

巻揚装置のこのような変遷に伴ない炉頂装入装置はスキップ方式でダブルベル方式のマッキー式旋回装入装置、またベルトコンベヤー方式ではそれぞれ独自の旋回装入装置を採用している。

## 4.2.1 巻揚装置

## (1) 斜塔スキップ式巻揚装置

この装置は鋼製の傾斜塔の軌道上を2台のスキップ(鋼製の箱車)が交互に昇降し、炉頂で反転して貯鉄槽から切出して塔載してきた装入鉄石またはコークスを装入ホッパーに入れるようになっている。スキップの昇

降はワイヤーロープで巻揚機により運転される。

貯鉄槽のピットと高炉々頂との間に架設される傾斜塔の傾斜角度は55~57°位が普通である。構造はワーレン型トラス構造、ワーレン型ラチス構造およびプレートガーダー構造などの型式がとられている。

スキップ容量は高炉の出銑能力により左右されるが全般に大きくなる傾向があり、炉内容積約700m<sup>3</sup>の炉では6~8m<sup>3</sup>約1,000m<sup>3</sup>の炉では10~12m<sup>3</sup>、1,600m<sup>3</sup>以上の大型炉では約16m<sup>3</sup>を採用している。

スキップの昇降に使用される巻揚機は長期間ほぼ連続的に重荷重で運転される故、保守が容易で故障が少なくまた大容量のものが要求される。型式としては単胴型または複胴型で主巻直流電動機2台による同時駆動方式を採用しているのが多い。出銑能力1,000t/d以上の大型炉では使用している主巻電動機の容量は200~250kWとなつている。高炉の出銑能力の増大傾向に備えてスキップの巻揚速度も余裕を見て大きくとつており、八幡戸畑第3高炉ではスキップの最大巻揚速度は、120m/mnに達している。巻揚機は速度制御には制御範囲が広く電力損失の少ないワードレオナード方式が多く使用され、炉頂装入装置および貯鉄槽、貯鉄槽の切り出し装置とともに自動制御運転されている。ただこの方式では主巻直流電動機に直流を供給するため、別に直流発電機およびこれを駆動するための三相誘導電動機、さらに直流発電機用の励磁機など設備費が膨大となるため、中小型炉では巻揚機に交流電動機を使用しているものもある。

尼鉄第1高炉のスキップ巻揚機は主巻電動機に160kW三相誘導機と主巻電動機制御用に95kW交流制動機を使用している。従来交流電動機は速度制御は直流電動機

に比し困難であり、容量的にも制約をうけた。ここに採用された交流ブレーキ制御方式の特色を述べると次のごとくである。すなわち交流誘動電動機の起動によりギヤを介してドラムが回転し同時にパイロット発電機が発電し電圧を発生する。これと基準速度指令電圧（基準速度指令用抵抗器のスライド電圧）を初段磁気増幅器の制御コイルを通して突合せ両者間の偏差があれば初段磁気増幅器がこれを増幅し、次に次段磁気増幅器で再び増幅し5kW励磁機の界磁を励磁し、95kW交流制動機の界磁電流を増減して制動力を加減し、電圧負荷の変動に対するスキップの速度変動を微少にする仕組となつてゐる。

この方式の利点としては低高速の設定が容易であるため装入行程における時間を延長あるいは短縮する場合、他の制御機構よりも非常に楽にこれを調整することができる。また主電動機および交流制動機に付与する電流付与時間の調整が容易である。欠点としては交流制動機の容量が比較的大となり捲揚機据付場所が余分に広くなる。また交流制動機であるため余り電動機の容量を大にすることは多少難点がある。

住金小倉第1高炉では同じく交流電源をスキップの捲揚動力に使用しているが、これは主捲誘導電動機リアクターを使用して自動運転を行なつてゐる。従来誘導電動機の欠点としては2次抵抗による速度制御を行なつた場合、負荷回転力の変化による速度変動率が大きく、無負荷の場合は機械制動機を併用しなければ低速運転ができないことおよび負の回転力の場合、同期速度以下では運転できないことである。リアクトルコントロール方式を採用した場合の利点は次のようにいわれている。

- a) 必要に応じて制御段数を幾らでも取り得るので微細なコントロールが可能である。
- b) 制御把手のあるノッチに対して電動機負荷の大・小、正・負、に拘わらずほとんど一定速度で運転する。
- c) 負荷回転力の正負による電動運転へある制動運動から移行するのに回路の切替を要せず自動的連続的に行なえる。
- d) 制御量の損失が少なく電力料が安価である。
- e) 従来のものに比べ設備料が安く保守が簡単に行なえる。また危険率が低い。

## (2) ベルトコンベヤ式捲揚装置

貯鉄場その他高炉周辺の工場設備の関係から貯鉄槽を高炉の近傍に置くことが困難な場合、また工場内敷地の起伏を利用し整地作業費を削減し貯鉄槽ならびに高炉設備が建設可能な場合には設備費が僅かですみ、自動運

転制御装置も簡単になり非常に有利な原料搬送装置である。

代表的な例として大阪西島第1高炉のベルトコンベヤ方式を取り上げてみると、貯鉄槽、貯鉄槽における原料切出し設備から炉頂装入装置まで自動運転制御されている。貯鉄槽または貯鉄槽から切出された装入原料は2条の傾斜装入ベルトコンベヤで炉頂装入装置の巡回シュート内へ装入され、さらに原料はこのシュートから上ベルホッパー内に連続的にかつ均一に装入される。装入コンベヤの駆動には50kWの全閉籠型電動機を使用し、流体接手および自動逆転防止装置を取付けている。運転方式には自動、連動および単独運転の3方式があり、自動運転とはあらかじめ決められた装入スケジュールに従つてサウンジング装置よりの信号により原料切出、装入サウンジングの動作を全て自動的に行なうものである。連動運転はこの自動運転のうち装入開始をサウンジング装置よりの信号によらず連動押釦によりチャージの装入を行なうものである。単独運転は個々の動作をそれぞれの押釦により別個に運転するものである。

## (3) バケット式捲揚装置

この装置は従来中小型炉に多く見られ最近の新設高炉ではこの方式をとるものは無い。バケット式では傾斜塔もしくは垂直水平塔により装入車でバケットを吊し地上の秤量車またはターンテーブルから炉頂に捲揚げてバケットと装入物の自重によりバケット下部が開き、炉頂の装入ベルを押開いて装入する方法である。

バケット式では傾斜塔式、垂直水平塔式に拘わらず平衡錘を設けることにより、捲揚機の動力を節約できる装入車があるためスキップ式に比べ鉄骨構造を頑丈にする必要がある。また装入車によるバケット移動時の振動防止の点から装入速度に限度があり、またスキップ式のように往復とも装入に利用することが、不可能で炉頂からの帰還時は装入ロスとなる。地上で装入原料をバケットに入れる際にはターンテーブルでバケットを回転させ、均一に分布さす必要がある。その代わり炉頂における装入装置が簡単となり、巡回ホッパーは設ける必要がなくこの点設備費補修費の節約となる。

バケット式を採用した場合の炉頂装入装置としてはシングルベル方式またはダブルベル方式がある。

捲揚機はスキップ式と同じく主捲電動機に直流を使用し、ワードレオナード方式による速度制御を行ない、自動運転制御を行なつてゐる。

## 4.2.2 炉頂装入装置

炉頂装入装置は種々の方法があるがいずれも捲揚げられた装入原料を炉内に均一に分配するとともに炉頂装入

口からのガスの漏洩防止をはかっている。

代表的な例としてはマッキー式旋回装入装置があるが、これは傾斜塔スキップ式捲揚装置に付属する装置で2重ベル式となつている。この装置の特色は上下2つのホッパーを有し、上部のいわゆる小ベルホッパーがスキップからの装入原料を受けた後電動機により旋回するようになっていゝ。旋回角度は装入スケジュールに従つて種々選択ができ、また一定の周期に従つて変化させることもできる。下部のいわゆる大ベルホッパーは小ベルホッパーで受けた装入物を1ないし数回分まとめて炉内に装入する役目を果たすとともに大ベルによつて炉内ガスの漏洩をも防止している。通常小ベルホッパーから2回装入されて大ベルが1回開き炉内に装入物が装入される。そして大ベル2回開くことにより、1チャージ分が装入される。

マッキー式装入装置では旋回ホッパーの回転部分のガス漏洩防止が重要視され大半のものがグリースシール式を採用している。また一部では水封式のものも見られる。この装置に付属している大小ベルの開閉には電動クランク式とエヤシリンダー式の2種の開閉機が主に使用されている。前者は捲揚機室に設置された電動式クランクと炉頂のベルレバーを通して大小2つのベルをそれぞれ2本のワイヤーロープで連絡し、クランクの回転に伴つてベルが開閉する構造となつている。後者は捲揚機室のエヤシリンダーと炉頂のベルレバーを通して大小ベルをワイヤーロープで連結しエヤシリンダー内のピストンの上下により作動する方式である。しかし空気圧式であるため、幾分閉止時の衝撃がクランク式に比べて緩和される。

捲揚装置がバケット式の場合には前述のように炉頂装入装置としてはバケット内の装入物の自重によりバケットの底蓋が開くと同時に炉頂のベルを押し開き装入物を炉内に装入する方式をとつており、この場合炉頂のベルはカウンターウエイトにより閉止動作を行なうようになつている。また炉頂ベルの大きさを小さくし、炉内における装入物の分布を均一にするためディストリビューターを装置しているものもある。

ベルトコンベアーにより装入物が炉頂に捲揚げられる方式では、旋回シュートを備えた方式また2重ベル式で旋回ホッパーを備えた方式などが考えられている。わが国の例では前者が挙げられ、これは旋回シュートを備えて装入物がこれより固定ホッパーの小ベルの上に均一に分配装入し、1スキップ分に相当する量の原料を装入し終れば、小ベルを開閉し、大ベルホッパーに装入してい

る。大ベルは小ベルホッパー2回分を装入し終れば1回開閉し炉内に装入し、大ベルホッパー2回分の装入物量が1チャージに相当する。この方式ではマッキー式のように小ベルと小ベルホッパーを旋回させないので旋回部分にガス漏洩防止装置が不要となり設備が簡略化される。また大小ベルの開閉はロッドを介してバランスレバーおよびクランクに連結し電動により行なつている。後者の方法はマッキー式と同じく旋回ホッパーを有し固定シュートより落下した装入物がこの中に均一に分配された後、上ベルおよびガスシール用の下ベルを開いて炉内に装入される。

炉頂装入装置としてはこの外にブラウン式、マッキー式の改良型、3重ベル方式と種々の方法が考えられているが最近におけるわが国の新設および改修高炉では大半が斜塔スキップ式捲揚機と関連しマッキー式旋回装入装置を採用している。すなわち高炉の出鉄能力の増大に伴なう装入速度のスピード化が主な採用原因となつている。

#### 4.2.3 秤量装置

装入鉱石およびコークスの秤量は高炉操業技術の進歩とともに近來精度の向上が望まれ、人為的または機械的な誤操作による切り間違いおよび誤差の介入を防止するよう考慮されている。従來コークスの秤量は主にホッパースケールが使用されていたが、貯鉱槽から鉱石を切出し秤量するには主にラリーカーすなわち秤量車が使用され新設高炉でもこの方法を多く使用している。秤量車に使用される秤量器は使用場所ならびに使用状況から堅牢性および走行に伴なう衝撃に充分耐える精度をもつよう要求される。このような観点から走行中または原料受入時の振動防止のため車体と秤量ホッパーとの間に防震ゴムなどの緩衝器をおく車が多くなつている。使用秤量器としてはダイヤル積算式の自動指示記録装置付のものやロードセルあるいは捍無錘式、双振子自動式など種々のものが挙げられるがダイヤル積算式のものが多い。秤量能力はスキップの容量によつて左右されるが最大秤量約20~40tを示しており秤量ホッパーの大きさは8~12m<sup>3</sup>である。ホッパーの底扉開閉は圧縮空気式によるものが多い。

コークスの秤量は貯鉱槽から切り出されたコークスを適当な網目の篩で篩分けた後、塊コークスのみを秤量ホッパーに受けて行なつているものが多い。したがつてこれに使用される秤量器は鉱石の場合と異なり移動する必要がないので精度ならびに設備の上に非常に有利で自動



重量表示装置、自動印字および回数表示装置、定量自動停止装置など種々の付属機器を取付け自動運転制御に組込まれているものが大半である。秤量器の型式としてはダイヤル指示式のものが多い。

最近の新設高炉の中には従来の鉱石秤量車並びにコークス秤量ホッパーによつて装入原料を切り出す方法のほか高炉の出銑能力に応じて原料の切り出し秤量速度のスピード化、秤量車操作時における人為的誤差の防止、捲揚装入装置と関連しての完全自動運転制御などを目的として、貯鉱槽および貯骸槽から捲揚設備までの原料輸送にベルトコンベヤー方式を採用するものが多くなつてゐる。日新第1高炉の例を挙げると、ここでは貯鉱槽から電磁フィダーによつて装入鉱石を秤量ホッパー（自動振子式）に受けて秤量し、装入スケジュールにしたがつてベルトコンベヤーに払出し、鉱石打込ホッパー（電子管付秤量装置）からスキップへ投入している。コークスは貯骸槽より同じく電磁フィダーで切り出し、途中グリズリフィダーで篩分けた後、塊コークスはベルトコンベヤーで秤量ホッパーに送られ、秤量後スキップへ投入されている。

大阪西島第1高炉では貯鉱槽、貯骸槽より電磁フィダーによつて装入原料を切り出し、これを各槽ごとに取り付けられた計量機付ベルトコンベヤーで所定量を計量し、装入コンベヤーに輸送されている。装入コンベヤーは装入原料を炉頂まで直送り炉頂装入装置内のシュート内へ装入している。これらの運転は全てコントロールセンターにおいて遠隔操作され、フィダーおよび計量コンベヤーはあらかじめ設定された規定量を計量し終れば自動的に停止する。コンベヤー計量の場合最も問題となるのは計量精度であるが大阪西島の場合、ベルトの速度、制動装置などに工夫を施し、メリック計量機の規定精度の2.5倍、1/1500の精度を保証している。

#### 4.2.4 自動運転制御

最近における計測制御装置の発達とあいまつて、高炉の出銑効率の増大、高炉操業の安定、銑鉄品質の向上などの技術的要望に応じて、高炉ならびにその付属設備に自動運転制御装置が取り入れられる傾向は著しい。捲揚装入装置ならびに原料切り出し秤量装置についても、ほとんどの高炉で自動制御を取り入れ、原料の切り出しから炉内への装入まで完全自動制御化への傾向が見られる。原料の切り出し秤量についても前述のように従来の秤量車に代わりベルトコンベヤーによる輸送方法がとられ、一貫した流れをとつている。すべてこれらの装

置はあらかじめ決められた一定の装入スケジュールに従つて行なわれ、運転状況は電光表示盤（グラフィックパネル）に表示される。

捲揚装入装置の自動制御方式としては、モートルタイマー方式あるいはロジット方式による全自動運転がある。いずれも各チャージのスキップ数および鉱石、コークスの組合せを自由に容易に選択して行なうことが可能であり、新設高炉では後者による方法が多く採用されている。しかしながら原料装入設備全般の完全自動運転制御は数社に留つてゐるにすぎない。

### 4.3 送風設備

高炉用送風機は、最近高炉の出銑能力の増大、高温送風、燃料吹込みおよび高圧操業技術等の開発にとともに大容量かつ高圧の送風機が要求されている。また性能の面においてもこれ等の情勢に対応して、遠心式送風機より、軸流式送風機に代わりつつある。

駆動用原動機としては、蒸気タービンが主であるが、電動機、ガスタービンも使用されており出力は4,000kW前後のものが多い。

最近の新設高炉では、多段式軸流送風機を採用する傾向にあり、最大送風量 3,000 Nm<sup>3</sup>/mn 以上のものも見られ、原動機出力は 10,000 kW 近くにも達している。

また、高圧操業に備えて容積型に属するネジ送風機、（回転式送風機）を採用しているところもある。

#### 4.3.1 送風機

##### (1) 遠心式送風機

これまでに使用されて来た遠心式送風機は、3段～4段の片吸込み型、または両吸込み型で軸方向に流入した空気を翼車で圧力を上げ半径方向に吐出させる型式の送風機である。

この方式は、比較的運転風量を広く取ることができ、すなわち、送風機特性図の吐出圧力—風量線図においてサージング限界線が低風量側に寄つてゐるため、余裕ある送風が可能となる。送風能力は最大風量 2,000 Nm<sup>3</sup>/mn を越えるものは少ない。

##### (2) 軸流送風機

軸流送風機の特性は、遠心式にくらべて効率が良く小型軽量で高速運転ができ大風量送風ができることである。また、風圧の変動によつて風量の変化が少ない。欠点としては送風機特性図の吐出圧力—風量線図においてサージング領域が広く、常用範囲が限界線近くにあるため送風範囲に余裕が少ない。また騒音も高く翼の汚損に

ついても敏感でただちに効率の低下をきたす。騒音に対する対策としては、吸入管、吐出管などに防音装置を設置しており、また吸入部には除塵装置を設けて翼の汚損を防ぎ効率の低下を防止し、連続運転にそなえている。サージングについては、ほとんどの送風機が自動防止装置を設けており放風弁の開放によつてこれを防いでいる。

高炉操業の変動によつて送風量、送風圧は変化する。したがつて送風機の送風点は高炉の能力を十分考慮して決めねばならない。常用点を少風量にとれば、サージング限界も少風量側に寄り小風量領域では放風することなく、かつ効率良く運転することが出来る。しかし送風量が増すにつれて効率が低下するので原動機の出力を大きくする必要がある。逆に常用点を風量の大きいところにすれば原動機の最高出力は、比較的強く押えられるが、少風量で送風する場合、サージングをさけるために放風を行わねばならず効率の低下は避けられない。

高炉用大型軸流送風機としては、昭和33年2月に八幡洞岡に設置された4,000 kW 蒸気タービン駆動のものが国では最初である。

### (3) ネジ送風機

この送風機は、スウェーデンの Svenska Roter Maskiner 社が考案した容積型に属する回転式送風機で、回転する2本のローターの噛み合いを利用して空気を移動させるとともに圧力を高める動作を行う。この動作は、ローター間およびケーシング間に小さな隙間を残し、接触することなく行われる。ローターの歯形については種々のものが考案されたが現在では、大部分が円弧より成る対称形のものとなつている。また定容積型であるためサージング限界がない。その他の利点としては、他の送風機にくらべて除塵装置が簡単なフィルターで十分でありかつ、構造が簡単であるため設備費も安く保守も容易である。しかしながら欠点としては、サージングが無いため高炉の炉況変化により通風抵抗がまし、風圧がましても、絶えず一定風量が送られるので吹き抜けを生ずる恐れがある。また比較的騒音が多く消音装置に工夫が必要でありとくにサイレン音が問題となつている。この騒音は、周期的に吸入、吐出される空気により発生し、この脈動にもとづく配管の振動も問題となる。サイレン音は周波数が低いため消音が難しい。性能の面では大型軸流送風機と比較した場合効率の点で十分対抗しうるし、遠心式送風機よりも良好であるといわれている。この形式の送風機は、神鋼・神戸第2高炉用送風機として採用されている。

## 4.3.2 原 動 機

送風機の駆動用原動機としては、大半が蒸気タービンを使用し一部に電動機、ガスタービンが使用されている。

### (1) 蒸気タービン

蒸気タービンを駆動用に使用した場合、回転数を変えることによりかなりの風量範囲の操業が可能で効率の面で有利となる。従来は低圧蒸気を使用されてきたが効率の面で劣り最近では高圧・高温の蒸気を使用するようになり、トップタービン方式または抽気方式によつて熱効率を高めている。この方式によれば低圧式にくらべ約25%の効率上昇が見込まれている。

### (2) 電 動 機

電動機は、4,000 kW 以上の大型のものは見られず、いずれも誘導電動機が使用されている。誘導電動機は構造が比較的簡単で保守も容易であるが、回転速度制御の面で種々問題が生ずる。送風量を制御する場合回転数を変えずにダンパーで制御すると、風量の作業範囲が必然的に狭くなり、動力損失も大きく運転量が高くつく、また回転数制御を行なつて風量を変化さす方法は、誘導電動機の型式によつて種々考えられているが、設備費は一般に高くつく。しかし高炉のように連続的に長期間使用する場合は動力損失が少ないため有利である。

### (3) ガスタービン

ガスタービンは、附属機械設備が簡単に運転費、補修費もわずかで済む。また同一送風条件でガスタービンは蒸気タービンにくらべ設備のスペースが約1/3ですむ。八幡洞岡の高炉用送風機の駆動にガスタービンが使用されているが、これは高炉ガスを燃料とする850 kW の開放サイクルのものである。

ガスタービンは、高温の排ガスによる熱量損失をカバーするため廃熱再生器を使用し効率の低下を防いでいる。しかしながら、ガス灰による汚損のため高炉ガス圧縮機の性能が低下し長期の連続運転を不可能にしており、全機関の熱効率は約13%でボイラー迄含めた蒸気タービン駆動軸流送風機の全熱効率(約17%)より幾分低い値となつている。燃料としては、高炉ガスが主なエネルギー源として使用されているが、高炉ガスの熱量低下時、または起動時には、高熱量の燃料例えばコークス炉ガスをを用いて熱量を補う必要があろう。

## 4.3.3 その他の付属設備

送風設備における送風機、原動機には、それぞれに付属設備があり効率の向上、運転、保守にその役割を果し

ている。以下八幡・洞岡の送風設備を参考にしてその概要を示す。

(1) 消音装置

一般に軸流式送風機は、遠心式にくらべ金属性騒音が大きい。騒音防止装置は吸込側の消音室内面に取付けられており、騒音は80フォン程度まで消している。また放風時の強い騒音を消すため放風管出口にも消音器を取付けている。

(2) 除塵装置

送風機の翼に塵埃が付着すると効率が低下する。この対策として消音室に続く除塵室内部に除塵装置を取付けている。八幡・洞岡の軸流送風機は、アメリカン・エアーフィルター社製のものを設置している。

(3) サージング防止装置

この装置は、送風機の抵抗曲線が固有のサージング曲線に近づくとき、自動的に放風弁を開放して送風機がサージングに入ることを防止する。これはアスカニア式油圧噴射装置を使用し放風弁に連動しており、操作盤より手動で操作することもまた直接弁ハンドルで閉鎖することも可能である。この装置は運転状態が 図 4.7 (4.3.4 参照) のサージング防止線上来れば自動的に作動する。

(4) 送風量制御

a. 定風量自動制御装置

この装置は、高炉の圧力変動にかかわらずタービンの回転数を変化せしめることによつて常に風量を一定に保っている。自動制御にはアスカニア式油圧噴射装置を利用し、手動による遠隔操作も可能である。

b. 定風圧自動制御装置

この装置は、風圧を常に一定に保たんとするもので原理的には定風量の場合と同一である。通常の送風状態では、定風量装置で運転していて、熱風炉の切替時、炉況不安定時などに定風圧装置に切替えて使用する。

c. その他

駆動用原動機の回転速度制御が狭い範囲に限定される場合、また、一定回転数の場合には、送風機の静翼または動翼を可変ピッチとして効率をそれ程犠牲にすることなく広範囲の流量変化に応ずる方法がある。この場合静翼のみを可変ピッチにする方が機能的にも構造的にも比較的容易である。また送風機の軸端に一段の動力回収用タービンを設けて余剰風量を通し動力を回収する方法もある。

4.3.4 設 備 例

(1) 蒸気タービン駆動一軸流送風機例

一例として八幡・洞岡の送風設備の概要を示す。

a. 軸流送風機

(i) 送風仕様範囲

	最大風量時	常用点	最小風量時
風 量 (Nm <sup>3</sup> /mn)	2,000	1,400	1,000
吐出圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	0.8~1.2	0.8~1.4	0.8~1.2

(ii) 型 式 横置多段可動前置静翼付軸流式

(iii) 段 数 前置静翼1段 静翼9段 動翼9段  
後置静翼1段

(iv) 翼材質 13% Cr 鋼

(v) 前置静翼変節装置 (手動式)

この装置は、前置静翼の角度変化を行うものであるが、多段のために実際運転時には、あまり変化は認められなかつた。

(vi) 送風機サージング特性

昭和33年8月1日の実測結果は図4.7のようである。

(vii) 送風機断熱効率

断熱効率は一般に送風機効率ともいわれ、図4.8にその実測値を示す。

b. 4,000 kW 蒸気タービン

(i) 型式 衝動式直結型復水タービン

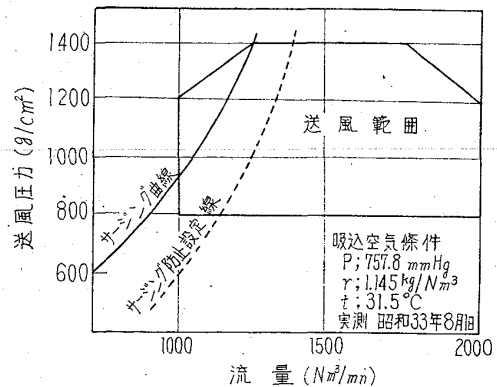


図 4.7 4,000 kW 軸流送風機サージング特性

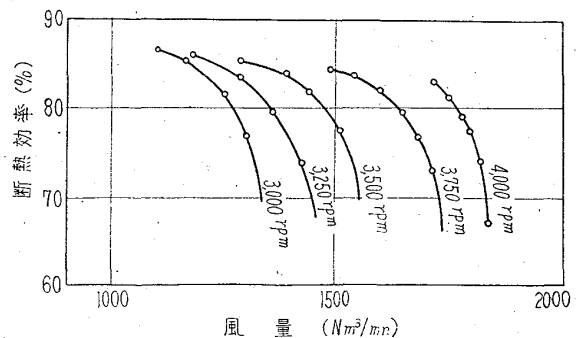


図 4.8 送風機効率

- (ii) 出力および回転数      出力      回転数  
       常用点      3,200 kW    3,600 r.p.m  
       最大連続出力    4,000 kW    4,020 r.p.m
- (iii) 蒸気状態 (タービン主塞止弁)  
       圧力 (28 kg/cm<sup>2</sup>)    温度 380°C
- (iv) 段落数    9段 (内1段はカーチス段)
- (v) 危険回転数    4,900 r.p.m

## c. 主な付属装置

消音装置, 除塵装置, サージング自動防止装置  
 定風量自動制御装置, 定風圧自動制御装置

## d. 効 率

本設備を 1,000 t/d 高炉へ送風した場合の送風機効率は平均約84%で従来の蒸気タービン駆動による遠心式送風機にくらべ約10%も効率が良く, さらに蒸気タービンの熱効率が約25%で既設のものより約3%程度良好であり, したがってプラント全体としての熱効率は約21%, ボイラーを含めた全体の熱効率は約17%で従来の設備より10%以上の動力節減となつている。

## (2) 蒸気タービン駆動—ネジ送風機例

一例として神戸灘浜の概要を示す。

型式 KS-80 L×2 型

6,000 HP 蒸気タービン駆動

容 量	吐出圧力	回転数	軸馬力
2,100 m <sup>3</sup> /mn	1.33kg/cm <sup>2</sup> ·g	3,026 r.p.m	6,000 HP
1,800 "	1.80 "	2,635 "	6,000 "

## 4.4 熱 風 炉

高炉操業における送風温度は, 羽口前の燃焼温度, および高炉内の温度勾配を左右する。また, その熱量は高炉熱源として重要な役割を演ずることは周知のとおりである。高炉装入原料の事前処理の不完全な時期においては, 炉内の通気性が極めて不安定で荷の降下状態が不規則となるため, コークス装入量を節減するための高温の熱風の使用は不可能であつた。それで5~6年前までの送風温度は 800°C 以下の低い温度で高炉操業が一般に行われていた。このような比較的低い送風温度による操業期においては熱風炉の設計において, 大巾な進展はみられなかつたので, 送風温度が逐次上昇するにしたがい熱風炉の容量の不足が感ぜられてきた。したがって最近建設された熱風炉は過去のものに比較して非常に大型化している。さらに 1,100°C 以上の高温の熱風を使用するためには十分な検討を行なつて設計する必要がある。しかし熱風炉の取扱いに関する装置, すなわち自動切替, 自動燃焼制御設備などの改善には見るべきものがあつた。

過去数年の間に高炉操業技術は著しく飛躍し完全に処理された整粒鉱と, 自溶性焼結鉱の使用は炉内通気性を改善して高温送風の実施を極めて容易にし, また水蒸気添加による調湿送風ならびに燃料の吹込みは羽口前の分解反応熱を補償するために益々高温送風を直接に必要とするようになつた。また炉内通気性の好転と還元反応速度の向上は, 送風量の増大を可能にし, ここにおいて熱風炉の熱負荷は大巾に増加した。一方高炉操業成績の向上は相反的に高炉ガスカロリー値を低下し燃料としてのガス量を著しく増加した。この結果過去の設計による既設の熱風炉の熱効率は低下しバーナー容量と熱容量に限界を生じ高炉操業における送風量, および送風温度指定値は熱風炉能力の限界により規定される傾向となつた。しかしこの間においても熱風炉に関する伝熱工学部門の研究が活発に行われ蓄熱室煉瓦形状, 伝熱面積および煉瓦重量などの決定に有効に活用された。また耐火物の耐熱性, 弁関係の設備の耐熱, 大型化, および運転操作機構に関する研究も進められ, 燃焼火炎温度の上昇に対する対策も考えられるようになつた。かように熱風炉設備は, 高温送風を可能にし熱容量の増強のために次第に大型化の傾向に進み始めている。

## 4.4.1 熱風炉設備における伝熱学適用の現況

熱風炉の設計においては高炉操業条件に基づき, 次に示す重要事項を満足するように先ず検討しなければならない。

- (1) 目標最高熱風温度と送風量に対する加熱能力
- (2) 高い熱効率の保証
- (3) 適正な蓄熱容量の保有
- (4) 設備費の軽減
- (5) 耐久性の保証

これらはいずれも伝熱工学に基づき, 熱伝達率, 加熱面積, 蓄熱室煉瓦形状, 材質ならびに通気面積などの解析により検討されるものである。熱風炉の形式としては従来から再生型熱交換器が使用され高炉1基に対して, 2~4基の炉を装備し, 高炉操業条件に応じて, 燃焼ガス量, ならびに燃焼・送風の周期を決定し操業している。現在では熱風炉の大型化にともない, Cowper 式熱風炉が普及している。しかし熱風炉の熱伝達状態は極めて複雑である。たとえば, 燃焼期では炉の上部の高温部における伝熱は, 主として輻射により行なわれ, 炉の下部の低温部では対流が重要である。すなわち炉の縦方向における温度勾配により, 熱伝達特性が変化する。また, 同位置における温度は, 燃焼期, 通風期の経過時間によ

りガスおよび煉瓦ともに変化し、非定常状態として、熱風炉の熱伝導を考えねばならぬ。このため理論的に熱風炉の伝熱を解明することは極めて困難な問題であった。そして過去20~30年間において多数の研究者によつて理論的に熱風炉の伝熱機構についての解析が行なわれたがこれらはいずれもそのまま炉の設計に使用することには少し無理があつた。しかし熱風炉の設計に極めて効果があつたことは事実である。次にその1例を熱風炉2基操業の場合について示すことにした。

先ず高炉操業条件(送風量, 熱風温度)を決定し, 過去の操業実績ならびに将来の技術を予測して高炉ガスのカロリー値, 熱風炉熱効率を仮定すると, 熱風炉の加熱に要するガス量:  $V_G, m^3/cycle$  は次式により与えられる。

$$V_G = \{V' \cdot C' \cdot (\theta_2' - \theta_1')\} / \eta \cdot H \cdot t$$

$V'$ : 送風量,  $m^3/cycle$

$C'$ : 熱風の比熱,  $kcal/m^3 \cdot ^\circ C$

$\theta_2'$ : 熱風温度,  $^\circ C$

$\theta_1'$ : 冷風温度,  $^\circ C$

$\eta$ : 熱風炉の熱効率

$H$ : 高炉ガスのカロリー値,  $kcal/m^3$

$t$ : 1周期における通風時間に対する加熱時間の比  $h/h$

次に Hochofenbetrieb に示されている方法により次式を適用する。

$$\theta_2 = \theta_1 - (\theta_1 - \theta_1') \cdot w'/w \cdot (1-f) \dots\dots\dots (1)$$

$$\theta_2' = \theta_1 - (\theta_1 - \theta_1') \cdot f \dots\dots\dots (2)$$

$\theta_1$ : 燃焼ガスの最初の温度,  $^\circ C$

$\theta_2$ : 燃焼ガスの最後の温度,  $^\circ C$

$C$ : 燃焼ガスの比熱,  $kcal/m^3 \cdot ^\circ C$

$V$ : 燃焼ガス量,  $m^3/cycle$

燃焼ガス熱当量:  $w = V \cdot C$  熱風熱当量  $w' = V' \cdot C'$

また上式の  $f$  は  $f = (1 - w/w') / (1 - w/w' \cdot e^m) \dots\dots (a)$

また式中  $m$  は  $m = K \cdot S / w \cdot (1 - w/w') \dots\dots\dots (b)$

$K$ : ギッターの熱伝達係数,  $kcal/^\circ C \cdot m^2 \cdot cycle$

$S$ : 所要加熱面積,  $m^2/stove$

次に (1) - (2)

$$\theta_2 - \theta_2' = f(\theta_1 - \theta_1') (1 + w'/w) - w'/w \cdot (\theta_1 - \theta_1')$$

$$\text{したがつて } f = \{(\theta_2 - \theta_2') + w'/w \cdot (\theta_1 - \theta_1')\} / \{(\theta_1 - \theta_1') \cdot (1 + w'/w)\}$$

上式を (a) に代入すると

$$\{(\theta_2 - \theta_2') + w'/w \cdot (\theta_1 - \theta_1')\} / \{(\theta_1 - \theta_1') \cdot (1 + w'/w)\} = (1 - w/w') / (1 - w/w' \cdot e^m)$$

$$e^m = \{(\theta_2 - \theta_2') + w'/w (\theta_1 - \theta_1') - (1 - w/w') (\theta_1 - \theta_1')\} / \{w/w' (\theta_2 - \theta_2') + (\theta_1 - \theta_1')\}$$

$$\{w/w' (\theta_2 - \theta_2') + (\theta_1 - \theta_1')\}$$

これを解いて

$$m = 2 \cdot 3026 \log \left[ \frac{(\theta_2 - \theta_2') + w'/w (\theta_1 - \theta_1') - (1 - w/w') (\theta_1 - \theta_1') (1 + w'/w)}{w/w' (\theta_2 - \theta_2') + (\theta_1 - \theta_1')} \right]$$

上式と (b) より加熱面積  $S$  は次式により与えられる。

$$S = 2 \cdot 3026 w/K \cdot (w/w' - 1) \cdot \log \left[ \frac{(\theta_2 - \theta_2') + w'/w (\theta_1 - \theta_1') - (1 - w/w') (\theta_1 - \theta_1') (1 + w'/w)}{w/w' (\theta_2 - \theta_2') + (\theta_1 - \theta_1')} \right] \dots\dots\dots (3)$$

蓄熱室煉瓦形状は伝熱工学より最良の形状を決定すべきであると思われるが, 現状においては熱風炉の通気抵抗, 通風速度, 煉瓦の熱容量および耐圧強度などについて過去の資料に基づき検討改善して形状を定め, 熱伝達係数:  $K \text{ kcal}/^\circ C \text{ m}^2 \text{ cycle}$  を計算する機会が多いようである。この場合の熱伝達係数の解法については種々の計算法が報告されている。計算の原理は燃焼期においては高温度の3原子分子 ( $CO_2$ ) のガス組成が高いためガスから固体への伝熱は輻射と対流が作用し, 通風期における固体から空気への伝熱は対流によるとして計算式を導出している。熱伝達係数を求めることにより (3) 式より蓄熱室煉瓦積の加熱面積が計算できる。また蓄熱室煉瓦形状と質量より煉瓦重量が計算できる。

#### 4.4.2 加熱面積ならびに蓄熱室煉瓦形状

熱風炉の加熱面積は通常蓄熱室煉瓦積の表面積で表わされる。次に昭和31年4月~36年7月の期間において改修または新設された3基操業の熱風炉を対象として, 高炉16基より高炉内容積と熱風炉加熱面積の関係を調査して図4.9に示す。この期間においては, 高炉操業技術の

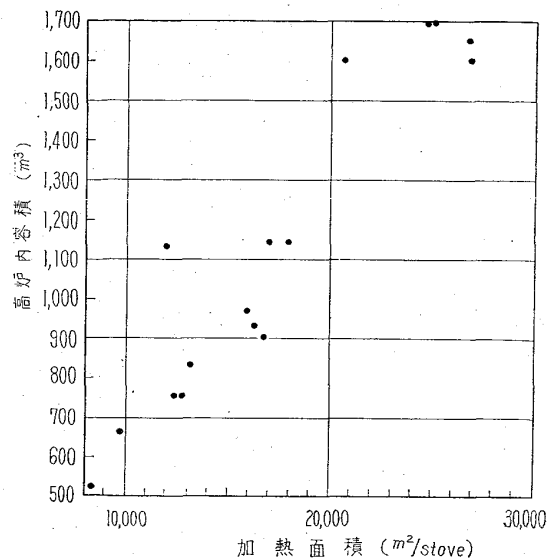


図 4.9 高炉内容積と蓄熱室加熱面積との関係

発展は極めて急速であり、大巾な設計条件の相違があると思われる。先の図4・9に示した加熱面積は高炉ガスのカロリー値  $800 \text{ kcal/m}^3$  とし、高炉出銑比  $1.5 \text{ t/m}^3$  程度までの能力に対して熱風温度  $1,000^\circ\text{C}$  内外の熱負荷に応じうるものと思われる。しかし今後、高炉ガスのカロリー値がさらに低下するので燃焼ガス火炎温度もしたがって低下する。熱風温度が  $1,000^\circ\text{C}$  をこえるようになると排気温度が上昇して熱効率が低下する懸念が生ずる。これの対策として図4・9の傾向以上に加熱面積が拡大される傾向にあり、その一例として昭和36年9月に建設された内容積  $1,243 \text{ m}^3$  の高炉は加熱面積を  $29,000 \text{ m}^2$  まで拡大した熱風炉を装備している。

蓄熱室煉瓦の通気孔の形状は熱工学的な過程に影響を与えないといわれている(富士・室蘭)。すなわち、空隙比と通気孔の水力直径が等しい場合には形状が相違しても蓄熱室単位容積当たりの加熱面積は等しく、また加熱面積  $\text{m}^2$  当りの煉瓦重量も等しくなる。このため通気孔の形状選択上問題となることは煉瓦構造の強さ、煉瓦の有効利用度および煉瓦製作上の難易などである。従来から使用されていた格子形蓄熱室煉瓦積は現在でも数多く使用されているが老化により蓄熱室外周部煉瓦積が変形または破損して通気孔が閉塞するが多いので、近年はブロック積構造が使用される傾向にある。ブロック積は構造が安定し、各ブロックに側通路をもち一部の通気孔が閉塞したときも蓄熱室煉瓦利用効率低下を最少にする利点がある。また特に加熱面積および煉瓦重量の増大が要求され通気孔の断面積を小さくして孔の数を増加することが必要なときに、ブロック煉瓦は構造的に安定で有利である。ブロック煉瓦の通気孔の形状は製作の容易な円形が比較的有効利用度も高いので一般的に使用される傾向となつた。また熱風炉蓄熱室は高さによって層状に分割して通気孔の形状を変える多層式と、全高に対して同一の通気孔から成立っている単層式とがある。一般に蓄熱室の上部と下部では通過する気体の温度が異なり、したがって流速も変化する。流速の速い上部では圧力損失が大きく下部においては圧力損失が少ない。また上部はダスト付着により通気孔の断面積が縮小する傾向にあることを考慮しなければならない。一方熱効率を向上するためには、蓄熱室の熱容量を大にして排気温度を低くしなければならない。このために必要にして十分な加熱面積と煉瓦重量をもたねばならないことは勿論であるが、各レベルについて考えれば、高温部の蓄熱室上部は煉瓦重量に重点をおき低温部の下部では加熱面積を大にすることが望ましい。現在稼動中の熱風炉の大部分は

多層式で単層式のもの極めて少ない。また多層式の場合、2層式あるいは3層式が採用されている。

#### 4・4・3 耐火煉瓦および煉瓦受金物

過去の熱風炉は、高温部すなわち燃焼室ドーム、蓄熱室上部とそれ以外の部分とに分け SK 32 および SK 31 のシャモット質煉瓦が区分して使用されていた。その後高温部に比較的アルミナ組成の高い耐火度、耐スポール性ともにすぐれた煉瓦を使用するようになった。

最近にいたり高炉の高温送風に応じて熱風炉の熱負荷はますます増加し、このため50%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以上の高アルミナ質耐火煉瓦が燃焼室、ドーム、および上部蓄熱室に使用されるようになり、ドーム温度限界は  $1,250 \sim 1,300^\circ\text{C}$  程度にまで高めることが可能となつた。また、鉄皮と耐火煉瓦の間隙部はイソライト煉瓦、鉍滓綿、およびシリカボードなどにより断熱層を強化した。また煉瓦受けは単重  $50 \text{ kg}$  程度の大煉瓦を使用するものが多かつたが、このような材質の煉瓦受けは長期使用中、荷重および熱により曲げ応力を受け、大部分の煉瓦受けが中央部に亀裂を生じた。このため煉瓦受けは耐熱鋳鉄製のものと変わり、同材質の支柱を使用するようになった。この金物は  $400^\circ\text{C}$  程度までは変形または亀裂を生ずることがなく蓄熱室煉瓦積に安定した支持を与えることが可能となつた。

#### 4・4・4 バーナーおよび弁関係設備

10年前の熱風炉バーナーは自然通風バーナーで、高炉ガスと燃焼用空気との接触面積を多くして燃焼させる形式、たとえば菊形バーナーなどが使われた。また通風期においてはバーナー設備が炉から完全に分離される開放式が多く使用され、したがって炉の切替作業はすべて手動操作により行なわれていた。しかし熱風炉の熱容量の

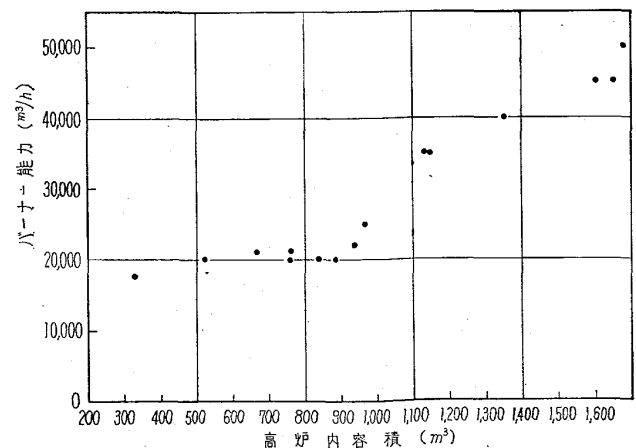


図4・10 高炉内容積と熱風炉バーナー容量の現況

増加と、制御技術の発展により現在では強制通風による密閉式バーナーが多く採用され広く使用されるようになった。また弁は自動切替に適切な型式が採用されている。図4・10に熱風炉3基操業を行なっている高炉15基の高炉内容積と最大バーナー容量の現況を示した。

熱風炉の切替に必要な弁は遮断弁、煙道弁、送風弁、ガス弁、熱風弁、であつて炉によつては充圧弁および混合冷風弁などを有するものもある。通常熱風弁は水冷されているが、その他の弁は一般に水冷しない。大型熱風炉の煙道弁は加熱期において均一に蓄熱室煉瓦を加熱するため2個設置されているものが多く、また送風弁および煙道弁は燃焼・送風の切替時に炉内圧力を調整して弁の作動に圧力負荷を加えないために小弁を設けるようになった。次に燃焼制御にはガス・バタフライ弁、空気バタフライ弁、熱風温度制御には熱風温度調節バタフライ弁、冷風バタフライ弁などがある。この他休風時における高炉から熱風炉への逆流ガスを遮断するために、熱風本管に休風弁を設けることがあり、ガス管にはガス遮断弁などがある。これらの弁は手動操作、遠隔操作および自動制御などの操作法を組合せた設備になつている。

熱風炉の切替において燃焼より送風に移行する場合、前述の冷風小弁により充圧を行なつても熱風圧力は変動して高炉操業条件に変化を与えることになり、特に高炉操業状態の順調でない場合は熱風圧力の変動によりスリップ、棚などを誘発することが多かつた。このため近年熱風圧力の変化を防ぐ目的で別に充圧機を設置し、高炉々況に変動を与えることなく円滑に炉切替を行なっている例がある。

#### 4.4.5 熱風炉の自動制御

現在の熱風炉設備において実際に使用されている自動制御は次に示すものである。

- (1) 熱風温度自動制御
- (2) 燃焼自動制御
  - a. ドーム最高温度調節
  - b. 空燃比率調節
  - c. 燃料ガス流量調節
- (3) 自動切替

通常これらはいずれも計器室からの遠隔操作であるが現場手動操作に切替使用が可能である。熱風温度の自動制御は熱風炉通過風量と冷風混合管通過風量の混合率を制御して熱風本管における指定温度に調節する操作である。すなわち、熱風炉を送風に切替えた直後においては熱風出口温度は最高であり、時間の経過とともに温度が

降下する。このため冷風混合管の冷風混合バタフライ弁を送風の始めた開度を最大にして冷風混合量を最も多くし、熱風出口温度の降下に從つて開度を締め、指定熱風温度に調節する機構である。この場合、熱風炉の冷風バタフライ弁の操作をも操作回路に組入れて冷風混合バタフライ弁とともに熱風炉通過風量を自動制御している炉もあるが、現状においては熱風温度が高くなり熱風炉通過風量が増加したため、余り必要とは考えられない。次に自動燃焼制御方式についてであるが、まず次の設定を行なう。

- (1) あらかじめ作成された熱風温度ならびに送風量から燃料ガス量を設定する。
- (2) 通常、排気の  $O_2\%$  が約0.5~1.0の範囲となるように、燃料ガス成分から燃焼用空気の過剰率を計算して空燃比率を設定する。
- (3) ドーム最高温度を設定する。熱風炉の燃焼期においてドーム温度は燃焼経過時間とともに上昇する。そしてドーム温度が最高設定値に到達した場合、燃料ガス量を変更することなく燃焼火炎ガス温度を下げるため空気過剰率を増加するよう空燃比率調節器が自動的に作用するように設計されている。

熱風炉を送風から燃焼に切替えた場合、遮断弁が開くと同時にファンが起動し空気バタフライ弁がある開度まで開き、空気が一定量熱風炉に導入されてからガス弁が開き、次にガスバタフライ弁が燃料ガス設定量まで開くように設備されたものが多い。

炉切替作業の手動操作は切替に長時間を要するため加熱時間が短縮され、また誤操作による危険も多かつた。しかし現在の熱風炉は大部分が自動または半自動による切替作業を行ない、切替時間を短縮し、また誤操作の懸念も解消した。

一般に熱風炉の自動切替は半自動方式を指す場合が多い。半自動方式は送風、燃焼および休止の指示を切替えることにより、以後は自動的に作動する方式のことである。全自動方式は熱風出口温度と熱風温度の差、通風時間、排気温度または冷風混合弁開度などを検出し、設定値に達すると切替指令を出すもので完全な自動方式となつたものである。しかし現在においては半自動方式が自動切替と称される場合が多く、いまだこのような全自動切替設備は広く採用されていない。

熱風炉の自動、半自動の切替のための駆動々力は、電気式と空気式または併用式などがある。数年前までは空気式のものも多く採用されていたが、近年にいたり電気式も使用されるようになった。電気式はインターロック

ならびに自動化が容易であり, また機器の故障も少なくなつたためと考えられる。

以上のように熱風炉の自動化は過去数年間に著しい進歩を示した。

#### 4.4.6 熱風炉設備に対する今後の課題

高炉は将来大型化に向つて発展し, これに伴つて送風量も増大したコークス節減のため高温の熱風を必要とする傾向は益々強くなるであろう。さらに重油などの燃料を羽口から吹込むためにも高温の熱風を必要とすることは論をまたない。このため将来の熱風炉の設計については検討を要する重要な課題が多い。次に問題点およびその対策について示す。

##### (1) 耐火物の耐熱性の向上

シリマナイト系, 高アルミナ系および珪石煉瓦などの使用

##### (2) 燃焼ガス火炎温度の上昇

a. 燃焼用空気および燃料ガスの予熱

b. コークス炉ガスあるいは他の高発熱量燃料と高炉ガスとの混合

c. 燃焼用空気の酸素富化

##### (3) 加熱面積の増大

##### (4) 弁設備の耐熱性の向上と大型化

##### (5) 高圧操業に対する対策

##### (6) 独立した燃焼室の設計

など考えられるが, これらの問題点は高炉操業技術の進展と密接な関連を保ちながら, 検討を必要とする。

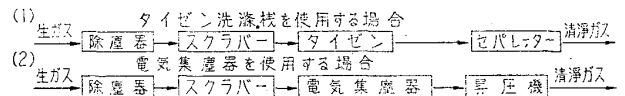
### 4.5 ガス清浄設備

近年, 高炉原料の性状は著しく改善され, この結果, 炉内におけるガス固体間の反応は増進し, 焼結鉱の還元性についても顕著に改善された。このため, CO ガスの炉内利用度は大幅に上昇し, 炉頂ガス中の CO 成分は著しく低下し CO/CO<sub>2</sub> が 1 に近い高炉も出現するようになった。したがつて高炉ガスは 700~850 kcal/m<sup>3</sup> の範囲の低カロリー燃料となつたが, なお熱風炉, コークス炉, 加熱炉およびボイラーなどの熱源として重要な役割を果たしている。また銑鉄も発生ガス量はコークス比の低下により, 1,800~2,000 m<sup>3</sup>/t-pig まで減少した。焼結鉱の強度の向上, 装入粉率の激減などにより, 高炉ガス中のガス灰量は著しく減少し, 通常 5~30 g/m<sup>3</sup> 程度である。この結果, 一般の乾式除塵器において捕集されるガス灰量は極めて少なくなつている。しかし高炉ガス使用部門のバーナー, バルブ類の汚損防止のため, ガ

ス清浄の重要なことはここで述べるまでもない。また熱風炉の熱負荷の増大により, 煉瓦の耐火度の低下と目詰り防止の見地からもガス清浄の重要性はさらに強くなつた。最近にいたり高炉燃料としての重油吹込がガス中にカーボン・ブラックを増加させることがあり, この対策としてガス清浄設備の改良に関する検討が必要となつてきた。

#### 4.5.1 ガス清浄設備

高炉ガス中のガス灰は主にコークス鉄鉱石の微粉から成り, その化学成分は炭素, 酸化鉄, が主体であり少量の酸化亜鉛を含むのが普通である。したがつて粒子の密度の相違は極めて大であり, その粒子は数mmの粗大粒子のものから 1 $\mu$ 以下の粒子にいたる広範囲の粒度分布をもっている。このため清浄効率を保証するには機能の異なるガス灰捕集器を適切に組合せ配列した一連の設備を使用するのが経済的であり, また能率的である。比較的粗い粒子の捕集を目的としたものを一次清浄装置, 微粒子のものを最終的に捕集するものを二次清浄装置と一般にいわれている。高炉ガス清浄設備は機械的清浄方法と電気的清浄方法に大別できる。機械的清浄方式による設備としては除塵器, サイクロン, スクラバーおよびタイゼン・洗浄機などがあり, 電気的清浄方式による設備としては乾式電気集塵器と湿式電気集塵器がある。このうち近年においては清浄効率の点から主として湿式集塵器が使用される傾向にある。現在適用されている高炉ガス清浄系列は二次清浄装置の種別により, 次の 2 系列に分類できる。



除塵器とスクラバー間にサイクロンを設備している製鉄所もある。スクラバーとしてはハードルワッシャー, スプレータワーおよびベンチュリースクラバーなどが使用されている。また昇圧機を省く場合も多くなつた。すなわち上記各系列は粗大粒子の捕集を対象とした集塵器から順次微細粒子のガス灰を捕集して, ガス清浄度を高めるように配置されている。一般に電気集塵器を使用するものがガス清浄度が高い。タイゼンは翼車の回転による昇圧能力を有するため, 普通, 昇圧機を設置しない。またタイゼン出口清浄ガスの水分が高いためセパレーターを通してガス中の水分を除去する一次清浄装置で捕集されたガス灰はその物理的ならびに化学的性状から焼結原料として利用され, 二次湿式清浄装置よりの排水はシ



ックナーおよびその他の装置により処理されることが多い。表 4.2 に各社の二次清浄設備の概況を示す。

表 4.2 各社二次清浄設備の概況

会社名	高 炉 名	二次清浄設備名	容 量 (1基当り)
八幡戸畑	No. 3	ルルギー式 (ベンチ ユリオン型)	100,000 m <sup>3</sup> /h
日新 呉	No. 1	" "	70,000 m <sup>3</sup> /h
富士室蘭	No. 1	" "	100,000 m <sup>3</sup> /h
"	No. 4	" "	"
八幡戸畑	No. 1, 2	" (スプレータ ワー型)	50,000 m <sup>3</sup> /h
鋼管鶴見	No. 1	ウエスタン式	60,000 m <sup>3</sup> /h
住金小倉	No. 1	"	30,000 m <sup>3</sup> /h
"	No. 2	"	42,500 m <sup>3</sup> /h
富士釜石	No. 1	"	60,000 m <sup>3</sup> /h
中 山	No. 1, 2	乾式電気集塵器	"
八幡洞岡	No. 1, 2, 3, 4	"	300,000 m <sup>3</sup> /h
尼 鉄	No. 1, 2	フラクト, ファブリ ケン FAV 型	170,000 m <sup>3</sup> /h
神鋼神戸	No. 1	タイゼン	60,000 m <sup>3</sup> /h
鋼管川崎	No. 2, 3, 4, 5	"	{ 90,000 m <sup>3</sup> /h 60,000 m <sup>3</sup> /h
" 鶴見	No. 2	"	50,000 m <sup>3</sup> /h
富士広畑	No. 1, 2	"	"
八幡東田	No. 5	エレクトクス式	25,000 m <sup>3</sup> /h

#### 4.5.2 弁ならびにガス圧制御設備の進歩

従来、高炉ガス管系において使用されていたガス遮断弁は主として水封弁である。水封弁は水封によつてガス通路を閉塞するため、ガス漏れは全くないが水封に時間を要するため近年においては主としてゴッグル弁が使用されるようになった。ゴッグル弁は弁の開閉時、少量のガス漏れはあるが、短時間に弁を開閉する利点がある。ゴッグル弁の作動は現場手動または電動などによつて行なわれている。また従来のガス圧調節は各ガス管部に設けられた個々の現場手動バタフライ弁およびアスカニア式自動ガス圧調節器により管理されていたが、近年、計測技術の進歩とともにガス圧制御室による中央管理方式に変わりつつある。特に余剰ガスの処理に対しては高炉々頂ブリーダーあるいはガス管のブリーダーを現場手動により開放して放散していたものが近年においてはガス管に設けられた自動ガス放散点火装置により自動的に放散、点火される場合もある。高圧操業においては炉頂圧力を高めるため圧力調整弁を設ける。

#### 4.5.3 集塵効率の現況

前述のように高炉ガス利用部門は清浄ガスのガス灰含有量の少ないことが望ましいが、実際には経済的見地か

ら許容できる含塵量を決定してそれにしたがって設計ならびに運転を行なうべきである。許容含塵量は用途によつて異なるが、普通 0.005~0.02 g/m<sup>3</sup> とされている。清浄ガスの含塵量を連続的に検出し、監視するためカプノグラフまたは光電管式検塵計を設置することもあるが、精度を要求する場合は一般にガス中のガス灰を抽出し測定する定量法による検定が行なわれている。集塵効率は清浄器前後の含塵量を測定することにより次式で表わされる。すなわち

$$\text{集塵効率(\%)} : \eta = (1 - w_2/w_1) \times 100$$

ただし  $w_1$  : 清浄器前のガス中含塵量 (g/m<sup>3</sup>)

$w_2$  : 清浄器後のガス中含塵量 (g/m<sup>3</sup>)

一般に清浄ガスの含塵量は最終的に二次清浄設備の集塵能力により大きく影響される。通常、清浄度はタイゼンより乾式電気集塵器、また乾式電気集塵器より湿式電気集塵器が優れているといわれている表 4.3 に各社の集塵成績を示す。(第14回部会)

表 4.3 各社集塵成績

会社名	二次清浄 設 備 名	含 塵 量 (g/m <sup>3</sup> )			清浄ガス
		除塵器 入 口	除塵器 出 口	スクラバ ー出口	
川鉄千葉	ルルギー式 湿式 E.P	—	12	0.8以下	0.003
富士釜石	ウエスタン式 湿式 E.P	20~30	5~8	0.6	0.006
住金小倉	"	20~50	10~20	1.0~1.5	0.005
八 幡	乾・湿式 E.P	10	5	0.6~0.8	0.008
中 山	乾式 E.P	—	—	2	0.004
富士室蘭	タイゼン	8.5	3.5	0.45	0.025
鋼管川崎	"	15	6	0.6	0.02
" 鶴見	"	12	5	0.8	0.03
尼 鉄	"	10~15	2~5	0.5~1.5	0.02 ~0.04

E.P : 電気集塵器

#### 4.5.4 ガス清浄装置の種類

##### (1) 乾式除塵器

ガス中の粗いガス灰を除去するため、乾式除塵器が高炉の直後に設置される。発生ガス量は各高炉により異なるためその大きさも異なる。図 4.11 に乾式除塵器の概要を示す。

高炉ガスは上部より流入し円筒内でガス流速は低下しガス中のガス灰が下部に落ちる。除塵されたガスは内管と外管の間隙を通過し、また下部にたまったガス灰は定期的に除去する。ガス灰取出口にバグミルを設備するとガスの噴出を防止しながら容易にガス灰を排出するこ

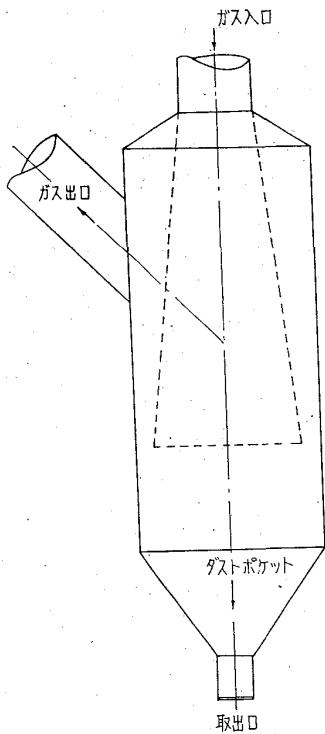


図4.11 乾式除塵器

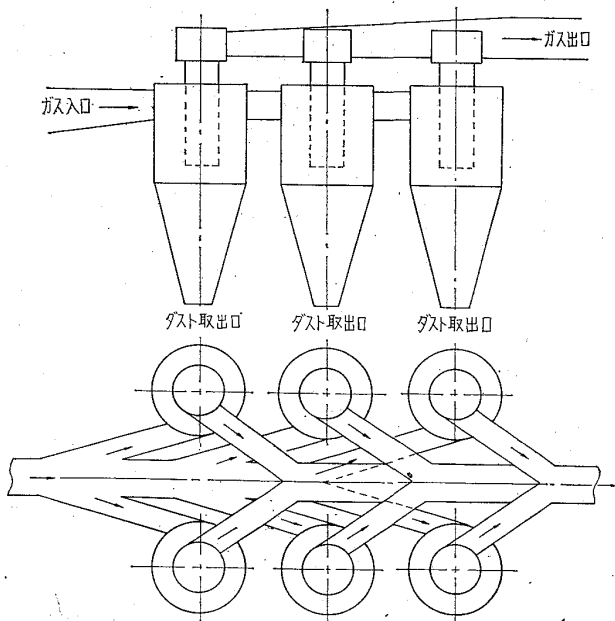


図4.12 サイクロン

とができる。除塵器の胴径はガス流速を1m/s前後になるように設計しているものが多い。

(2) サイクロン

乾式除塵器で捕集されなかつた比較的細かいガス灰を捕集するためにサイクロンを設けることがある。図4.12にサイクロンの概要を示す。また表4.4に乾式除塵器とサイクロンのガス灰の粒度分布を示す。

表 4.3 ガス灰粒度分布の相違

集塵器名	粒度 (メッシュ)						
	-200	200~150	150~100	100~80	80~60	60~42	+42
除塵器	13%	10%	30%	13%	12%	18%	4%
サイクロン	83%	10%	5%	2%	—	—	—

サイクロンは事後の清浄器の負荷を軽減する利点があるが、反面、ガス圧損失を生ずる欠点がある。

(3) スクラバー

a. ベンチュリー・スクラバー

ガス管をベンチュリータイプに絞り、ガスを噴出膨張させ、同時に散水して温度降下を効果的に行うとともに集塵効率を向上する装置である。図4.13にベンチュリー・スクラバーを示す。

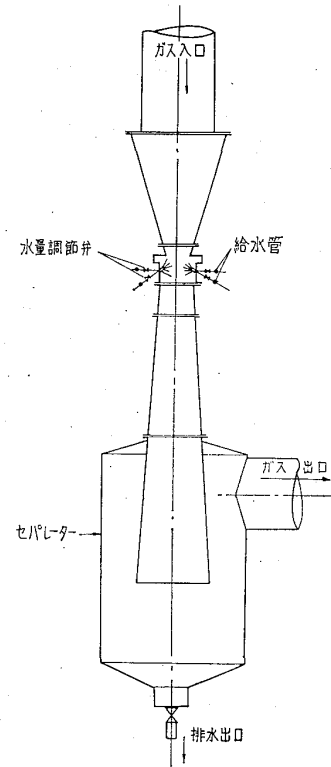


図4.13 ベンチュリー・スクラバー

b. プレ・クーラー

ガスの温度を低下させ同時に除塵を行なうためプレ・クーラーを設置する。内部にハードルを組入れ上部より散水するものをハードル・ワッシャーという。しかしハードル・ワッシャーはガスの通過に抵抗を与える不利があるのでスプレーノズルの改良にともない、次第に使用さなくなつた。ガスの流入方向は上部より下部に流れるものと下部より上部に流れる2方式があるがいずれも除塵効率は70~80%で

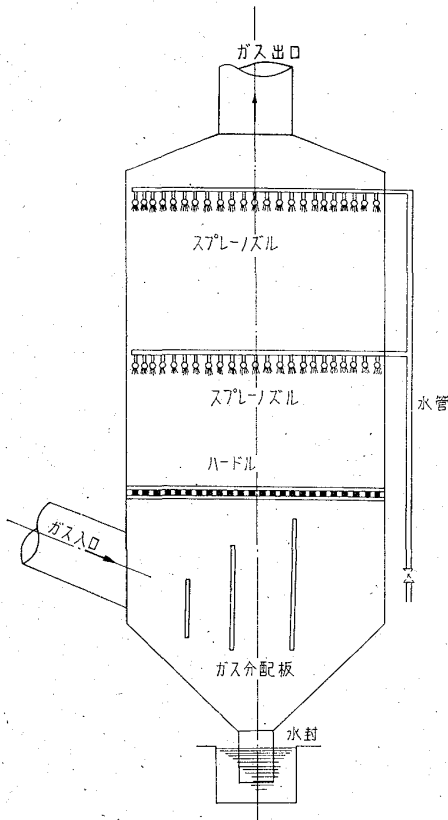


図4-14 プレ・クーラー

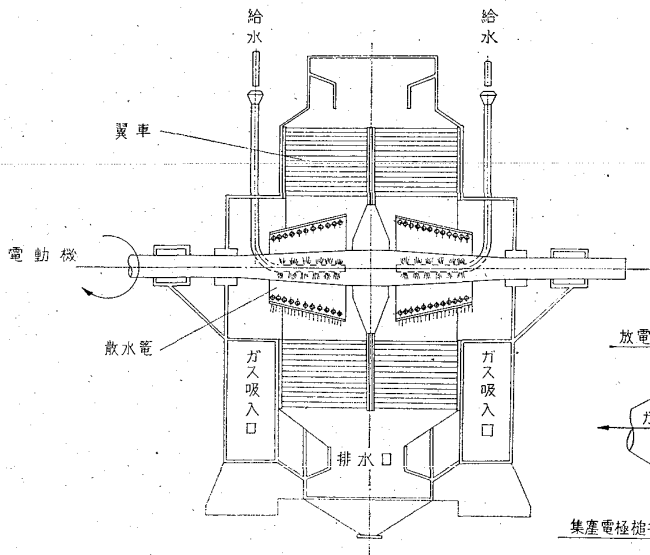


図4-15 タイゼン洗浄機

ある。図4-14にプレ・クーラーの概略を示す。

(4) 回転式ガス清浄機

二次清浄装置として回転式ガス洗浄機がある。これの代表的なものはタイゼン洗浄機である。図4-15にタイゼンの概要を示す。軸方向より流入するガスに軸に固定させた籠を回転することにより水滴を飛散させ。

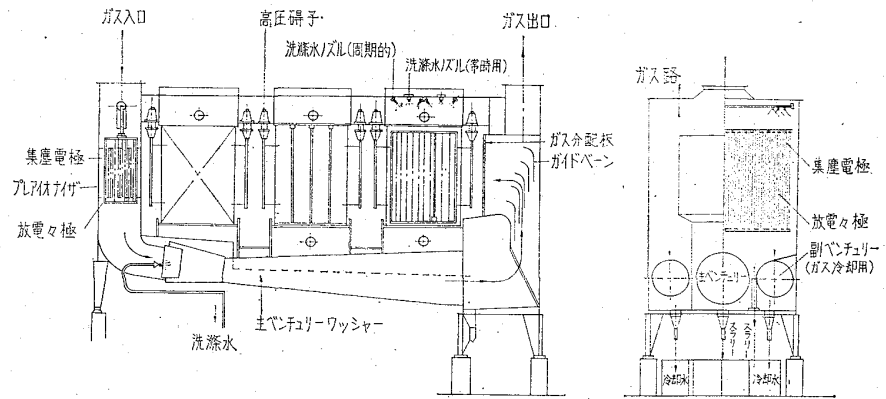


図4-16 ルルギー式集塵器

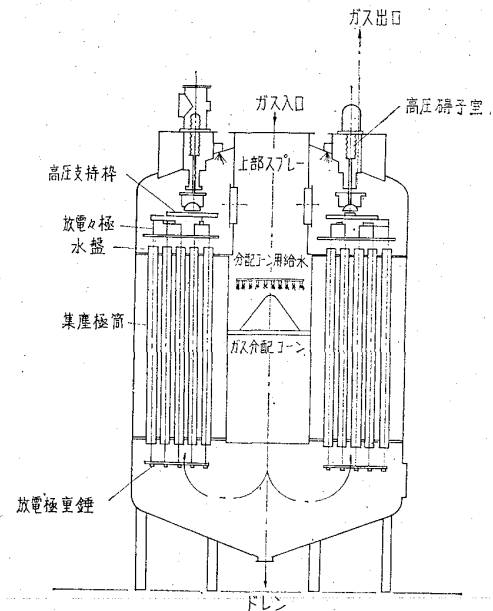


図4-17 ウェスタン式電気集塵器

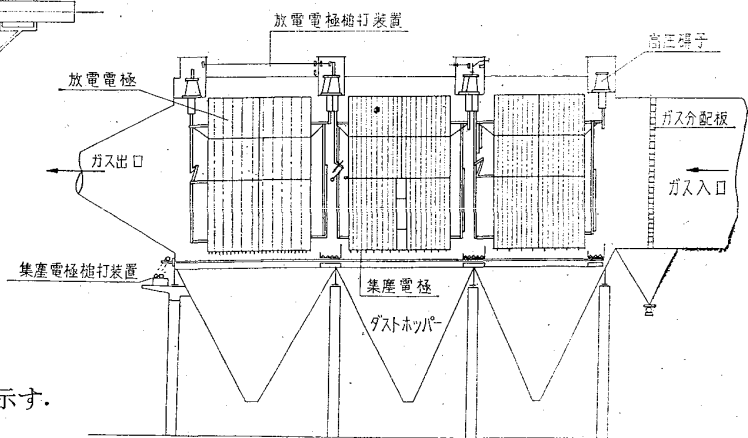


図4-18 乾式電気集塵器

さらに翼車により攪拌し清浄するもので、容量は100,000 m<sup>3</sup>/hのものまで製作されている。しかしこの形式のものは電気集塵器に較べて電力使用量が大であり、清浄度

も劣るので最近は余り採用されなくなつた。

(5) 電気集塵器

現在、集塵装置として最も効率のよいのは電気集塵器である。この種の集塵器を大別すると乾式電気集塵器と湿式電気集塵器となる。電気集塵器の特徴は放電極と集塵極との間に高電圧を加え、その間を通過する物質をイオン化して集塵極に付着させ、この付着ガス灰を水または打撃により脱落させて捕集するものである。図4.16にルルギー式湿式電気集塵器、図4.17にウエスタン式湿式電気集塵器、および図4.18に乾式電気集塵器を示す。

4.6 火入、吹卸

4.6.1 高炉ならびに熱風炉の乾燥

高炉ならびに熱風炉の築造が完了すると、各炉体煉瓦積の乾燥を開始する。通常、熱風炉は乾燥作業に引続き蓄熱を行なう。蓄熱は熱風炉の排気温度に注意しながら熱風炉内温度分布状況を操業期の状態に漸次移行するのであるが、このとき高炉の熱風乾燥を行なうと、熱風炉の切替操作をとまらうので蓄熱が割合円滑にできる。乾燥作業は煉瓦積内部の水分を完全に除去することであるから、昇温は漸進的に行なつて煉瓦および目地の亀裂を防止しなければならない。このため熱源附近が局部加熱され易い直火方式はさけ、ガス雰囲気による間接加熱方式が適切な方法である。

(1) 熱風炉の乾燥、蓄熱

熱風炉の乾燥は稼働中の高炉またはコークス炉の有無により乾燥方法が異なってくる。熱風炉の乾燥には最初燃焼室、および蓄熱室下部より加熱して、ドームのマンホールより排気する方法と、ドームのマンホールを閉め燃焼室下部より加熱して煙道から排気する方法がある。高炉ガス、またはコークス炉ガスが利用できないときは熱風炉の燃焼口前、煙道口前に乾燥用前炉を築造し、燃料として薪、石炭、コークス、あるいは液体燃料を使用する。高炉ガス、またはコークス炉ガスの使用が可能な場合は、最初からこれらの燃料ガスを使用し、仮設の小容量のバーナーで乾燥を始める。高炉ガスを最初から使用する場合は、バーナー部の雰囲気温度が低いため火災が消滅することがある。このため、コークス炉ガスの点火用バーナーを併用することが安全である。またコークス炉ガスを燃料とする乾燥は排気温度が低い間、水蒸気が凝縮して煉瓦表面に水滴となつて附着するため乾燥目

的からみれば最良の方法とはいいがたい。高炉ガス、またはコークス炉ガスによる乾燥前に薪による乾燥を行なうこともあるが、作業を簡略化するため廃止する場合もある。乾燥工程の後期または蓄熱期においては本バーナーから燃焼して煙道に排気する方法に切替えられる。乾燥、蓄熱過程における加熱速度の調節は排気部に熱電対を挿入し排気温度を検出して計画に基づき加熱作業を行なう。また排気中の水分測定は乾燥進行状態を感知するため重要な作業である。熱風炉の乾燥蓄熱期間は通常20~30日で特に初期においては徐々に昇熱することが肝要である。図4.19に加熱面積 30,000 m<sup>2</sup> の熱風炉の乾燥

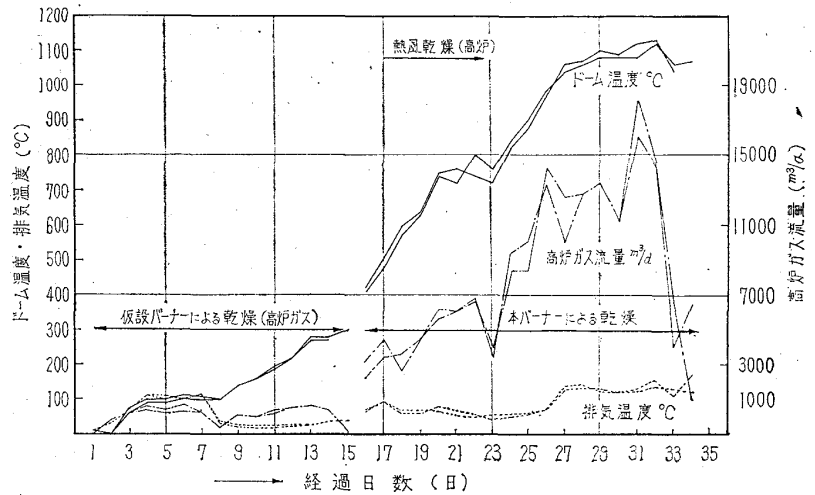


図 4.19 熱風炉乾燥・蓄熱実績例

蓄熱実績を示す。

(2) 高炉乾燥

稼働中の高炉およびコークス炉がなく、また高炉乾燥工程に熱風炉蓄熱が遅れた場合、出銑口、出滓口前に乾燥用前炉を築造して薪、石炭、およびコークスなどを燃料として乾燥することがあるが、近年においては、この種の乾燥方法はほとんど行なわれていない。コークス炉ガスによる乾燥は熱風乾燥前に行なわれることもあるが、最近では熱風のみで乾燥を行なう例が多い。熱風乾燥を行なうときは、通常風量を略々一定にして冷風から始め、徐々に熱風温度を600°C程度まで上昇し、炉頂ガス温度が約300°Cになるまで行なうのが普通である。炉底にカーボン煉瓦を使用するときは、シャモット質煉瓦で保護する。また熱風が炉壁に沿つて上昇するように、炉内に鉄板製の乾燥棚を設置することもあり、その場合吹込羽口には炉壁に沿つて熱風が巡回して上昇するように先端を一定角度に曲げた導管を取付ける。通常、高炉の乾燥期間には15~30日を要する。そして乾燥終了後、填充のため1~2日の冷却期が必要である。熱風乾燥がで

きないときは、薪、またはコークス炉ガスで乾燥を始め  
る。図4・20に内容積 1,279 m<sup>3</sup> の高炉の乾燥実績を示す。

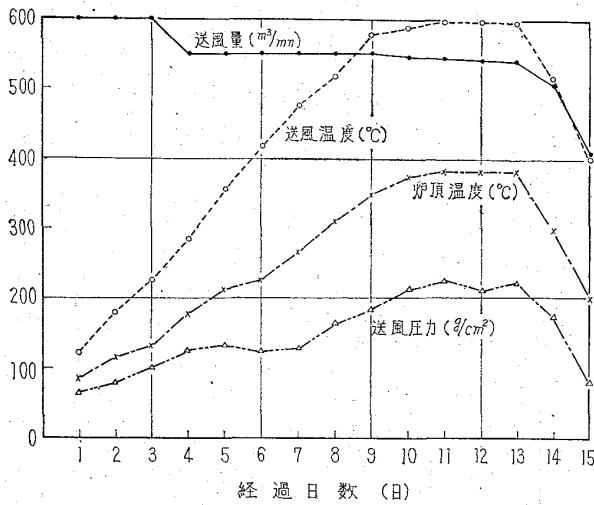


図4・20 高炉乾燥実績

4・6・2 填 充

(1) 枕木 填充

高炉煉瓦積み乾燥が終ると、炉内に装入物の填充を開始する。填充においては送風羽口部から枕木を炉内に搬入し、炉床部に積む。枕木積は下部は粗に上部では密になるようにし、出鉄口、出滓口前部にはガス吹出通路として空間を作るのが普通である。最近の傾向として、枕木の積み方を種々改善し、なるべく枕木数を少なくするようになつた。一般に着火を容易にするため枕木積上部および羽口前面に乾燥した木炭、薪を挿入する。

(2) 高炉原料の填充

枕木填充が完了すると、巻上機および炉頂装入装置などの試運転をかねて炉頂から原料を装入する。填充物としては、コークス、焼結鉱、整粒鉱、石灰石、高炉滓、珪石、および屑鉄などである。最近では還元および造滓性の良好な焼結鉱の使用割合が増加する傾向にあり、全自溶性焼結鉱で吹入れ操作を行なつた高炉もある。また近年は、コークスペース、炉頂部における鉱石コークスの比、および造滓量について検討し、立上り操作速度を速くする方向に改善されている。通常、装入物の填充においては炉内を9~13層に分割して各段について計算假定を設け、これに基づいて原料を装入する。過去の高炉吹入実績から填充計算假定を要約して次に示す。

a. 吹製銑鉄成分 (初湯)

Fe	C	Si	Mn	S+P+Cu+...
90~91%	3.5%	3.0~4.0%	0.8%	0.5%

b. 還 元 率

Fe: 99.0~99.5%	Mn: 65~70%
----------------	------------

c. 鉱石/コークス

最上段: 1.3~1.6 (最近では最上段の鉱石/コークスは増大の傾向にある。)

4 段目: 0.07~0.09

2~3段目: コークス, 石灰石, 鉱滓のみ装入

d. 造 滓 量

最上段: 0.5~0.7 t/t-pig これを基準として、100とし

6~7段: 105~110を最大鉱滓比としてそれより下段

表 4・5 填 充 実 績

段数	高さ (m) (予定)		内 容 積 (m <sup>3</sup> )	装 入 物 kg (1回当たり)							各段における生成量(kg/回)		装 入 回数 (予定)		実 績				
	各段上端より	ストックラインより		コークス	鉄 鑄物焼結	鉄 金 谷	石 計	印 マン ガ 鉄	バ ラ ス	石 灰	鉄	鉄 滓	各 段	累 計	ス ト ッ ク ラ イ ン 各 段 上 端 まで	I 側	II 側	各 段	累 計
9	1.0	3.7	154.6	10,000	12,000	3,000	15,000	240	500	1,350	9,072	4,536	5	55	1.2	1.1	8	59	
8	4.7	3.8	177.2	10,000	9,600	2,400	12,000	190	1,150	1,200	7,274	4,536	6	50	7.0	7.0	6	51	
7	8.5	2.9	167.3	10,000	7,200	1,800	9,000	140	1,750	1,100	5,474	4,536	6	40	9.9	10.1	6	45	
6	11.4	2.7	160.0	10,000	5,000	1,300	6,300	100	2,500	750	3,852	4,536	6	38	12.6	12.9	6	39	
5	14.1	2.3	151.3	10,000	2,900	700	3,600	60	3,100	600	2,239	4,536	6	32	14.7	15.0	6	33	
4	16.4	1.8	140.3	10,000	600	100	700	10	2,900	550	501	3,856	6	26	16.5	17.2	6	27	
3	18.2	3.0	220.5	10,000					2,250	550	78	3,175	10	20	18.2	18.3	11	21	
2	21.2	3.0	212.4	10,000					1,400	700	78	2,495	10		21.1	21.3	10		
1	24.2	4.0	286.0	枕木											24.2	24.2			
計					t	t	t	t	t	t	t	t							
					550	211.8	52.8		4.2	107.4	39.45	162.960	211.380						

になるにしたがい低くし

2段: 50~60で最低比とする。ただし, 近年造滓量を低下するため最上段~6段までは同一造滓量とするような傾向になっている。

e. 鉍滓塩基度, CaO/SiO<sub>2</sub>

最上段: 1.10 2~3段: 0.95

f. 圧縮率

最上段: 5%および2段目: 15%とする場合, また最上段: 10%および2段目: 20%とする場合などがある。

鉍石填充の一例を表4.5に示す。

4.6.3 吹入

吹入に先立つて, 羽口に一重あるいは二重に羽口リングを挿入する。羽口リングは操業条件により異なるが, 例えば鉍鉄製, または銅製のリング (110~120mmφ) と煉瓦製, またはキャストブル製のリング (80~90 mmφ) を二重に挿入している。点火は送風羽口から行ない, 着火を容易にするため 500~600°C 程度の熱風で送風を開始する。吹入後, 炉底部加熱のため出銃口, 出滓口を開口しておき, 炉内ガスを噴出させて点火する。送風開始後10~15時間経過すると, 溶滓が流出し始める。出滓口は自然閉塞を待つ場合もあるが, 出銃口は初出銃作業を

容易にするためマッドで閉塞する。吹入後23~25時間で初出銃を行なう。羽口リングは送風量の増加とともに漸次取除いていく。ガス連絡時刻は既存の高炉設備の有無その他の状況により異なるが, 一般にガス爆発の危険性を考慮して, 炉頂ガスの組成を確認しながら行なう。装入開始と共に装入線を所定の位置まで上昇させ, 計画にしたがって鉍石を増していく。図4.21に内容積 1,243m<sup>3</sup>の高炉の吹入操業実績を示す。

4.6.4 吹入後の操業

初湯は高Si銃となり, 普通約1ヵ月程度は鉍物銃を吹製するが, 製鋼銃の必要性に応じて約1週間程度で鉍物銃から製鋼銃に銃種を変更する場合もある。最近, 放射性同位元素 (Co<sup>60</sup>) を炉壁に埋込み, 炉壁煉瓦侵食状態を測定する高炉が多くなった。富士釜石第1高炉の朝顔部は, 吹入後約1ヵ月でほとんど損耗し, 住金和歌山第1高炉の朝顔部は50~70日経過して内壁より300 mmの位置まで侵食された。このように吹入後, 短期間に朝顔部周辺の炉壁煉瓦は侵食されることも多いようである。吹入後は銃鉄生産計画に基づき, 逐次増風して通常操業条件まで移行するのであるが, 近年装入原料の事前処理の強化により, 過去の高炉に比較して操業速度を早く上昇させることが可能となり, また吹入後の炉況不調はほとんどみられなくなった。

4.6.5 高炉の寿命

高炉本体の寿命は, シャフト下部, 朝顔部, 炉床部, および炉底煉瓦積の物理的・化学的の損耗により決定される。したがって近年, 炉命延長の対策として高炉は次のように改良された。

- (1) 鉄带式より鉄皮式への改造。
- (2) 煉瓦品質の向上, 特に炉床および朝顔部にカーボン煉瓦の使用。
- (3) 炉体冷却の強化など。

この他, 高炉操業条件を改善し, 安定した操業を継続することは, 炉命延長に非常に効果を与えるものである。高炉原料の事前処理はこの目的に対しても極めて有利な結果をもたらしたものと考えられる。しかし, 高炉吹卸は単に高炉本体の寿命によつてのみ決定されるものでなく, その他の経済的な理由などにより行なわれる場合も多い。表4.6に過去数年間に吹卸された高炉の総出銃量ならびに炉命を示す。

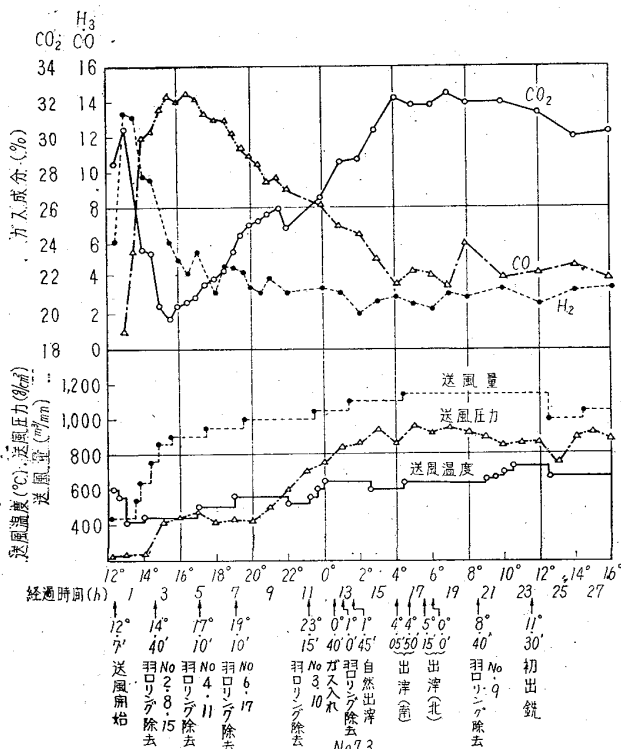


図4.21 高炉吹入操業実績 (神鋼・神戸)

表 4.6 高炉炉令ならびに総出銑量の実績

高 炉 名	吹入年月日	吹卸年月日	炉 命	総出銑量	公称能力
鋼管川崎 No. 4	S 24. 6. 15	S 31. 6. 1	(年月) 6. 11	( $\times 10^3$ t) 1,560	(t/d) 600
鋼管鶴見 No. 2	S 26. 1. 27	S 31. 12. 10	5. 11	739	300
住金小倉 No. 2	S 26. 1. 31	S 32. 4. 30	6. 3	812	350
八幡洞岡 No. 3	S 26. 3. 10	S 30. 7. 30	4. 5	1,477	1,000
富士室蘭 No. 2	S 26. 10. 1	S 32. 6. 30	5. 9	1,377	700
富士釜石 No. 1	S 27. 8. 28	S 33. 8. 15	6. 0	1,622	700
八幡洞岡 No. 4	S 27. 12. 1	S 36. 6. 30	8. 7	3,630	1,000
鋼管川崎 No. 5	S 27. 12. 15	S 35. 2. 1	7. 1	1,927	600
富士広畑 No. 1	S 27. 12. 25	S 32. 4. 1	4. 3	1,491	1,000
中 山 No. 2	S 28. 8. 18	S 34. 4. 2	6. 1	1,153	450
尼 鉄 No. 1	S 28. 4. 1	S 34. 12. 1	6. 8	1,045	400
富士室蘭 No. 1	S 28. 5. 26	S 34. 8. 4	6. 2	1,675	700
川鉄千葉 No. 1	S 28. 6. 17	S 36. 8. 17	8. 2	2,403	600
富士釜石 No. 2	S 29. 12. 1	S 36. 6. 30	6. 7	2,002	700

4.6.6 吹止操業

従来の吹止要領は吹止後の炉内装入物の取出作業を容易にするため、コークス割合を増加した軽装入操業とし、吹止直前に装入線を大中に下げて吹止する 경우가多いようであった。しかし、この作業方法は炉内空間を拡大してガス容積を増し、また炉頂ガス温度が上昇し、炉頂ガス爆発の場合に被害を増大する懸念があつた。この対策として近年の吹止操業では装入線を変更せず吹止することが多くなつた。吹止前は、溶銑、滓の流動性に悪影響を与えないよう装入物の化学的組成について考慮

せねばならない。吹止のため軽装入物に切替えた後、送風量ならびに送風温度を漸次低下させる。この場合、軽装入物のため炉内通気抵抗が極めて低く、炉頂ガス温度は上昇し易い。一般に炉頂ガス温度の上昇に対しては装入直前に装入物に注水する。吹止後、直ちに炉底に臨時出銑口を開孔し、完全に溶銑と溶滓を取出す。その後、炉頂から注水して内容物を冷却し羽口附近から掻出す。図4.22にS36年6月30日に吹止された内容積1,183 m<sup>3</sup>の高炉の吹卸操業実績を示す。また図4.23に同高炉吹卸後の炉壁侵食状況を示す。

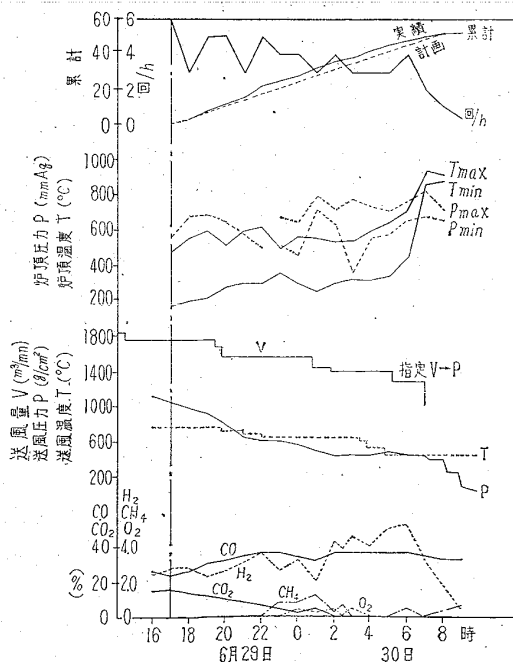


図 4.22 高炉吹卸操業実績例 (八幡・洞岡)

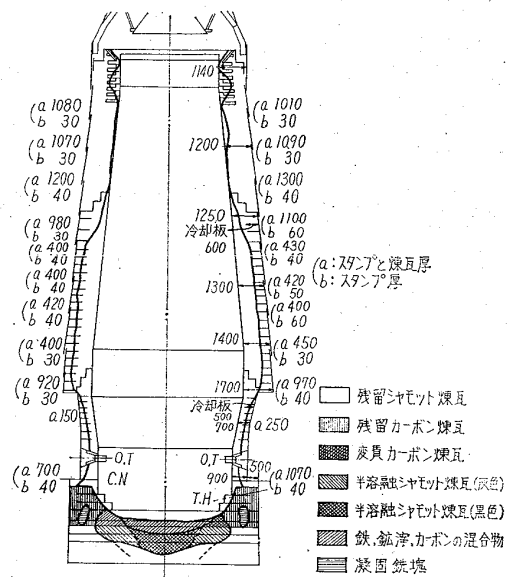


図 4.23 吹卸後の炉壁侵食状況の一例 (八幡・洞岡)

図4・23から明らかであるが, 最近の炉壁侵食状態の傾向としては, 先ず原料処理が改善されたため, 炉胸部の附着層はほとんど見られなくなつた。それと同時に, 朝顔, 炉腹, 炉胸下部ライニングの損傷が著しくなつたように考えられる。過去の高炉においては湯溜部ライニング

の損傷によりしばしば吹止されることが多かつたが, 近年においては, 炉底, 炉床, および朝顔ライニングにカーボン煉瓦を使用したため, この部分の損耗は少なくなつている。