
製鋼工場の設備改善・環境対策

Improvements in Working Environment at Steelmaking Shops

中島 整二(Seiji Nakajima) 西村 敏之(Toshiyuki Nishimura) 青木 正夫(Masao Aoki) 高德 芳忠(Yoshitada Takatoku) 垣内 博之(Hiroyuki Kaito)

要旨：

川崎製鉄(株)西宮工場の製鋼工場では、今回電気炉ヤードから造塊ヤードに至る建屋集塵装置を設置するとともに、電気炉周辺に作業環境と生産性向上を目的とした諸設備を導入し、本年2月に稼働以来順調に成果をあげつつある。これらの中から、(1)コンピュータで制御される省エネルギー型建屋集塵装置(2)遠方で計量し、コンベア搬送後、炉内に自動投入する副原料投入装置(3)電気炉熱間補修機(4)局所集塵ダクトを備えた下注造塊作業場について新しい技術を中心に報告する。

Synopsis：

An efficient dust collection system covering melting and casting shops at Nishinomiya Works came into operation in February, 1976. The blowers and dampers in this system are controlled by a process computer so carefully as to minimize the energy consumption without ill effects on dust collection efficiency. In order to increase output and labour productivity as well as to improve working environment, the following automatic units were also introduced: (1) Charging system including the remote control of weighing, transferring and chuting into two electric arc furnaces.

(2) A fettling machine for the repair of furnace lining in place of manual gunning machine. (3) A dust collection system under bottom pouring deck together with a means for Ar purging of the air out of moulds, the introduction of which led to the device of an automatic meniscus measuring instrument and an automatic weighing and chuting device for meniscus insulating powders.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

製鋼工場の設備改善・環境対策

Improvements in Working Environment at Steelmaking Shops

中 島 整 二*

Seiji Nakajima

西 村 敏 之**

Toshiyuki Nishimura

青 木 正 夫***

Masao Aoki

高 徳 芳 忠****

Yoshitada Takatoku

垣 内 博 之*****

Hiroyuki Kaito

Synopsis:

An efficient dust collection system covering melting and casting shops at Nishinomiya Works came into operation in February, 1976. The blowers and dampers in this system are controlled by a process computer so carefully as to minimize the energy consumption without ill effects on dust collection efficiency. In order to increase output and labour productivity as well as to improve working environment, the following automatic units were also introduced:

- (1) Charging system including the remote control of weighing, transferring and chuting into two electric arc furnaces.
- (2) A fettling machine for the repair of furnace lining in place of manual gunning machine.
- (3) A dust collection system under bottom pouring deck together with a means for Ar purging of the air out of moulds, the introduction of which led to the device of an automatic meniscus measuring instrument and an automatic weighing and chuting device for meniscus insulating powders.

1. まえがき

製鋼工場の電炉精錬や造塊作業は、従来、高熱、騒音、粉塵、煤煙を伴う重筋労働を必要とし、作業内容、作業環境および公害対策の各面において問題を生じやすいプロセスであった。

これに対し西宮工場の製鋼工場では、公害対策と環境改善を兼ねて、業界に先かけ直接集塵機を電気炉に設置しかなりの成果をあげてきた。しかし、工場全体としての環境改善はまだ十分とはいえなかった。そこで公害・環境対策と作業の軽度

化、省力化、効率化をいっそう推進するために、今回以下に述べるような諸設備を導入し、本年2月から運転を開始した。その設計にあたっては

- (1) 既設設備の移設または大きな改造はしない
- (2) 操業停止期間をなるべく短くする
- (3) 各設備相互を効率的に結合することを目標とした。

2. 建屋集塵設備の新設

当設備は、製鋼工場の40t電気炉2基を中心とした一連の諸設備から操業中に発生する含塵ガス

• 西宮工場企画部副部長
 *** 西宮工場環境管理室課長
 ***** 西宮工場製造部製造技術室掛長

** 西宮工場企画部設計課掛長
 **** 西宮工場管理部技術管理室掛長

を集中処理するものである。従来から電気炉には直接吸引集塵設備を設置し、溶解期、酸化期、還元期などの廃煙を炉天井より直接吸引し処理していたが、天井蓋を開いて行うスクラップ装入、出鋼、床修理などの作業時の廃煙捕集は不可能であった。当設備は、これらの廃煙と併せて製鋼工場の他の発煙箇所である第1、第2造塊場、真空脱炭(VOD)設備、ASEA-SKF式取鍋精錬設備から発生する含塵ガスも捕集処理するものである。

当集塵設備の特徴は、コンピュータを用い、散在する前記6箇所の諸設備から発生する含塵ガスの刻々と変わる風量に応じて2台のプロア各々の起動停止、回転数変更、プロアダンプおよび各所のフードダンパの開閉等を行うことにより、吸引風量をきめ細かく調節することにある。

従来よりプロセス用コンピュータは、生産品質や生産量確保のための制御にはひろく使用されているが、集塵設備に対して用いられたことは、いまだ耳にしない。しかし、当設備では集塵効率の向上と設備コストおよび生産コストの低減を志向して、以下に示す主たる三つの目的を達成するためにコンピュータの導入を決定した。

すなわち一つは、全くランダムに含塵ガスが発生し、それらを積み重ねた総和の風量を処理しようとするれば当設備が膨大なものとなるので、可能な限り発煙作業に優先あるいは待機を選択指示することにより、総和を削減して設備容量を縮小することである。二つには、フードダンパの吸引制御は適時適量に応答していっさいの過剰吸引を避けることである。一方、プロア運転では必要吸引圧を上回ったり、空運転を与えたりして余分なエネルギー消費を避けるため、いわゆる省エネルギー運転をめざしたことである。三つには、前述の二つを実行するために、人手とリレー回路群との組合せをどのようにうまく考えてもオペレータの負担が大きくなることが予想されたので、操作をコンピュータに任せて省力化を図ったことである。

2.1 設備概要

主な機器仕様を以下に示す。

集塵機本体：ポリエステルバグフィルター使用 (処理ガス量 25 000m ³ /min)	1基
送風機：ターボ型送風機	2基

(風量 12 500m³/min, 圧力 350mmAq)
送風用電動機：巻線誘導型 1100kW 2基
(回転数制御範囲 300~600rpm)

制御用コンピュータ：YODIC-100

(コアメモリ 20kW, PTR, T/W付)

フードダンパ：4枚羽根対向型ルーバ 26枚

当集塵装置は大別すると図1に示すような各電気炉別フード、第1・第2造塊フード、ASEAフード、VODフード、主ダクト、主排風機、集塵機、ダスト搬出処理装置からなっている。

含塵ガス発生各設備の上部付近に設置されたフード(電気炉各8分割、第1造塊2分割、第2造塊7分割、ASEA4分割、VOD3分割)は含塵ガスを吸引するためのものであり、建屋のモニタおよび屋根を全閉するよう改築して設けられている(図2参照)。各フードごとのガス吸引量はフードダンパにより調整、配分される。

各所より集められた含塵ガスは、主ダクトを経て主排風機により吸引され集塵機へと送り込まれる。集塵機は図3に示すようにボトムインレット方式であり、約23 000m²の汙布で吸引ガス中の粉塵を99.9%以上汙過し、ガスを完全に清浄なものにする。出口におけるガスの含塵量は0.001g/Nm³以下である。汉布に捕集された粉塵(ダスト)は定期的に払い落とされ、ダスト搬出処理設備の造粒機により粒状に成形されたあと搬出される。

2.2 ガス吸引量の配分・制御法

2.2.1 ガス発生状況と風量配分

操業の経過に伴い変化する発生ガス量を図4に例示する。電気炉の場合は、対象鋼種と精錬内容により数種類の基本的パターンがあるが、他の設備は各々ほぼ同じパターンのくり返しである。したがって、それぞれの工程の発煙状況をガス量と標準時間で整理しておけば、現在の必要風量や5min後にそれがどう変化するかを推定できる。実時間の標準時間に対するバラツキは約±5%である。各設備での予測値を合計した5min後の予測総風量、現在の実総風量をもってプロアの運転台数を決める一方、総量がプロア2台の最高能力25 000m³/minを越えるときは、待つことができな

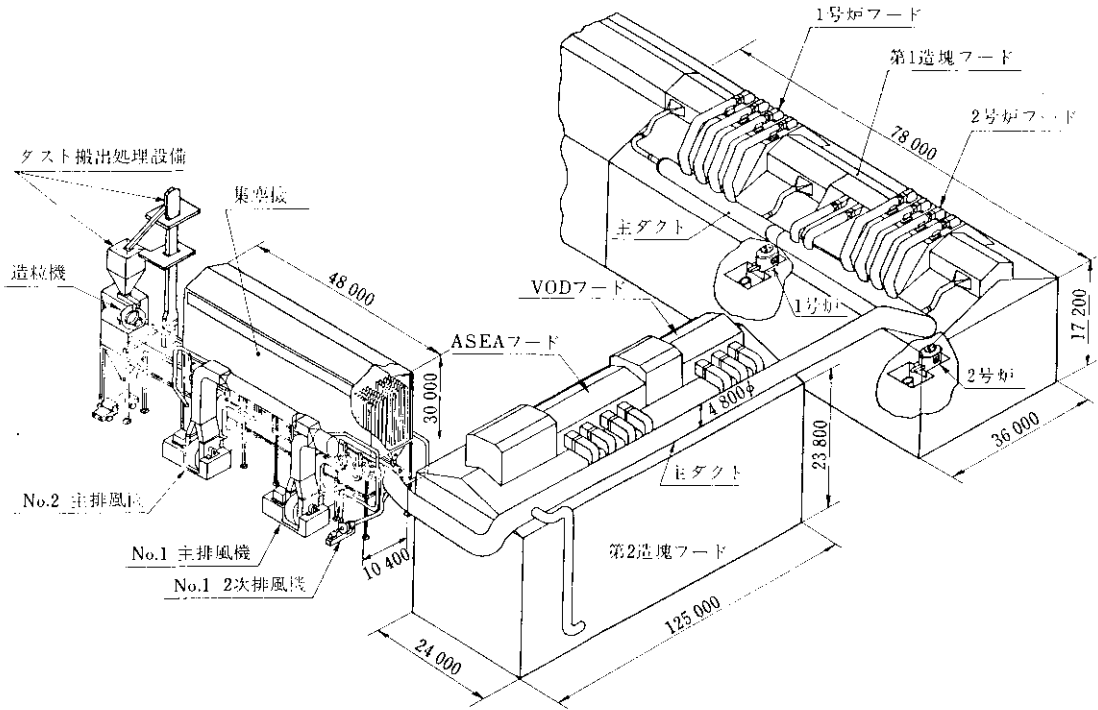


図 1 建屋集塵設備構成図

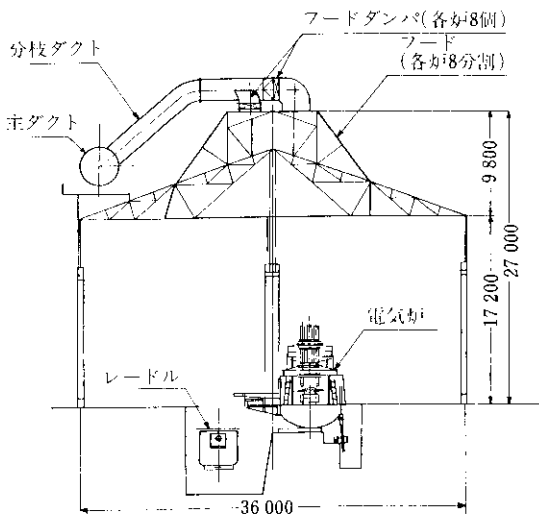


図 2 電気炉フード取り付け断面図

業（これはあらかじめランプで案内されている）のボタンを押し、準備完了または待機の信号によりその工程作業開始の可否を知る。

次に発煙の状況をミクロ的にとらえてみる。たとえば、電気炉の出鋼の際の発煙状況は、その中心部は高温のため上昇速度が 10m/s 前後と高いが、

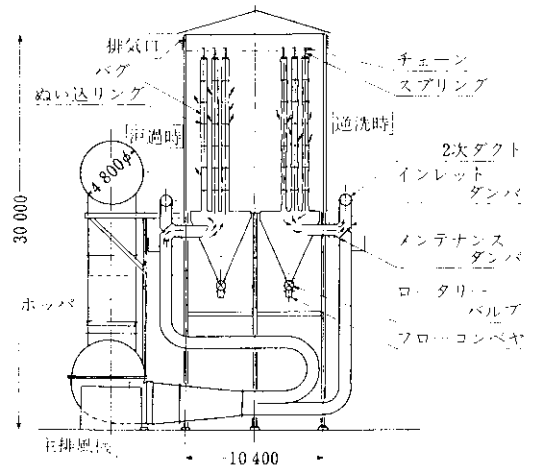


図 3 集塵機断面図

い設備の吸引を優先させ、そうでないものを待機させるといった選択を行わせるようにした。

この優先度は各設備の各工程を 1 本化した形で上位より順を付けている。各設備で作業するオペレータはローカル操作盤で今から行おうとする作

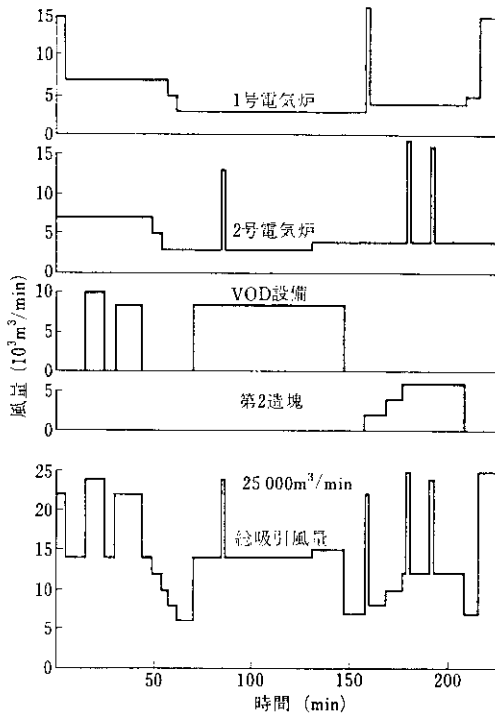


図 4 発生ガス量のパターン例

周辺に向かうに従って温度が下がり上昇速度も小さくなって行く。したがって、出鋼に際しては出鋼口および鍋が位置する直上のダンパ 2 枚は全開とし、その両側の各 1 枚は半開とする。このように煙の上昇速度分布に合致した吸引速度分布を各ダンパに持たせることにより、最小の吸引量で最大の効果を発揮できる。他の設備についても同様で、これをダンパ開度比率のパターンと称してコンピュータに記憶させておき、各工程の吸引風量、標準時間、優先度に応じた開度制御を行わせている。

2・2・2 パターン制御

分岐されたダクトにより数箇所からの吸引を行っているとき、どこかに発生ガス量の変化が生じてそのダンパの開度を変更しようとする、必然的に他所からの吸引量も変わるので他所のダンパ開度も変える必要が生じる。数箇所にあふ各ダンパ開度の設定は繁雑をきわめるので、筆者らは(株)河電機製作所の担当者の協力を得て、抵抗-電流回路によりダンパと分岐配管系統のシミュレーションを行った。その結果、各フードダン

パの適正開度は、1 次多元方程式の解として近似的に算出可能との確信を得たので、実機においてもこの手法を用いて行うことにし、これをパターン制御と名付けた。

一方、この新しい制御法の万一の危険を考慮して、ピトー管を検出器とする流量制御のループも用意した。パターン制御を第 1 に考えたのは、ダストのつまり、堆積によりピトー管が使用不可能となることを恐れたためである。

当集塵設備の設置完了後、実運転に入るまでの間に吸引風量を種々変化させて、上記の 1 次多元方程式の各係数を実機について決定するとともに、流量制御も試みてこの制御系の PI の最適係数を定めた。実運転では両方式とも可能なことが実証されたが、現在ではパターン制御方式で運転を行い、ピトー管は流量指示の監視に用いている。

2・2・3 プロア制御

プロアの負荷を変える手段は、プロアダンプの開閉と回転数の変更の二つがあり、当設備においてはこの二つを併用している。この場合、省エネルギー効果の大きいのは当然後者の方であるため、これのみを用いることも考えたが、大型のプロアモータの回転数を常時変更して用いるのはあまり実例がなかったのでダンパの開閉も加えた。モータは頻繁な起動、停止に耐えうるもので、回転数も常に変更することのできる巻線誘導型・2 次側抵抗器付きとした。コンピュータにより常時算出される総吸引風量に応じた運転台数と起動・停止順位を決め、回転数またはダンパの開度を指定する。このほかに起動、停止の際の入側ダンパの開閉操作、プロアの異常振動や冷却水の監視、逆洗用 2 次プロアの運転なども自動化した。

以上に述べた計算機制御のループを図 5 に示す。

2・3 運転結果

本設備は稼動当初の調整が非常に少なく、その後何の支障もなく順調に運転が続けられている。

まず、予想以上に良好だったのが各フードダンパの制御性と気密性である。これは対向型ループを用いたこと、一部にゴムシールを施したことが効を奏して、ダンパ開度-風量の直線性が非常に良好であり近似式に十分乗ったこと、全閉的の気

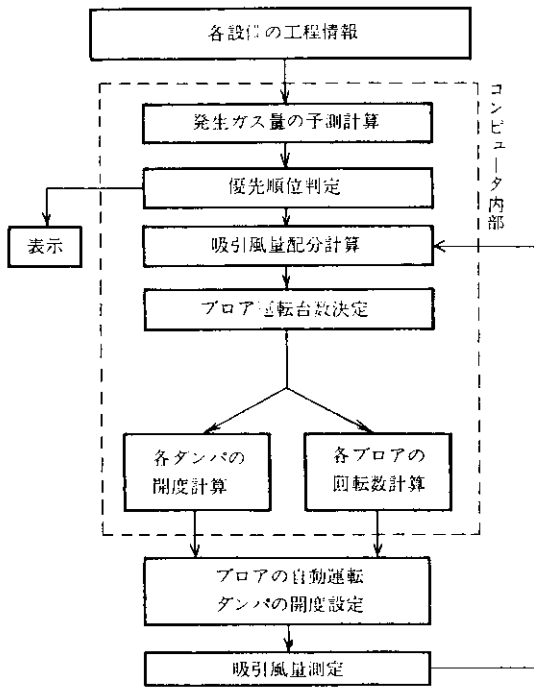


図5 吸引風量の計算機制御ループ

密性が良く全体の風量計算が単なる和の形で十分であることにある。このため、パターン制御が容易になった。

また、総数 26 枚のフードダンパの中の数枚がいつせいに作動することにより、主ダクトの圧力が極端に変わることが心配されたが、回転数制御の追従性の改善、補助ダンパの一時的な自動閉鎖により避けることができた。補助ダンパは、本来、ヤード天井に残留する含塵ガスを除去するため 3 箇所にわたって設けたものであるが、フロアダンパと組合せて過渡的の圧力制御に有効に利用できた。

このほか、廃煙のフードによる捕集効率の面で

は若干不安はあったが、先に述べた一連のダンパに設定した開度比率のパターンと吸引風量の数次にわたる修正により難なく解決し、煙の漏洩とか残留は全く見られない。

フロア運転とフードダンパ開閉の制御方式の組合せによる消費電力の比較を表 1 に示す。処理風量あたりの電力は回転数制御のほうがダンパ開度制御より少ない。したがって現在はこの制御方式を行っている。

さらに、この制御方法の有効性確認のためにフロアをフル回転させた場合の電力と比較してみると、その省エネルギー効果は約 60% にも及ぶ。このことから、たとえ集塵設備といえども緻密な制御がいかに有効であるかがうかがえる。

3. 副原料装入装置の自動化

3.1 設備概要

2 基の電気炉の溶解、精錬、還元、仕上期等に装入する 10 種類あまりの合金鉄、副原料の計量切出しと炉への装入作業は、従来ホップスケールで計量したものをチャージングマシンを用いて除滓口から装入するか、または手で投入していた。

そこで、この作業の効率化、作業環境の改善および省エネルギー見地から設備近代化の検討を重ね、コンベア付台秤と搬送・装入設備を採用し一連の自動化を図った。

本設備は、各種原料をバンカへ供給する受入系統、所定量をバンカより切出す計量系統、切出された各種原料を炉側まで運ぶ搬送系統および電気炉へ装入する装入系統と、これらを統括制御する制御回路、操作盤、データ処理装置より構成され

表 1 建屋集塵機の電力効率比較

制御方法		電力効率 (kWh/10 ³ m ³)	処理風量 (10 ³ m ³)	消費電力 (kWh)	出鋼回数 (ch)	日時
フロア回転数	パターン	1.38	30 602	42 300	17	3~5, Mar.
	流量	1.26	34 078	42 900	16	5~7, Mar.
ダンパ開度	パターン	1.91	24 025	46 000	13	1~3, Mar.
	パターン+圧力	1.80	32 724	59 000	19	7~9, Mar.
	流量	1.79	32 803	58 800	18	9~11, Mar.

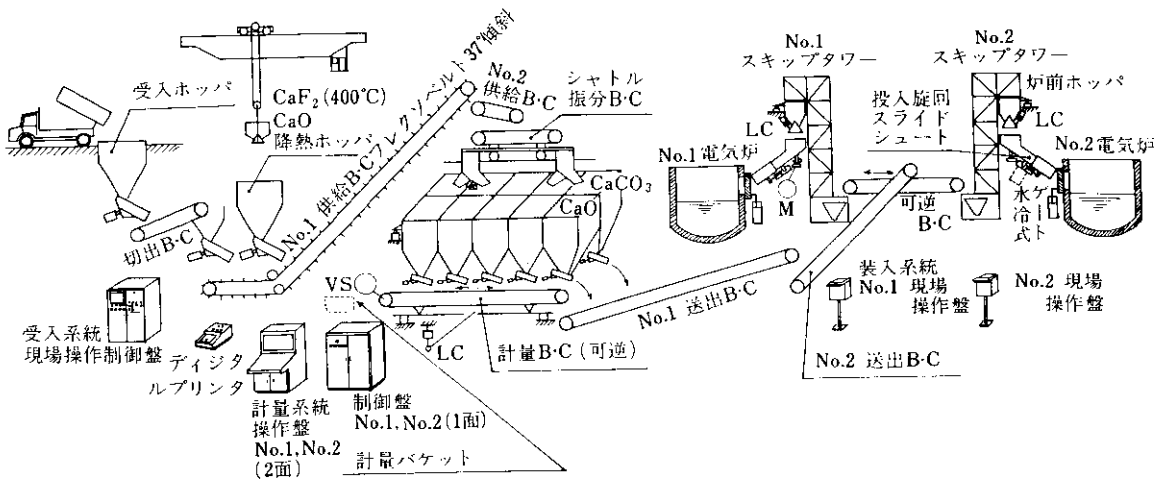


図6 副原料投入装置構成図

る。設備の構成を図6に示す。

なお本設備の基本設計は当社，受入・計量・搬送系統の設計，製作は川鉄計量器械，装入系統の設計，製作は石川島播磨重工業㈱がそれぞれ行った。

(1) 受入系統

各種原料は，通常ダンプカーで搬入し受入ホッパに投入する。この受入ホッパから切出しフィーダ・傾斜ベルトコンベアでバンカ上に搬送し，振分ベルトコンベアと切替ダンバにより所定のバンカに連続供給する。バンカを各々独立に2点ヒンジ式のロードセルで支持し，バンカ内残量を受入ホッパ前に表示する。

(2) 計量系統

バンカ下部にベルトコンベア付きの台秤を設置し，バンカより切出された原料をこの台秤のロードセルで検出する。また多銘柄の累積計量を行うときは，次の銘柄を計量する際に前銘柄の計量値を自動零調させ，各銘柄の切出精度の向上を図っている。原料の実測重量は鋼番，銘柄とともにデジタルプリンタで記録する。

(3) 搬送系統

計量した原料は，ベルトコンベアで搬送し，可逆式コンベアで2基の電気炉に設けられたスキップタワー式バケットエレベータのバケットに搬入し，炉前貯蔵ホッパに投入する。この貯蔵ホッパは，2点ヒンジのロードセルで受けられており，ホッパ内に投入された原料の重量を操作盤に表示して，

原料の有無と切出量を確認し，また搬送機とのインターロックをとり安全性をもたせている。

(4) 装入系統

原料の装入は，炉側面の装入口のゲートを開き，貯蔵ホッパ下のシュートの他端を装入口に接続し，ホッパ下部ゲートの開閉により炉内への原料の装入を調整する。

3-2 設備の特徴

本装置を設置することにより，複数銘柄の原料を押ボタン操作によって遠隔操作で装入できるようになり，作業環境が大幅に改善された。

この装置の問題点は，数連のベルトコンベアを使用しているためコンベア間の乗継ぎ部での発塵があり，現在局部集塵を計画中である。以下に本設備の特徴を列挙する。

- (1) 可逆ベルトコンベアを設置することにより，一連の受入・計量・搬送装置で2基の電気炉へそれぞれ独立に装入できる。
- (2) 自動零調機構により，10種類の銘柄に対し1台のコンベア付き台秤で銘柄ごとの累積定量切出しが精度よく行える。
- (3) 急勾配コンベアにフレキシベルトを使用し，据付面積を縮小した。
- (4) 各ベルトコンベアはできる限り密閉式とし，粉塵の発生を抑えた。
- (5) 各バンカを独立に2点ヒンジ式ロードセルで支持し，原料の残量を電気炉機側で確認できるよ

うにした。

(6) 装入時の待ち時間をなくすため、スキップタワーのバケットと炉前貯蔵ホップの2ヶ所に原料を待機させることができる。

4. 熱間補修機の改善

従来電気炉の出鋼後の補修は、炉前除滓口より炉修材ガンを装入し、作業員がこのガンを保持して行っていた。この作業は炉前作業であるため、炉の輻射熱が直接作業員に影響していた。

この対策として今回設置した熱間補修機は、吹付ノズルを炉側に設けられたポストにより支持する形式で、作業員は吹付状況を監視し、押ボタン操作によりノズル位置、吹付量のコントロールを行うようになった。本装置は炉修機本体、油圧ユニットおよび制御装置から構成されている。図7に設備の外形を示す。

炉側に置かれた操作箱の押ボタンにより水冷アームの昇降・旋回、ノズル回転の操作をし、圧送装置から送られた炉修材をノズル先端で噴霧状の水と混合しながら炉壁面に吹付ける。圧送装置の起動、停止および混合水用電動弁の開閉・流量制御もこの操作箱で操作できる。

本装置は遠隔操作が可能であるため、作業環境は大幅に改善され、また従来補修が困難であった除滓口付近も他の位置と同じ程度の補修が可能となった。しかし、炉頂からノズルを装入して炉修

を行うため装置全体が高くなる。またアーム旋回、ノズル回転等の高温にさらされる機構の点検、修理が高所作業となる。さらに、炉修材供給パイプの曲がり部およびノズル部の寿命延長のための材質改善、炉修時間の短縮等が今後の検討を要する問題である。なお本設備の設計、製作には石川島播磨重工業(株)の協力を得た。

5. 造塊注入設備・操業法の改善

製鋼工場の注入作業場は、鑄型内面塗布材から発生する多量のガス、押湯保温材投入時の粉塵、高熱など作業環境が非常に悪い。また注入時にはクレーンに対する合図、注入速度調整、湯道管理、保温材投入作業などいろいろな作業が行われる。このような状況下で環境改善、省力化を図る場合、作業性を損うと製品品質の低下に直結する恐れが強い。そこで作業性や品質を良好に維持しながら上記目的を達成するよう改善の努力を傾けた。新設の作業場集塵装置を図8に示す。

注入管通路以外の造塊作業用装置はすべて作業デッキの下に設けられている。注入台車上に据付けた定盤、注入管、鑄型をこのデッキの下に搬入し、その周囲に設けられた集塵フードで作業に応じて設定された風量を吸引する。この場合、各ダンパは前述の建屋集塵設備と共通のコンピュータの指令により作動する。この集塵装置により作業環境が改善されるが、省力、品質向上については以下に示す方式により改善した。

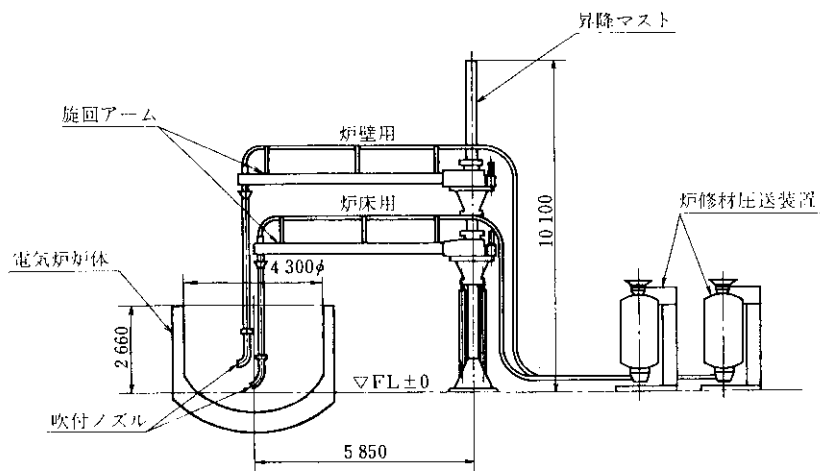


図7 熱間補修機外形図

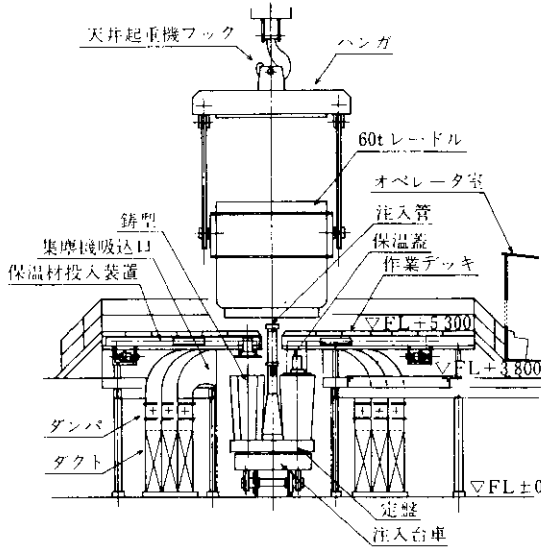


図 8 造塊集塵設備概要図

(1) 鋳込量の管理

取鍋ハンガー内に秤量 140t の引張型ロードセルを組み込み、鋳型への注入速度 (0.1~10.0t/min)、鋳込量 (0.1~60.0t) の信号をオペレータ室に送り、オペレータ室でそれらの調節ができるようにした。また注入管や定盤内での閉塞、湯もれ等の事故による片上りを監視するため吊下げ電極式の湯面計を作り、取り付けた。これは湯面への接地信号ごとに一定量ずつ電極巻上げをくり返し、総巻上げ距離で湯面レベルを表示するものである。

(2) 鋳型内雰囲気調整および保温材投入装置

鋳型上には保温蓋が自動的にセットされ、保温蓋に取り付けられた最大流量 150l/min の Ar 吹込装置により鋳型内に Ar ガスを導入し、保温蓋のシール効果とあいまって鋳型内に良好な非酸化性雰囲気を持続する。したがって、通常の下ノズル注入管シールと組合せることにより、鋳型塗料、表面被覆材等を全く使用せずに良好な鋼塊を製造することができる。また、この保温蓋には押湯保温材等の投入装置が取り付けられており、容

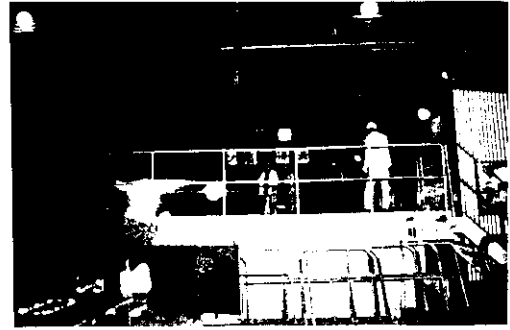


写真 1 注入作業中の第 2 造塊場
(デッキ下で集塵を行っている)

量 50l のホップから 1 回に 15~30kg の保温材を切出し、前記の鋳込量計や湯面計により判定される適宜の時期に鋳型内へ投入できる。

以上のような諸改善実施後すべての設備が順調に稼動し、現在安定した注入を行っている。1 定盤あたり注入時 2 000m³/min、押湯保温材投入時 2 000m³/min、冷却時(注入 30min 後)1 000m³/min の吸引風量で集塵すると、写真 1 に示すように目視による粉塵発生の無い、さわやかな環境となる。ただし、上記の吸引量をそれぞれの時期において 500m³/min ダウンさせるとかなりの粉塵が認められる。また、クレーンが設置されたオペレータ室で計測信号の確認とボタン操作で注入作業を行うので、注入者の高熱作業、重筋作業は回避できた。現在は稼動して間もない状態であるので省力は完全には行っていない。しかしながら従来の 5 名作業から 2 名 (1 名はオペレータ室、1 名は起重機との合図) に省力可能と見込まれる。このほか注入速度、注湯量、押湯保温材投入時期の管理精度が向上したばかりでなく、鋳型上面のシール性が従来法に比べて非常に良くなり、鋳型内雰囲気中の O₂ が塗料造塊の 0.5~2.0% 程度から 0.4~0.6% に安定して低下した。また、鋳型塗料、衣材、表面被覆材をまったく使用せず、Ar ガスだけで 0.4~0.6% の O₂ 濃度に鋳型内を保つことも可能になった。

出願中の工業所有権

- 1) 特願昭 51-20015、電気炉等の複数の含塵ガス発生源を持つ建屋集塵装置の集中制御方式、甲陽建設工業(株)と共同出願

- 2) 特願昭 50-105711, 熱間補修装置, 石川島播磨重工業(株)と共同出願
- 3) 実願昭 49-125221, 溶鋼下注ぎ造塊における付帯装置

