

# 製鉄技術の現状と大学における製鉄研究

金 森 九 郎

わが国の製鉄技術は諸外国にくらべて、決して恥ずかしくない現状である。しかし、その一面、戦後における外国技術および特許の導入と、機械設備の輸入に注目する必要がある。

もちろん、これは、かつてのソ連が、また現在の新中国が、すべてを受け入れ、教を乞い、そして「追いつけ、追い越せ」の方策をとったことと同じことかも知れない。

しかし、わが国も、すでに一人前の製鉄国家になった現在、これからは、地に足のついた日本独自の製鉄技術が生まれていいのではないだろうか。また、そうでなければならぬのではなからうか。

そのためには、過般、ヨーロッパで、数カ国が協同で

「酸素製鉄」の研究を行なったように、日本の国内でも、共通する技術問題について、各社の共同研究を行なう必要があると思う。

そのためにこそ、中立の立場にある各大学の研究者陣が協力してゆくべきである。

もちろん、大学においては基礎研究的なことも大事であるが、また、その研究者が生産工場の実態と密接な接触を持ち、将来の製鉄業のための研究の焦点を掴みながら、研究を進めるべきである。

要は、日本の製鉄業を将来真に発展させるためには、日本独自の製鉄技術を真剣に開発すべきである。そのためには、工場の技術者も大学の研究者もお互いに力を合わせてゆくべきである。 (1960. 8. 5.)

## 1 トン試験高炉の設備について

和 泉 沢 信

### 1. 概要

昭和 30 年 3 月に第 1 次の火入れをおこなって以来、35 年 3 月まで、5 年間、10 次にわたる操業を経過した。

第 1 次操業の目的は、全設備の総合試運転と基準操業の諸条件をつかむことにあったが、火入れ後、15 時間で炉底破れがあり、さらには、熱風炉の熱交換器の破損により、冷風操業を余儀なくされ、目的を達することはできなかった。第 2 次操業では、1 次での欠陥となった熱風炉の改造、炉底破れ部分の改築、装入系統の改造をおこなった。しかし、依然として炉底破れはさけられず、カーボン材による湯溜り部は放棄し、高周波によって、溶銑を直接加熱する方針が決定された。また、ストックラインにおける装入物の分布形が調査され、下部ベルの下にディストリビューターを取り付け、これを改善した。また、コークスのサイズは、羽口前の旋回運動と通気性に関する基礎実験により、決定された。その他、第 3 次操業では、溶銑を高周波で直接加熱するために、コイルを第 2 次炉より上げ、出滓孔側を高く、出銑口側を低くした。湯溜り側壁部に、銅製の水冷バンドを巻き冷却した。普通羽口と吹精羽口は、ジャケット部を短くして、熱的条件を改善した。検尺計は、ロッドを水冷鋼管とするほか、R.I 検尺計の試作もおこなった。そのほか、スラグ塩基度調節用の石灰吹込装置およびガス清浄装置を設置した。こうして、第 3 次にいたり、ようやく、1 トン炉

としての操業条件をつかむことができた。

4 次および 5 次操業では、脱クロム試験がおこなわれ、一応の結論が得られた。この期間は、従来の酸素吹精法に加えて、催冷剤としての水および粉体、脱酸、脱硫のための粉体の湯溜り内溶銑への吹込みがおこなわれ、これらに関する吹込装置が駆使された。

10 次操業には、都市ガス添加および酸素富化の設備等が設置された。

### 2. 高炉

炉の能力の決定については、次の点が検討された。

1. 湯溜り吹精によって、脱クロムをおこなう場合、1 回の出銑量と出銑間隔を最低いくらにとるべきか。
2. 小型炉でさけられない熱的不利をどう補償するか。
3. 使用原料の準備と銑鉄、鉍滓の処理。

まず、第 1 点については、八幡製鉄所 3 トン試験高炉における湯溜り吹精の実績にもとづき、出銑間隔は 4 hrs が最小限度必要であること。そして、吹精時期は、2.5 hrs 前後が適当であることから、その際の溶銑量をいくらにとるべきかを、種々のプロフィールによって検討した結果、100 kg がえらばれた。すなわち、湯溜りの溶銑が少なすぎれば、湯の高さが減り、したがって、吹精の際に炉底部煉瓦を吹くことになり、また、湯溜り直径はランス角度が実際作業上、60° 以下で、しかも、挿

入ランスの延長線が炉底面ではほぼ中心にあることが必要であるから、極端に小さくはとれない。こうして、おのずから湯溜りの寸法がきめられた。

熱的補償については、過去における八幡の1トンおよび3トン炉の実績が示すように、出銑を頻繁にやり、炉底に高熱の銑滓をおろす必要があった。しかし、われわれの場合は、前述のように、出銑間隔を4hrs以上とする条件があった。そこで、既設の高周波発電設備(167kVA, 1,000サイクル)をつかい、そのコイルを湯溜り部外壁に設け、熱的補償をおこなうこととした。

第3点については、小型炉のため、特に粒度は厳密に調整されねばならず、これは、操業につく大変な作業であるとともに銑鉄、スラグも含めた貯蔵所の建設費がかなりの比重になるところから、おのずから限度がでてくるはずである。

以上の3点より、炉の能力は1ton/dayを採ることにした。

1) プロフィール

八幡の1トンおよび3トン高炉を参考にして、各部寸法比は大型炉の範囲におさまるようにした。ただし、湯溜り部だけは、吹精試験の目的から大型炉の寸法比に対して、約2倍深くなっている。炉の実効内容積は、0.43m<sup>3</sup>である。湯溜り直径は、人造黒鉛電極材の大きさによってある程度の規制をうけ、500mmとなった。

2) 築炉—湯溜り部の変遷

湯溜り部は、還元性雰囲気強いカーボン材とすることに決められ、人造黒鉛電極材をくりぬいて造られた。

第1図(a)に示すように、この電極材は、炉底下方に延長されているが、これはこの部分を高周波加熱して、溶銑に熱を供給しようとしたためである。コイルは、このカーボン延長部の外壁に設置された。

第1図(b)は、第2次操業の湯溜り部を示す。すなわちカーボン壁を全体として厚くし、出銑口、出滓口は全長

をカーボンのみとした。また、炉の外壁はステンレス鋼製バンドにより、煉瓦の継目の拡がりを防いだ。また、カーボンの外面が過熱され、シャモット煉瓦との継目が侵食されるのを防ぐため、カーボンに縦方向の切込みをつけた。そのほか、コイルと煉瓦積との間にアルミ製水冷盤をつけて、カーボン外壁の高アルミナ煉瓦を保護するようにした。

このような処置をとったにもかかわらず、操業17日にして、炉底は200mm以上掘れていることが確認された(吹精羽口よりパールを挿入して測定)。そして、操業1カ月終了後、点検の結果、炉底カーボンは約80%溶損していた。

このため、従来、カーボン材が湯溜り耐火物として強いか否かが再検討された。

a) 炉況の影響

炉況が悪く、“生降り”が多かったこと、低熱気味で銑鉄中のSiが低く、羽口上部での吸炭が少なかつたこととみられることから、湯溜りでCを溶解する傾向をいじりしく助長したと考えられる。

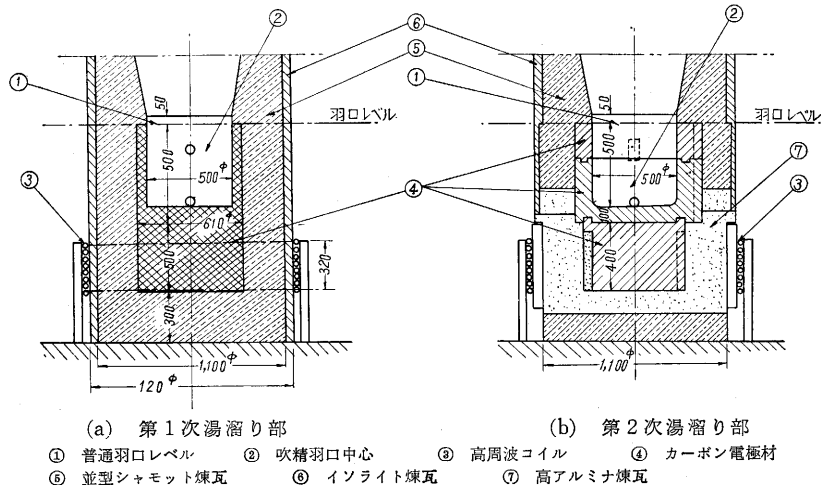
b) カーボンの電極材と煉瓦材との比較

電極材と煉瓦材より取った試料を溶銑浴中に同時に浸漬するテストの結果、電極材の方がはるかに早く溶解することが明らかになった。

c) 高周波加熱の影響

炉底のカーボンブロックが高温に保たれる結果、カーボン煉瓦を使用した大型炉の炉底掘れの傾向——温度分布に応じて溶解される——が助長されたと考えられる。

また、1次と2次の炉底部を調査したところ、炉底中心において、小孔が貫通し、湯洩れの原因となっていたことがわかった。これについても、実験をおこなった。すなわち、煉瓦材と電極材からカーボン坩堝をつくり、高周波電気炉にうめこんで、銑鉄を溶解してみた。その結果やはり電極材の方がはるかに速く侵食されるとも



(a) 第1次湯溜り部 (b) 第2次湯溜り部  
 ① 普通羽口レベル ② 吹精羽口中心 ③ 高周波コイル ④ カーボン電極材  
 ⑤ 並型シャモット煉瓦 ⑥ イソライト煉瓦 ⑦ 高アルミナ煉瓦

第1図

に、いずれも中心に小孔があく現象が確認された。

よって、これらの実験を通じて、炉底にカーボン材を使うことは断念せざるを得なくなった。一方、湯溜りの内壁については、電極材ではなしにカーボン煉瓦を使用することが考慮された。しかし、目地に入った溶銑が、高周波で加熱され、凝固しないで湯洩れの原因となると考えられたので、これも放棄した。

こうして、炉底のカーボンブロックを加熱して、湯溜り溶銑に熱を伝える間接加熱はとりやめられ、高周波コイルをできるだけ湯溜りに近づけて、溶銑を直接加熱する方法に変更された。

この間、炉底とコイルの相対位置をかえて、電力のかかる程度を調査した。その結果、10 kW 程度の熱量を補うことが可能ということになった。

こうして、第3次操業では、この直接加熱方式で十分な熱を溶銑にあたえ得ることが証明された。火入れ後、10 日目に炉底レベルより溶銑が流出したが、これは、高周波電力のかけすぎによるものとして、以後、炉底が上がらない程度の電力におさえるようにした。同時に、湯溜り下部の外壁は水冷の銅バンドを巻き、ここによりやく破れる恐れのない炉底で、安全に操業できるようになった。

第2図は第4次操業の炉体を示す。これが標準になって、吹精法がおこなわれた。また、吹精を目標としない

場合は、若干、炉底を浅くする程度の変更をおこなっている（ただし、第6次だけは、湯溜りおよび炉腹の直径をわずかに増加している）。

炉底と羽口付近には、大型シャモット煉瓦、湯溜り側壁には、Harbison Walkers Benezet B. F1、その他は、並型シャモットおよびインソライトを巻いてある。

炉底レベルで、湯溜り内壁より 100 mm の煉瓦積中には、Co<sup>60</sup> 1/4 ミリキューリーを4方向に対称に挿入し、壁外からこれをカウンタにより、その存在を適時確かめ、湯溜り壁侵食の警報手段としている。

銅製の水冷バンドは出滓口から下へ 400 mm に取り付けられており、出銑口、出滓口は、切りとって作業に支障ないようにしてある。高周波コイルは、できるだけ上げるために、図示のように、出銑口の部分を加工してある。

溶銑温度測定用カーボンパイプは、外径 100 mm、内径 60 mm のもので、40° の角度で炉底において、湯溜り内壁より 150 mm 突出している。

普通羽口は、内径 1" ガス管4本、15° の傾斜で炉内にわずかに突出しており、吹精羽口は、内径 1 1/4" ガス管、60° の傾斜でその中心線が炉底においてほぼ炉中心に達する。吹精羽口の先端より炉内までは、羽口ジャケットによる冷却を防止するため、煉瓦に 70 mm の孔をあけただけである。

炉内試料採取孔は、bosh, belly, shaft の中上段にあり、測温孔は、炉床部と shaft およびストックラインにある。

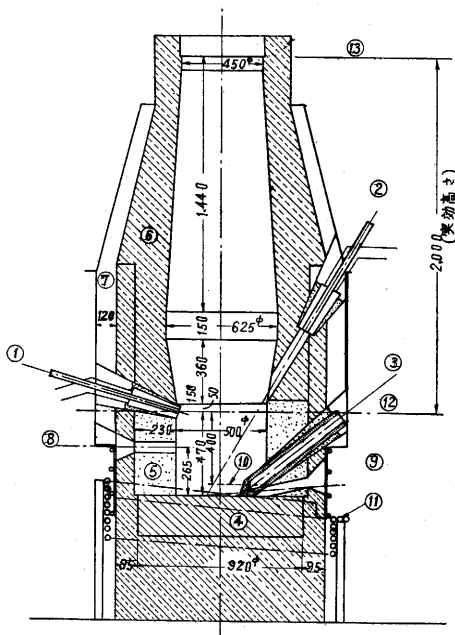
また、ストックラインには R.I 検尺装置が設けられている。

### 3. 送風設備

ルーツブロワーから出た空気は、送風管にある自動流量調節計により、指定流量（標準は 4 Nm<sup>3</sup>/min）とされ、熱風炉で 600°C に加熱される。さらに、保温材をまいた熱風管、環状管、送風支管（各羽口流量測定）によって羽口に達する。この間、かなりの温度降下があるので、環状管入口にある電気加熱器で昇熱される。温度は熱風炉出口と環状管入口（電気加熱器の前後）、blow pipe 入口で測定される。

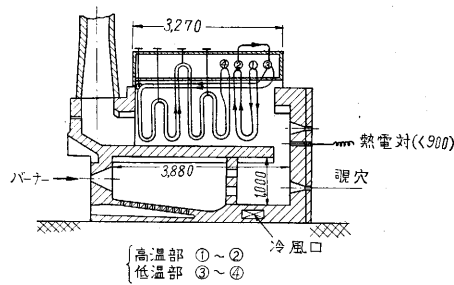
第1次熱風炉の仕様は、10 m<sup>3</sup>/min の空気を常温から 600°C まで上昇させるものであったが、実際には、熱交換器入口ガス温度 900°C で、熱風は 400°C 程度にとどまった。その上、熱風管からの熱損失も 150°C 以上で、大きく、燃焼温度を上げる結果となり、20 時間で焼損した。

熱交換器は 18-8 ステンレス鋼製の溶接管であり、上、下風函との溶接部分とともに弱点となった。また、燃焼室は、フレームの長さに対して、短かったことと伝熱面積が小さすぎたことが焼損の原因として考えられた。



① 普通羽口 ② 吹精羽口 ③ 測温用カーボンパイプ ④ 大型シャモット煉瓦 ⑤ ハービソン煉瓦 ⑥ 並型シャモット煉瓦 ⑦ インソライト煉瓦 ⑧ 出滓孔 ⑨ 出銑孔 ⑩ 普通操業期炉底（吹精なしの場合） ⑪ 高周波コイル ⑫ 羽口レベル ⑬ ストックライン

第 2 図



第3図 第2次熱風炉

そこで、第2次熱風炉(第3図)は次の条件を具備するものとした。

i) 熱交換器を高温部と低温部に分けて、たとえ高温部(フレームに近い方)が焼損しても低温部だけで操業できること。

ii) 燃焼室を長くし、チェッカーを設けて、完全燃焼をおこなわせること。

iii) 管壁温度を下げること。

iv) 熱交換器に接触するガス温度は、900°C以下で容易に調節でき、600°Cの熱風が得られること。

管の材質は18Cr-8NiにMoを2%添加したもので、引抜き長尺物とした。突合わせ溶接部は燃焼ガスにさらさないようにし、これによる強度上の問題をなくした。管壁温度を下げるため、送風はまず6インチ主管①から②に並行流とし、常温の空気が燃焼ガスの最高温度と接触するようにした。一方、低温部は向流として熱伝達を向上させた。

煙突は、通風力を大とし、チェッカーから出るガス温度が過大になった場合(たとえば重油量が多い場合)、冷風孔ダンパーからの空気で急速に調節できるようにした。

こうして、実際の作業(4Nm<sup>3</sup>/min)では、熱交換器の入口の燃焼ガス温度を800°C以上にするこなく、600°Cの熱風を得ることが確認され、熱風炉自体の問題はまったく解決された。正味9カ月間稼動した現在、交換器の消耗はほとんど無視しうる程度である。

一方、熱風炉から高炉にいたる配管系統の熱損失も防止された。まず、熱風弁の水冷は止めて、伸縮接手とともに保温材を巻いた。また、内管と外管とのフランジ部分を除き、内管より外管への熱伝導による損失を極力少なくした。こうして、温度降下は1次炉に対して30%にあたる50°Cにおさえることができた。

このように、送風条件は改善されたが、熱交換器の寿命を長くすることと、熱風管の温度降下を急速に補償することの目的から、第2次操業より、環状管入口に電気加熱器を設けた。これは、5Nm<sup>3</sup>/minの熱風を最高20kWで130°C上昇させる能力をもち、±10°Cの調節ができるようにした。

さらに、8次操業以後、40kW容量が追加された。これは、還元ガス吹込みにもなって、かなりの温度補償が必要となったためである。こうして、環状管入口温度が850°Cで操業できるようになった。発熱体としては、カンタル線が使用された。これは、ニクロム線よりはるかに酸化につよいものである(酸素気流中に1,300°Cに保持して確かめた)。

實際上、1トン高炉のように、小さい炉では、送風温度を大型炉のように高くすることが困難である。それは、管系統からの熱損失が小型炉ほど、大きくなるからで、炉内にはいるときの実質温度はかなり低く見積らねばならない。1トン炉では、環状管入口で550°Cのとき、羽口入口までに100°C以上降下している。また、各羽口の送風の分配が炉内の状況によって異なると、直ちにそれに対応して温度も増減し、特定の羽口の通風条件が悪くなる可能性がある。これは他の炉と比較する上で重要な因子となるのである。

#### 4. 捲揚げ装入設備

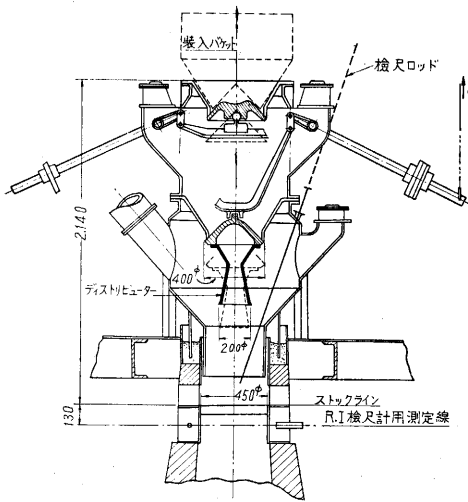
ノーマル操業では1日80回程度の装入がおこなわれる。あらかじめ秤量された原料(約40kg)は旋回バケット(60r.p.m.)にコークス、鉍石、溶剤の順に供給する。次に、ホイストにより捲き揚げ、横行して炉頂に達する。装入装置は、ダブルコーン式で、原料はまず、上ベルをバケット座により開けて、下ベル上に装入され、バケットが捲き揚げられたのち(上ベル閉じる)、下ベルを開いて炉内に装入される。装入後の装入物の高さは、R.I検尺計とロッド式検尺計によって、一定とし、装入物の降下状況をも捲揚げ塔下の運転室で知ることができる。

装入原料の秤量は台秤によっておこなわれる。コークスは水分の変動によりかなり増減があるので、容量基準でおこなったこともあったが、結局はホッパーに1日分貯蔵し、8時間に1回以上水分を測定して、補正をおこなっている。

捲揚げ、横行、ベル開閉については、制限開閉器を強化し、確実な作業が可能となった。既設の建家内に高炉を設置したので、バケット式装入方式をえらんだのであるが、ホイストによる装入は適切なものではなかったと考えている。実験の上からみても、スキップ式で全自動化をおこなう必要があるのではないだろうか。

高炉操業においては、ストックラインにおける装入原料の分布が、最も重要なものの一つである。これに関して、われわれは実物と同じ大きさの装置を作って実験をおこなった。それによると、分布形はconvexになっており、炉内ガスは周辺流が発達しているものとみられた。そこで、分布形をconcaveに変えるため、下部ベルの下に円錐状のディストリビューターを取り付けた(第4図)。

ロッド式検尺計は、ロッド自体を水冷し、それを装入



第 4 図 装 入 装 置

装置の外にとりつけた案内金物にそって一定角度で昇降させ、荷の高さを測定するものである。

R.I 式検尺計は、ストックラインより 130 mm の位置において、炉壁内面まで出した水冷函を対称におき、一方に  $Co^{60}$  1 ミリキューリーを他方に G.M 管と 1 段増幅器を組みこんだプローブを入れて、 $\gamma$  線の透過量の増減より、装入物の位置が測定される。

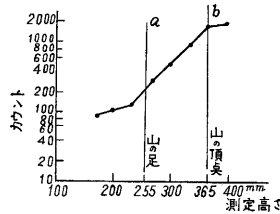
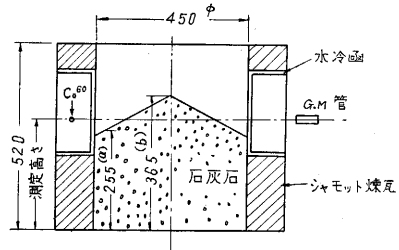
大型炉で一般に使用されている検尺は、無垢のロッドであるが、これは炉頂温度が  $200^{\circ}C$  程度で低いことと垂直に挿入できるためである。これに対して、1 トン炉では、炉頂温度が  $500^{\circ}C$  以上になるから、大型炉と同様の方法は適用できない。水冷のロッドを使ってさえ、ガスの温度が高いために、ダストが密に付着して、円滑に操作できないだけでなく、装入物の降下状況を連続して調べることは好ましくない。ロッドは、測定後ただちに引き上げて、その大部分を炉外に取り出すようにしなければならないからである。

このような条件のもとで、R.I 検尺計は満足すべき成績をあげている。

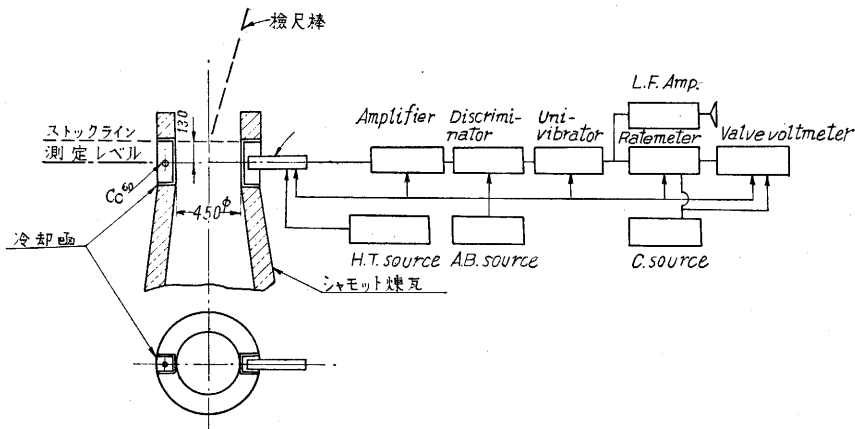
高炉にとりつける前に、予備実験がおこなわれた。

炉頂部と同一寸法に煉瓦と冷却函を積みあげ、中に石灰石を極端に convex になるように装入しておく。R.I とガイガー管の測定線を上下して、各レベルにおけるカウントを測定した。石灰石の山の頂点と底面では  $\gamma$  線の透過量の差がはっきり現われている (第 5 図)。また、コークス、鉱石類その他の物質について、 $\gamma$  線強度と透過する物質の厚さとの関係が調査された。

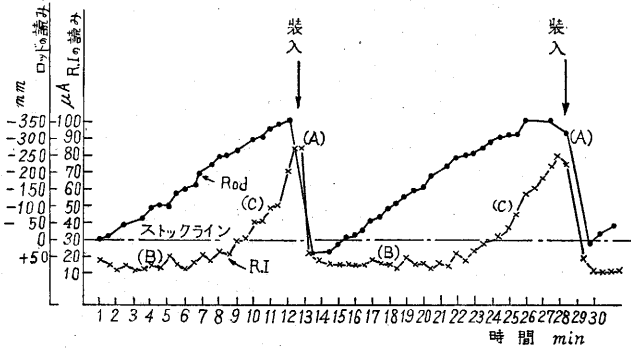
第 6 図は 1 トン炉に取り付けた検出装置の系統図であり、第 7 図は、その測定結果の 1 例である。まず、測定線に装入物のない時に計器の振れを最大 ( $\gamma$  線の透過量最大) に調整する。次に装入がおこなわれると、 $\gamma$  線の透過量は最少となる (B 点)。装入物が降下して、測定レベルに近づくと、再び増大する (C 点)。なお、ロッドの読みを比較のために示したが、よく一致している。



第 5 図 炉頂における  $\gamma$  線透過 (模型)



第 6 図 R.I 検 尺 計 構 成 図



第7図 検尺計による測定例

現在、炉の外壁より、測定できるような試みがなされており、これによって水平方向のみならず、縦方向をも自由に測定可能となろう。

### 5. ガス清浄装置

炉頂ガスは、除塵器をとおって、サイクロン、垂直型ベンチュリー・スクラッパー、水分分離器、吸引ファンからバーナーにいたる。

ガス処理量は  $5 \text{ m}^3/\text{min}$  で、ガス清浄度を  $0.3 \text{ gr}/\text{m}^3$  にすることを目標にした。

ベンチュリー・スクラッパーがこの装置の主体である。スロートのガス流速は  $50 \text{ m}/\text{sec}$  で、 $1 \text{ mm}$  のノズル6個から、 $4\sim 6 \text{ l}/\text{min}$  の水が噴出し、ディフューザにおいて霧化される。

第3次操業より、種々の改造をおこなったが、結局は、除塵器から荒ガス管を分岐して使用することで、清浄系統の使用は中止された。すなわち、サイクロンの設計変更、水分分離器の強化、ベンチュリースロートの水の噴出状況の改善などをおこなったが、配管系統（ベンチュリー以後は特にひどい）およびファンの羽根には短時間にダストが付着した。そして、ファンの能力は低下し、炉頂圧をあげる結果になった。ダストの付着をさける程度まで除塵ができなかった原因として、ガス流速の低下があげられる。

サイクロンもベンチュリーも、通常のガス流量では、ほぼ所定の圧力損失があるから、除塵はかなりおこなわれていたとおもわれる。しかし、炉頂ガスは、原料が装入されるたびに炉頂でほとんど放出されるため、その都度、ガス流速は変動し、除塵にマイナスの影響をあたえたものとみられる。また、ベンチュリースロートには、ダストが付着し水の噴出を不均一なものにした。

それゆえ、1トン炉の使用条件には、ガス流速が特に重要な装置は不適当である。これには、コットレルが適しているかも知れないが、建設費が莫大なものとなるから、採用しないことにした。

### 6. 原料処理設備

原料はバケットリフトカーによって運ばれ、第1バケ

ットエレベーターによって、反撾式粉碎機に装入される。粉碎された原料は再び第2バケットエレベーターで捲き上げられ、2段式振動篩で篩い分けされる。

over size は、第1エレベーターに戻し、under size は除かれる。

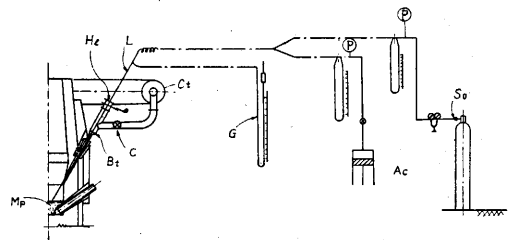
コークスのサイズは、モデル実験により、羽口前の旋回運動と炉内の通気性が調査され、 $10\sim 20 \text{ mm}$  が採用された（第1次操業は  $10\sim 25 \text{ mm}$  であった）。また、鉍石類および溶剤は、第2次操業の際に  $5\sim 15 \text{ mm}$  より  $5\sim 10 \text{ mm}$  に変更して好結果を得たので、この範囲のものを使用している。

一般に、高炉操業においては、原料の sizing は重要である。第2次大戦後の合理化の一環として、これが、採りあげられ、操業能率を向上させたことは衆知の事実である。大型炉に比べ、1トン炉は、荷下り時間が短く、炉内でのガスの利用度が低いので、sizing を特に厳密におこなう必要がある。

### 7. 吹精設備

第8図は、吹精の系統図である。吹精作業は次のようにおこなわれる。

まず、コック C を開き、環状管 Ct より熱風を吹精羽口 Bt より炉内に導入し、炉内容物の吹出しを防ぐ。



第8図 吹精設備系統

吹精ガスは、空気圧縮機 Ac と  $\text{O}_2$  ボンペスタン So とから  $60\sim 70\%$   $\text{O}_2$  に整調し、 $\text{O}_2$  のみを切り、ランス L より空気だけを噴出させる。その後、直ちにランス挿入孔  $H_t$  を開き（このとき、熱風の一部は炉内に吹き出す）、ランス ( $1/2''$  または  $3/8''$  ガス管) を湯溜りの溶銚 Mp まで手動で挿入する。ランスが、湯溜りの所定の位置に達すると同時に、 $\text{O}_2$  添加をおこなう。ランスは吹精の経過とともに消耗するから、その先端位置が変動しないように、判定装置 G により、フィードする。吹精終了後は逆の操作をおこなう。

通常、この1回の吹精時間は、その目的によって異なるが、5分前後であり、吹精羽口からの熱風供給は、たいいてい10分以下にすぎず、この作業が4時間に1回おこなわれるだけである。標準の吹精ガスの流量は  $0.8\sim 1.0 \text{ m}^3/\text{min}$  風圧は  $2 \text{ kg}/\text{cm}^2$  前後である。

吹精と同様な羽口の操作をおこなって、吹精羽口より

試料採取管を挿入して、適当な時期に湯溜りの銑鉄、スラグをとって、その組成を調べることができる。

また、吹精ガスとともに、脱硫剤、脱酸剤、造滓剤、催冷剤、酸化剤等の粉末を吹きこんで、溶銑溶滓の成分を調節することも可能である。

湯溜りの温度は、カーボンパイプの内面の温度を光高温計または輻射高温計で測定した。これで吹精の効果や、吹精をおこなわない場合でも湯溜りの状況（炉底上がり）を知ることができる。

吹精中、ランス先端は常に一定のレベル（溶銑表面）に保持されることが望ましい。ランスを突込みすぎれば炉底煉瓦を吹きやぶることになり、上げすぎれば、吹精の効果が減少するので種々の装置が考案された。結局、一定風量の場合には、スラグ中にあるか、溶銑中にあるかで、その背圧に差を生ずるから、ランスの後端の圧力を測定して、簡単に位置の判定をおこなっている。

### 8. 粉体吹込装置

脱硫を目的とした場合の高炉湯溜り吹精法は、スラグの塩基度を上げることが必要である。しかし、この塩基度上昇にみあう石灰石を炉頂から装入すれば、大型炉の場合には、lime setting をおこして、操業困難になる。よって、吹精法の工業化に先だって、第 1 に解決しておくことが必要である。

昭和 26 年八幡 3 トン高炉における吹精試験の際、第 1 回のテストがおこなわれた。この装置は、アスピレータに相似なものであった。吹込位置は、blow-pipe の入口とした。しかし、ホッパー下部に粉体がつまり、円滑に吹込みできなかった。このテストの際、石灰の一部が炉頂へ逃げるといことが観察されたので、石灰の大きさは数 mm 程度のものが必要とみられた。

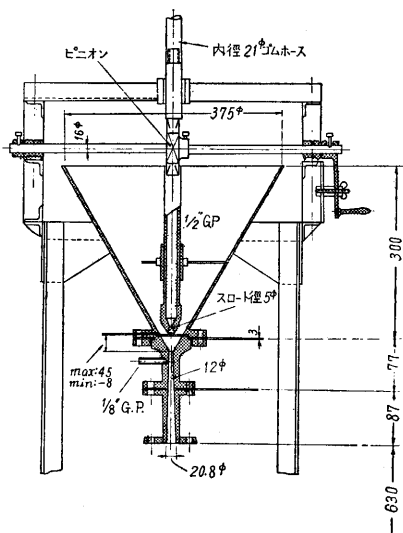
ついで、27 年前半は、故桑井助教授の指導のもとに、ジェット式フィーダーによる基礎研究をおこなった。同年 9 月から 3 トン炉で再び吹精試験がおこなわれることになり、能力 10 kg/min の装置が、予備実験のデータにもとづいて、試作された。装置の性能は予期したとおりで、ほぼ満足できる成績が得られた。

この装置は、さらに、吹精羽口をとおして、溶銑または溶滓中に粉体を吹き込む方向に発展した。

昭和 28 年には、予備実験に使用したフィーダーと同一の能力 (0.5 kg/min—CaO) のものを作って、キューボラの湯溜りで CaO 吹込みによる直接脱硫を実施した。

1 トン試験高炉の第 3 次操業では、2 kg/min のジェットフィーダー（第 9 図）を製作し、湯溜りでの直接脱硫をおこなった。しかし、背圧が高いため、吹きかえしがあったので、これは、その後、羽口からの石灰吹込みにもつばら、使用することになっている。

第 4 次操業では、上記の欠陥を改めた。高い背圧に打ちかかって吹き込むために、ホッパーは密閉された。ま

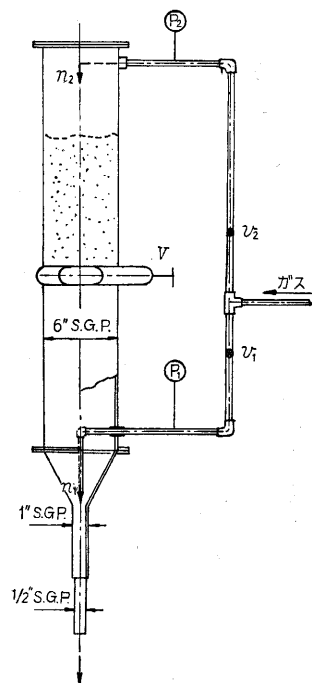


第 9 図 石灰吹込装置 (開放型)

た、ノズル径とスロート径との比をホッパー開放型より小さく (1/2 より約 1/5) とし、吹込ガス m<sup>3</sup> 当たりの粉体量を増大し、排出ガスにもなる吹出し分を下げ、脱硫効果をあげることをねらった。第 10 図にこの装置を示す。

上部ホッパーに粉体を入れ、蓋を密閉したのち、バルブ (v<sub>1</sub>) を開いて、下ノズル (n<sub>1</sub>) からガスのみ吹き出させる。吹精羽口とランスは、吹精のときと同様に操作して、ランスが溶銑に達したと同時に、バルブ (v<sub>2</sub>) を開いて、粉体上部をガスで加圧する。こうしてバルブ (v) を全開し、下部ホッパーに粉体を落下させ、吹込みが始まる。吹込み終了は、圧力計 P<sub>2</sub> の低下によって判定される。ここで注意を要するのは、ホッパー内の粉体中を加圧ガスが吹きぬけないように、ホッパーの直径を決定することである。

この装置によって、開放型の CaO 1 kg/m<sup>3</sup> gas は、飛躍的に大きくなり、20 kg/m<sup>3</sup> gas が、この使用条件で実現できた。また配管系の抵抗を小さくし、スケールを 2 倍にした装置では、この値



第 10 図 密閉型吹込装置

がいっそう大きくなっている。

第5次操業の脱クロム試験でも、この型式の装置が使用され、鉄鉱石粉末、脱酸剤、脱硫剤などが吹き込まれた。

### 9. 小型高炉設備上の問題点

#### 1) プロフィールについて

大型炉の寸法比をとって決めたことは、前述のとおりであるが、1トン試験炉の場合、装入物の降下速度は、約2時間半であって、大型炉のそれより3倍以上早い。また、ガスと装入物との間の熱交換が不十分である。

いま、炉内に充填物がなごむときの羽口面におけるガスの平均速度を400トン高炉(湯溜り径=6,000mm, 実効高さ=18,000mm, 送風量=1,800m<sup>3</sup>/tonpig)と1トン炉について比較すると、両者とも0.33m/secで等しい。また、実効高さ(羽口面からストックラインまでの高さ)は1トン炉(2,000mm)の9倍である。よって、ガスの通過時間は、大型炉54秒に対して1トン炉6秒となり、ガスの利用度は1トン炉の方が不利である。

しかし、大型炉の場合は、公称能力から計算した値であるから、限界送風量に近い状態で操業する時には、この値は、もっと小さくなるであろう。

実際操業において、1トン炉の炉頂温度は500°C以上になることもあるのに対して、大型炉では150~250°C程度しかないのである。これは、第1表についてもみられる。

また、第1表から炉頂ガスの潜熱は、1トン炉の値は2倍にも達し、炉内でのガスの利用度の低さを示している。

第1表 熱精算の比較

		1,000トン炉		1トン炉(4次)		1トン炉
		×10 <sup>3</sup> Kcal	%	×10 <sup>3</sup> Kcal	%	1,000ト ン炉
入	コークス 燃烧熱	6,588	92.4	12,405	89.4	1.88
	送風の持ち込む熱	438	6.2	1,042	7.52	2.38
	スラグ生成熱	100	1.4	92	0.67	0.92
	高周波電力	—	—	337	2.42	—
入熱合計		7,126	100.0	13,876	100.0	1.95
出	溶銑全熱量	2,076	29.1	2,413	17.42	1.16
	スラグ顕熱	315	4.4	319	2.30	1.01
	石灰石分解熱	184	2.6	193	1.39	1.04
	炉頂ガス顕熱	334	4.7	782	5.64	2.34
	” 潜熱	3,511	49.3	7,004	30.52	2.0
熱	冷却水熱量	238	3.3	1,057	7.63	4.47
	炉壁その他の損失	468	6.6	2,108	15.11	—
出熱合計		7,126	100.0	13,876	100.0	—

したがって、小型炉の実効高さは、大型炉の寸法比より割り出した値よりも大きく採るべきであろう。しかし、八幡の1トン炉では、この実効高さをかえて操業したが、差異はなかったと報告されている。

#### 2) 送風条件について

1トンのような小型炉では、送風流量が少ないため、配管系統からの熱損失はきわめて大きい。これを少なくするためには、管系の保温の強化、管の全長を短くすること、ガス流速を増すことなどが必要である。しかし、これらにも限度がある。すなわち、保温材の厚さは、ある限度以上に増すことは意味がないし、管の長さも、オリフィス取付けおよび現場作業の上からきまり、管内流速も、流動抵抗と各羽口への均等な送風のために制限される。

1トン炉では、大型炉と同様に環状管入口部の熱風管で送風温度の指定をおこなっているが、環状管と送風支管を通過したのちは、550°Cの熱風の場合、400°Cに、約150°C降下することが測定されている。したがって、小型炉では、温度測定点を羽口に近づけることが必要である。温度が低下すれば、羽口でのガス流速が下がり、この条件の変化によって、羽口前の raceway の位置と大きさは、モデル実験で観察されたものと違ってくる。

大型炉では、羽口の数、湯溜り外周1,000mm 当たり1本の割合である。これは、燃焼帯が環状に連続することを意味する。この割合からすれば、1トン炉では、2本あれば良いことになる。羽口数についても検討の余地がある。

羽口の流速は、1トン炉で80m/sec、大型炉で200m/sec 前後とかなりの差がある。1トン炉では、羽口の適正流速に関する実験はおこなっていないが、装入物粒度の決定に際して、この程度の流速で raceway を発生しうるものと考えている。羽口先端に平行ノズルをおいて、大型炉と同様の流速を実現して操業する意義は大きいと考える。

#### 3) 装入原料の sizing について

装入原料のサイズは、実際操業と raceway および通気性ならびに sizing 歩留から決定された。

大型炉の羽口(100~200m/m)前におけるコークス粒度は1インチ以下といわれる。羽口径と粒度の比を基準にすれば、1トン炉では4mmということになり、ガスの流速が等しくなるような羽口径を基準にとれば、だいたい2mmとなる。しかし、この程度の粒度では、炉内のガスの通気性が悪くなる可能性があるから、粒度範囲は小さく、かつ、粉の除去を厳密におこなわねばならず、節分け装置の能率からみても、実現の見込みの少ないものである。

一般に、小型炉における成果を大型炉に適用することはむずかしい。このことは、一つには、大型炉との相似条件が厳密に確立しにくいということであって、設計上の盲点となっていると考えられる。(1960. 8. 8)